

ОПТИМИЗАЦИЯ ШИРИНЫ ЛЕНТЫ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ АВИАКОНСТРУКЦИЙ МЕТОДОМ НАМОТКИ

На сегодняшний день формообразование изделий из полимерных композиционных материалов (ПКМ) методом намотки волокна является одним из наиболее перспективных методов. Широкое применение данного метода обусловлено, прежде всего, тем, что данный метод позволяет получить ориентированную структуру с высоким содержанием наполнителя в изделии, с учетом формы и особенностей эксплуатации. Кроме того, намотка позволяет максимально автоматизировать технологический процесс, особенно эффективно применение данной технологии при изготовлении силовых элементов, поскольку уменьшение массы летательного аппарата (ЛА), повышение стабильности его прочностных и жесткостных характеристик позволяют значительно повысить полезную нагрузку, а также улучшить эксплуатационные характеристики [1]. Используя данный метод формообразования, можно максимально реализовать прочностные характеристики исходных армирующих волокон в изделии при минимальной стоимости единицы прочности материала. Преимущества данного метода формообразования были реализованы при изготовлении каркасов киля самолета Ан-70 (рис.1).

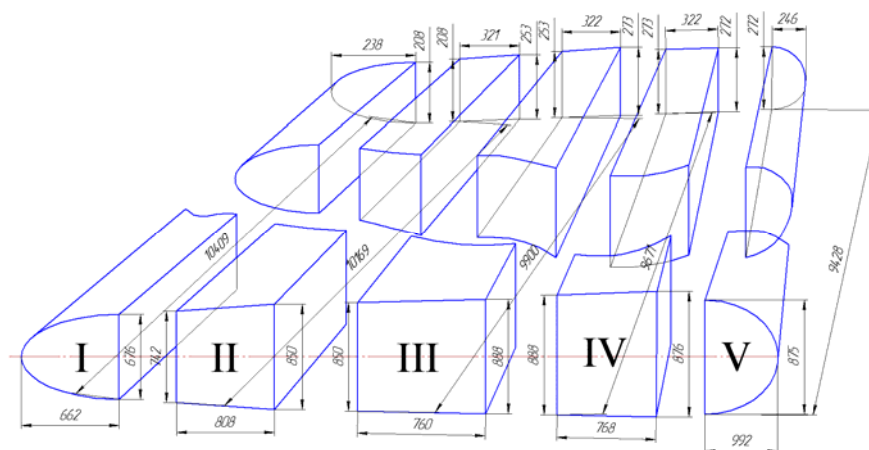


Рисунок 1 – Схема каркаса киля самолета Ан-70

Основной процесс намотки имеет множество вариантов, различающихся в широких пределах характером намотки, особенностями конструкции, комбинацией материалов и типом оборудования [2].

Наибольший интерес для конструкторов и технологов представляет намотка лентами, поскольку в отличие от намотки волокнами и жгутами данный метод намотки имеет более широкие возможности по повышению технологичности изготавливаемых изделий, снижению

себестоимости продукции. Увеличение ширины ленты прямо влияет на экономическую эффективность разрабатываемого производственного процесса изготовления конструкции. Однако определение эффективной величины этого параметра связано с целым рядом трудностей, в том числе и со спецификой авиационных конструкций из ПКМ, где требования герметичности зачастую к основным не относятся, а на первый план выходят требования прочности и весовых характеристик конструкции [3].

Поверхность оправки задается как поверхность вращения, меридиан которой состоит из участков. В свою очередь участок задается либо дугой эллипса, либо отрезком прямой.

Рассмотрим схему намотки витков ленты на коническую оправку (рис. 2):

