

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТРУКТУРЫ КОМПОЗИТНОГО НЕСУЩЕГО СЛОЯ ТРАПЕЦИЕВИДНОГО КРЫЛА МАЛОГО УДЛИНЕНИЯ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА, ИЗГОТОВЛЕННОГО НАМОТКОЙ

Одной из основных задач при создании беспилотных летательных аппаратов (БЛА) является достижение максимальной массовой эффективности в сочетании с высокой надежностью. Эта задача может быть решена более широким применением в БЛА композитных конструкций, в том числе многостеночных крыльев и крыльев с наполнителем, как наиболее эффективных при относительно малой интенсивности нагрузки, обеспечивающих высокую изгибную жесткость и жесткость на кручение.

Данные конструкции состоят более чем на 50% по массе из несущих слоев [1], которые изготавливаются по сложной технологии, заключающейся в выкладке с последующим вакуумным формованием. Эта технология не позволяет добиваться необходимой повторяемости и стабильности геометрических и прочностных параметров [2].

Повысить качество и степень реализации свойств КМ, обеспечив высокую степень автоматизации и объединение операций, позволит использование технологии намотки, применение которой сдерживается отсутствием методов определения структурных параметров материала как исходной информации для проектирования трапециевидных крыльев малого удлинения (ТКМУ) БЛА и разработки технологии изготовления.

Целью статьи является разработка методики определения структурных параметров композитного несущего слоя ТКМУ, изготовленного намоткой, к которым относятся: количество зон намотки, относительные размеры зон; количество слоев в зонах; углы армирования в слоях.

Поскольку изделие принято рассматривать как совокупность элементарных основных и свободных поверхностей [3], то и технологическую поверхность (ТП), обеспечивающую формирование ТКМУ, целесообразно разделить на основную зону, где армирующий материал (АМ) размещается по геодезическим линиям, и вспомогательные, где АМ размещается между элементами, обеспечивающими принудительную фиксацию.

Методика состоит из следующих этапов:

- задание параметров основной зоны технологической поверхности;
- определение количества траекторий укладки АМ;
- построение сети укладки на технологической поверхности;

- анализ полученной сети укладки и определение структурных параметров несущего слоя ТКМУ.

Задание параметров основной зоны технологической поверхности.

Геометрические обводы проектируемых крыльев задаются величинами удлинения, сужения, площади консоли крыла, углом стреловидности по передней кромке и формой профиля крыла.

В случае ТКМУ достаточно определить формы профиля у корня и на периферии ТКМУ и расстояние между ними.

Определение количества траекторий укладки АМ.

Количество траекторий, которые необходимо разместить на основной зоне технологической поверхности, зависит от схемы армирования и шага размещения лент АМ.

Положение витка укладки АМ размещенного по геодезической линии на ТП, полностью определяется одной точкой, принадлежащей данному витку и размещенной в конкретном месте ТП и углом в данной точке между траекторией укладки АМ и характерным направлением на поверхности, в нашем случае образующей, проходящей через данную точку. Этот угол называется углом армирования в данной точке [4].

Если проанализировать типы витков, которые могут быть уложены на ТП, образующую основную поверхность ТКМУ, по изменению угла армирования вдоль линии укладки, то выяснится, что таких типов два.

У первого типа кривой угол армирования вдоль кривой изменяет свое значение таким образом, что в одной из точек он проходит через значение 90° , а у второго угол армирования вдоль кривой не достигает значения 90° .

Для кривых первого типа договоримся точку, в которой виток проходит через значение 90° , называть предельной точкой витка.

Таким образом, чтобы задать схему армирования ТКМУ, в случае укладки кривых первого типа, достаточно задать координаты предельных точек витков. Однако таких витков может быть бесконечно много.

Ограничимся рассмотрением случая размещения предельных точек витков на образующих, расположенных в плоскости симметрии направляющей и проходящих через точки пересечения данной плоскости с контуром образующей ($\alpha = 0^{\circ}$; $\alpha = \pi$;) по входной и выходной кромкам.

Далее для определения количества кривых необходимо определить ширину технологической ленты АМ.

Ширина ленты может выбираться исходя из ряда параметров, а именно параметров технологического оборудования; параметров реализации исходной прочности АМ; геометрических особенностей изделия.