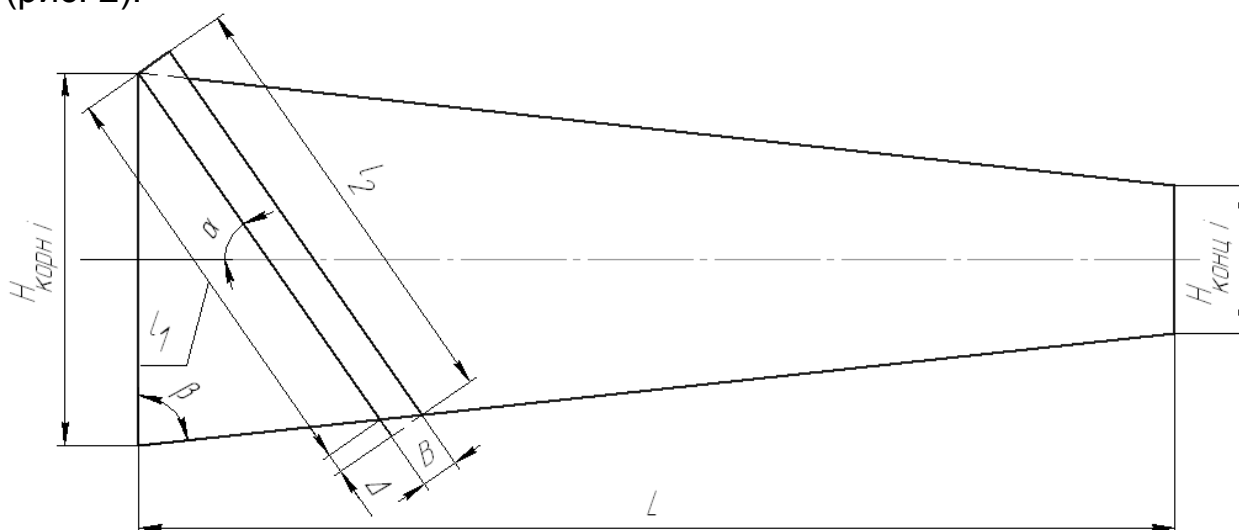


Рисунок 2 – Схема намотки ленты на оправку: α_0 – угол намотки в сечении x_0 ; B – ширина ленты; $H_{корн i}$ – размеры оправки в сечении x_0 ; $H_{конц i}$ – размеры оправки в сечении x_k ; L – длина оправки; l_1, l_2 – длины кромок ленты; β – угол между кромкой и образующей оправки

Угол β рассчитывается по формуле

$$\beta = \arctg \left(\frac{2 \cdot L}{H_{корн i} - H_{конц i}} \right). \quad (1)$$

Разница между длинами кромок

$$\Delta l = k_{mex} \cdot B \cdot \tg(\beta - \alpha_0), \quad (2)$$

где $k_{mex}=(0...1,0)$ – технологический коэффициент, характеризующий возможности деформирования ленты в процессе намотки и зависит от жесткостных показателей пропитанной полимерным связующим ленты.

Длина кромки ленты

$$l_1 = \frac{H_{\text{корн } i} \cdot \sin(\beta)}{\sin(90^\circ + \alpha_0 - \beta)}. \quad (3)$$

Относительная разница между длинами кромок определяется так:

$$\Delta l_{\text{отн}} = \frac{\Delta l}{l_1}. \quad (4)$$

Величина $\Delta l_{\text{отн}}$ характеризует провисание кромки ленты. Площадь оправки

$$S_{\text{опр}} = \sum_{i=1}^4 \left(\frac{H_{\text{конц } i} + H_{\text{корн } i}}{2} \right) \cdot L. \quad (5)$$

Требуемая для намотки длина ленты L_l , с учетом ширины перехлеста $B_{\text{пер}}$ и без учета потерь на законцовки определяется по такой зависимости:

$$L_l = \frac{S_{\text{опр}}}{B - B_{\text{пер}}} \cdot m_c, \quad (6)$$

где m_c – количество слоев.

При этом массу перехлестов $M_{\text{пер}}$ можно рассчитать согласно формуле

$$M_{\text{пер}} = L_l \cdot \rho \cdot \frac{B_{\text{пер}}}{B}, \quad (7)$$

где ρ – линейная плотность ленты шириной 220 ± 5 мм.

Машинное время $t_{\text{маш}}$, необходимо для намотки:

$$t_{\text{маш}} = \frac{L \cdot m_c}{B \cdot n}, \quad (8)$$

где n – частота вращения оправки.

Изображенная на рис. 3 схема определения параметров намотки позволяет получить их оптимальные значения.

По приведенной схеме (рис. 3) был проведен расчет ширины ленты для намотки каркасов кия самолета Ан-70 (см. рис. 1). Результаты расчета параметров намотки секций кия (ширине ленты 45 мм) приведены в табл. 1.

Установлено, что значение $\Delta l_{\text{отн}}$ может быть увеличено посредством примотки кромки предыдущего витка последующим. Допустимая величина $\Delta l_{\text{отн}}$ была определена экспериментальным путем. Было установлено, что возникающее при этом в процессе намотки провисание

кромки ленты может быть удалено в процессе вакуум-автоклавного формования.



Рисунок. 3 – Блок-схема оптимизации процесса намотки

При увеличении ширины наматываемой ленты происходит уменьшение массы материала за счет уменьшения количества перехлестов в ходе намотки.

Зависимость ширины ленты от величины $\Delta l_{отн}$ для различных оправок кассеты киля показана на рис. 4.

Также очевидно, что при увеличении ширины ленты снижается себестоимость так, как уменьшаются трудоемкость и количество используемого мате-

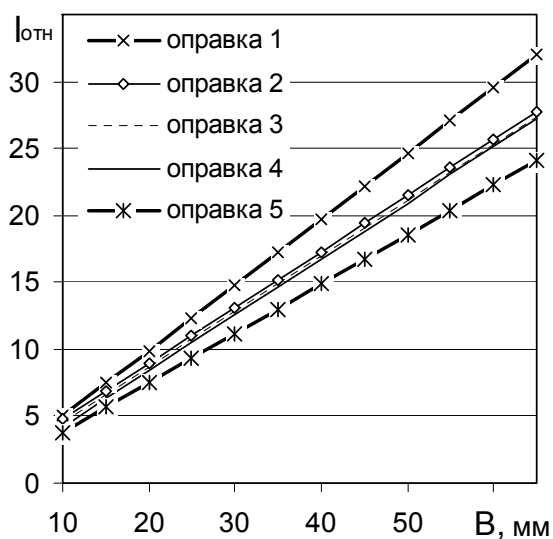


Рисунок 4 – Зависимость ширины ленты B от значения $\Delta l_{отн}$

Таблица 1 – Результаты расчета параметров намотки секций кила (ширина ленты 45 мм)

Номер оправки	Сторона оправки	Параметры оправки			α_0 , град	l_1 , мм	Δl , мм	$l_{отн}$, 10^{-3}	m_c	B , мм	n , об/мин	$S_{отр}$, мм ²	L_n , м.п.	$M_{пер}$, кг	$t_{маш}$, ч
		$H_{корн}$, мм	$H_{конц}$, мм	L , мм											
1	1	662	238	10,409	70	699,3	13,98	21,95	6	45	10	18580065	2592,6	0,353	2,31
	2	742	208			782,3	13,74	19,28							
	3	662	238			699,3	13,98	21,95							
	4	676	144			712,8	13,75	21,17							
2	1	808	321	10,169	70	852,4	13,82	17,79	6	45	10	21919280	3058,5	0,416	2,26
	2	850	253			895	13,57	16,65							
	3	808	321			852,4	13,82	17,79							
	4	742	208			782,1	13,71	19,25							
3	1	760	322	9,900	70	802,3	13,90	19,02	8	45	10	21918600	4077,9	0,555	2,93
	2	888	273			934,4	13,50	15,85							
	3	760	322			802,3	13,90	19,02							
	4	850	253			894,7	13,54	16,61							
4	1	768	322	9671	70	810,5	13,86	18,77	8	45	10	21706560	4038,4	0,549	2,87
	2	662	238			921,7	13,98	21,95							
	3	742	208			810,5	13,74	19,28							
	4	662	238			934,2	13,98	21,95							

риала. Уменьшение массы материала происходит за счет уменьшения количества перехлестов, которые необходимы при намотке. Кроме того, уменьшается и машинное время намотки изделия, что, в свою очередь, приводит к повышению производительности и снижению энергозатрат.

Зависимость между шириной ленты и относительным снижением себестоимости показана на рис. 5.

Из приведенного на рисунке 5 графика следует, что, например, для оправки 1 эффективнее производить намотку лентой шириной, равной 62,4 мм, однако каретка намоточного станка рассчитана только для намотки лентой шириной до 50 мм. Кроме того, существует допуск на ширину ленты ± 5 мм, следовательно, для намотки можно применять ленту шириной не более 45 мм. И, тем не менее, замена на производстве ленты шириной 20 мм, которые широко используются, на ленту шириной 45 мм приведет к снижению себестоимости более чем 17000 грн.

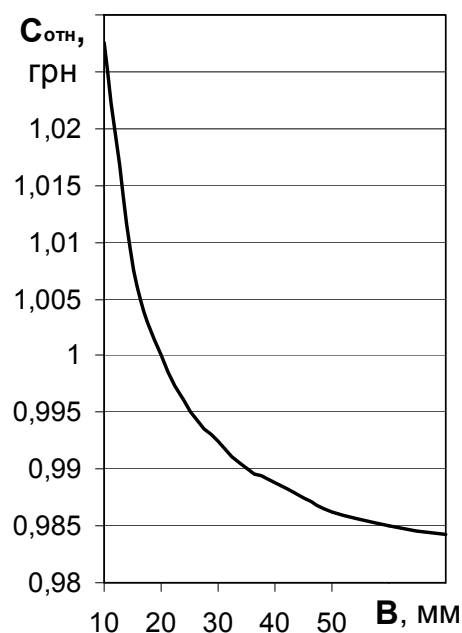


Рисунок 5 – Зависимость относительной себестоимости $C_{отн}$ от ширины ленты

Список использованных источников

1. Буланов И.М. Технология ракетных и аэрокосмических конструкций из композиционных материалов: уч. для вузов./ И.М. Буланов, В.В. Воробей. – М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 1998. – 516 с.
2. Технология производства изделий и интегральных конструкций из композиционных материалов в машиностроении / Научные редакторы А.Г. Братухин, В.С. Боголюбов, О.С. Сироткин. — М.: Готика, 2003. — 516 с.
3. Крысин В.Н. Технологические процессы формования, намотки и склеивания конструкций / В.Н. Крысин, М.В. Крысин. – М.: Машиностроение, 1989. — 240 с.

Поступила в редакцию 07.06.2011.

*Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.Е. Гайдачук,
Национальный аэрокосмический университет
им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», г. Харьков*