Исходя из параметров технологического оборудования, существенным ограничением ширины технологической ленты могут являться: характеристики лентоформирующего тракта; характеристики шпулярика (количество мест размещения носителей АМ); форма и параметры нити раскладчика;

Основным принципом, который используется для расчета ширины ленты исходя из геометрических особенностей изделия, является соответствие траектории укладки крайних нитей ленты траектории, находящейся в пределах угла трения, что будет препятствовать рассыпанию ленты АМ:

$$d = \arctg(\mu/2) \cdot R_{\text{кmin}}, \quad (1)$$

где μ - коэффициент трения скольжения нити на поверхности;

$R_{\text{кmin}}$ - минимальный радиус кривизны изделия в сечении, перпендикулярном к направлению укладки ленты АМ

И тогда, исходя из ширины ленты АМ и учитывая требования к сплошности готового изделия, определяем количество траекторий укладки.

Построение сети укладки на технологической поверхности.

Для построения сети укладки АМ материала необходимо иметь метод определения геодезической траектории укладки АМ на ТП ТКМУ. Определение геодезических линий методами дифференциальной геометрии хорошо изучены и дают неплохой результат, однако они достаточно громоздки в случае определения траекторий не на телах вращения.

Значительно более приемлемым представляется построение траектории укладки АМ на поверхности оправки ТКМУ геометрическими методами по следующему алгоритму [5]:

- построение развертки поверхности оправки ТКМУ;
- нанесение на развертку поверхности ТКМУ геодезической линии;
- перенесение геодезической прямой на поверхность оправки ТКМУ.

Используя приведенный алгоритм по координатам предельных точек витков, определенных на предыдущем шаге, строится сеть намотки (рис. 1).

Анализ полученной сети укладки и определение структурных параметров несущего слоя ТКМУ.

Для анализа сети укладки необходимо на 3D-модель с построенной сетью намотки нанести линии по границам зон укладки АМ, после чего построить развертку с линиями, разделяющими поверхность на зоны, и провести анализ средствами САД системы, в которой строится поверхность (рис. 2, а).

В результате определяется относительная площадь зон, количество слоев в зонах и углы армирования в слоях (рис. 2, б).

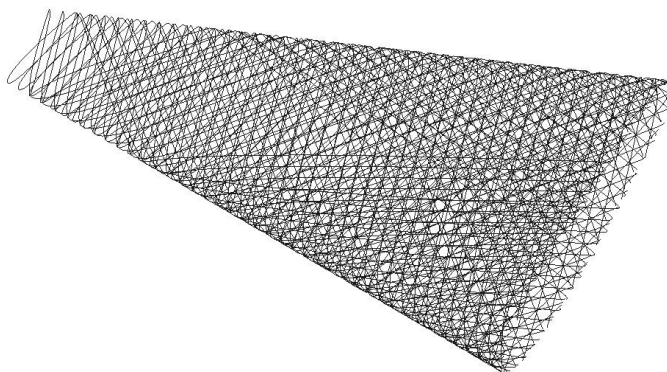


Рисунок 1 – Сеть намотки ТКМУ

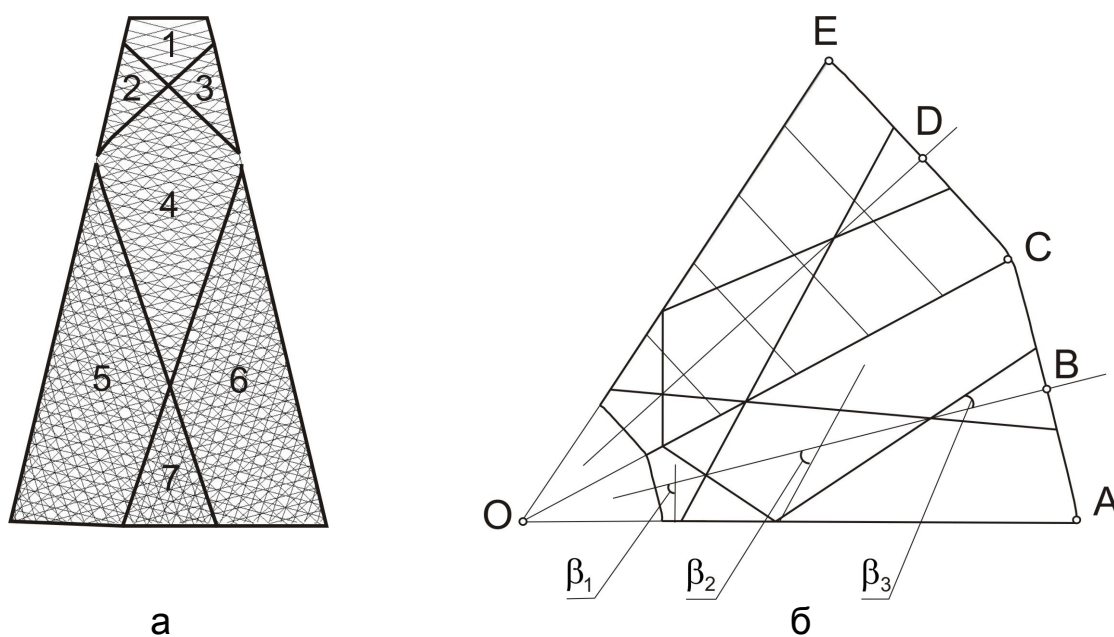


Рисунок 2 – К определению относительных размеров зон укладки, количества слоев в зонах и углов армирования в слоях

Таким образом, разработанная методика позволяет определить параметры несущего слоя ТКМУ, изготовленного непрерывной намоткой.

Используя данную методику, были определены параметры несущих слоев ТКМУ в зависимости от геометрических параметров и параметров укладки АМ (табл. 1 - 6).

Таблица 1 - Зависимость углов укладки АМ от геометрических характеристик ТП при размещении предельных точек витков $\alpha = 0^0$; $\alpha = \pi$

Угол при вершине развертки $\beta=30^\circ$					Угол при вершине развертки $\beta=40^\circ$					
		Удлинение λ						Удлинение λ		
Схема армирования		3,44	2,24	1,24	0,7	Схема армирования		2,49	1,93	0,9
Нет укладки	K1	0,0001	0,005	0,024	0,063	Нет укладки	K1	0,0003	0,004	0,037
75°;	K2	0,0007	0,005	0,276	0,072	70°;	K2	0,0004	0,005	0,049
-75°;	K3	0,0007	0,005	0,276	0,072	-70°;	K3	0,0004	0,005	0,049
±75°	K4	0,0007	0,03	0,15	0,396	±70°	K4	0,0003	0,04	0,37
+45°;±75°;	K5	0,0009	0,041	0,2	0,198	+30°;±70°;	K5	0,012	0,147	0,248
-45°;±75°;	K6	0,0009	0,041	0,2	0,198	-30°;±70°;	K6	0,012	0,147	0,248
±45°;±75°;	K7	0,0081	0,338	0,336		±30°;±70°;	K7	0,13	0,65	
+15°;±45°;±75°;	K8	0,141	0,267			+10°;±30°;±70°;	K8	0,13		
-15°;±45°;±75°;	K9	0,141	0,267			-10°;±30°;±70°;	K9	0,61		
±15°;±45°;±75°;	K10	0,707								

Таблица 2 - Зависимость углов укладки АМ от геометрических характеристик ТП при размещении предельных точек витков $\alpha = 0^0$; $\alpha = \pi$

Угол при вершине развертки $\beta=50^\circ$				Угол при вершине развертки $\beta=60^\circ$				
		Удлинение λ					Удлинение λ	
Схема армирования		1,95	1,33	0,46	Схема армирования		1,57	0,58
Нет укладки	K1	0,0005	0,013	0,153	Нет укладки	K1	0,0008	0,11
65°;	K2	0,0008	0,02	0,238	60°;	K2	0,0016	0,22
-65°;	K3	0,0008	0,02	0,238	-60°;	K3	0,0016	0,22
±65°;	K4	0,011	0,276	0,37	±60°	K4	0,184	0,44
+15°;±65°;	K5	0,3115	0,336		0°;±60°;	K5	0,406	
-15°;±65°;	K6	0,311	0,366		0°;±60°;	K6	0,406	
±15°;±65°;	K7	0,3641						

Таблица 3 - Зависимость углов укладки АМ от геометрических характеристик ТП при размещении предельных точек витков $\alpha = 0^0$; $\alpha = \pi$

Угол при вершине развертки $\beta=70^\circ$				Угол при вершине развертки $\beta=80^\circ$			
		Удлинение λ				Удлинение λ	
Схема армирования		1,29	0,94	Схема армирования		1,06	0,84
Нет укладки	K1	0,0013	0,065	Нет укладки	K1	0,0008	0,11
55°;	K2	0,004	0,19	50°;	K2	0,0016	0,22
-55°;	K3	0,004	0,19	-50°;	K3	0,0016	0,22
±55°;	K4	0,54	0,55	±50°	K4	0,184	0,44
+15°;±55°;	K5	0,226		30°;±50°;	K5	0,406	
-15°;±55°;	K6	0,226		-30°;±50°;	K6	0,406	

Таблица 4 - Зависимость углов укладки АМ от геометрических характеристик ТП при размещении предельных точек витков $\alpha = \pi/2$; $\alpha = 3\pi/2$

Угол при вершине развертки $\beta=30^\circ$						Угол при вершине развертки $\beta=40^\circ$					
		Удлинение λ						Удлинение λ			
Схема армирования		3,36	2,15	1,42	0,58	Схема армирования		2,45	1,93	0,84	
90°	K1	0,0004	0,012	0,05	0,178	90°	K1	0,001	0,009	0,12	
75°;90°	K2	0,0006	0,016	0,07	0,242	50°;90°	K2	0,002	0,018	0,23	
-75°;90°	K3	0,0006	0,016	0,07	0,242	-60°;90°	K3	0,002	0,018	0,23	
±75°;90°	K4	0,003	0,089	0,385	0,333	±60°;90°	K4	0,103	0,26	0,43	
+60°;±75°;90°	K5	0,0063	0,183	0,21		+10°;±50°;90°	K5	0,37	0,35		
-60°;±75°;90°	K6	0,006	0,183	0,21		-10°;±50°;90°	K6	0,37	0,35		
±60°;±75°;90°	K7	0,329	0,5			±10°;±50°;90°	K7	0,22			
+15°;±60°;±75°;90°	K8	0,327									
-15°;±60°;±75°;90°	K9	0,327									

Таблица 5 - Зависимость углов укладки АМ от геометрических характеристик ТП при размещении предельных точек витков $\alpha = \pi/2$; $\alpha = 3\pi/2$

Угол при вершине развертки $\beta=50^\circ$				Угол при вершине развертки $\beta=60^\circ$			
		Удлинение λ				Удлинение λ	
Схема армирования		1,96	1,19	Схема армирования		1,52	
90°	K1	0,002	0,0494	90°	K1	0,004463002	
40°;90°	K2	0,007	0,1727	30°;90°	K2	0,12052888	
-40°;90°	K3	0,007	0,173	-30°;90°	K3	0,12052888	
±40°;90°	K4	0,597	0,6051	±30°;90°	K4	0,754442125	
+10°;±40°;90°	K5	0,193					
-10°;±40°;90°	K6	0,193					

Таблица 6 - Зависимость углов укладки АМ от геометрических характеристик ТП при размещении предельных точек витков $\alpha = \pi/2$; $\alpha = 3\pi/2$

Угол при вершине развертки $\beta=70^\circ$				Угол при вершине развертки $\beta=80^\circ$			
		Удлинение λ				Удлинение λ	
Схема армирования		1,23		Схема армирования		1	
90°	K1	0,010742723		90°	K1	0,33408347	
20°;90°	K2	0,334760274		10°;90°	K2	0,332855974	
-20°;90°	K3	0,334760274		-10°;90°	K3	0,332855974	
±20°;90°	K4	0,319777397					

Использование приведенной методики, а также справочных таблиц, полученных с ее помощью, позволяет значительно сократить время на проектирование несущих панелей ТКМУ, обеспечив получение

исходной информацией для проектирования и разработки технологии изготовления.

Список использованных источников

1. Панин В.Ф., Конструкции с заполнителем: справ. /В.Ф.Панин, Ю.А.Гладков. М.: Машиностроение, 1991. - 272 с.
2. Колганов И. М. Технологичность авиационных конструкций, пути повышения. Учеб. пособие /И.М.Колганов, П.В.Дубровский, А.Н.Архипов – Ульяновск: УлГТУ, 2003. – Ч.1. - 148 с.
3. Цыплаков О.Г. Научные основы технологии композиционно-волоконистых материалов. – Пермь: Перм. кн. изд-во, 1979. – 317 с.
4. Могильный Г.А. Определение основных геометрических характеристик аэродинамических поверхностей при изготовлении методом намотки из композиционных материалов /Г.А.Могильный, И.Ю. Киреев // Вісн. Східноукр. нац. ун-та. – 2007. - №4(110). - С.158-167.
5. Могильный Г. А.Определение траектории укладки армирующего материала (АМ) при изготовлении несущих поверхностей (НП) летательных аппаратов (ЛА) методом непрерывной намотки композиционным материалом (КМ) /Г.А.Могильный, И.Ю.Киреев // Вісн. Східноукр. нац. ун-та. – 2008. - №12(130). - С.95-104.

Поступила в редакцию 5.12.2010.

*Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.П. Коробецкий,
Восточноукраинский национальный университет
им. Владимира Даля, г. Луганск*