

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СОТОВОГО ЭЛЕМЕНТА, ПОЛУЧЕННОГО ПЛЕТЕНИЕМ

Плетение является одним из эффективных технологических процессов формообразования деталей из полимерных композиционных материалов для конструкций летательных аппаратов и других изделий.

Плетение можно определить как технологический процесс получения материала равновесной структуры в ходе одновременного перемещения групп образующих нитей.

Для фиксации геометрических параметров изделия процесс оплетки выполняется на оправку на шнуроплетельных машинах (ШПМ) с последующей формовкой. Рассматривая процесс плетения при изготовлении сотовых конструкций летательных аппаратов, следует отметить следующее:

- каждый элемент сотоблока оправки оплетается отдельно, что позволяет осуществить дифференцированный подход как к проектированию, так и изготовлению конкретного изделия, за счет применения волокон различной плотности и материала в зависимости от действующей нагрузки по площади конструктивного элемента;

- точность геометрии сотового элемента зависит от точности изготовления оплетаемой оправки, что в итоге обеспечивает как более прогнозируемые прочностные характеристики, так и более точную стыковку отдельных сотовых элементов между собой;

- получение панелей одинарной и двойной кривизны без деформаций сот, что также повышает несущую способность конструкции (рис. 1);

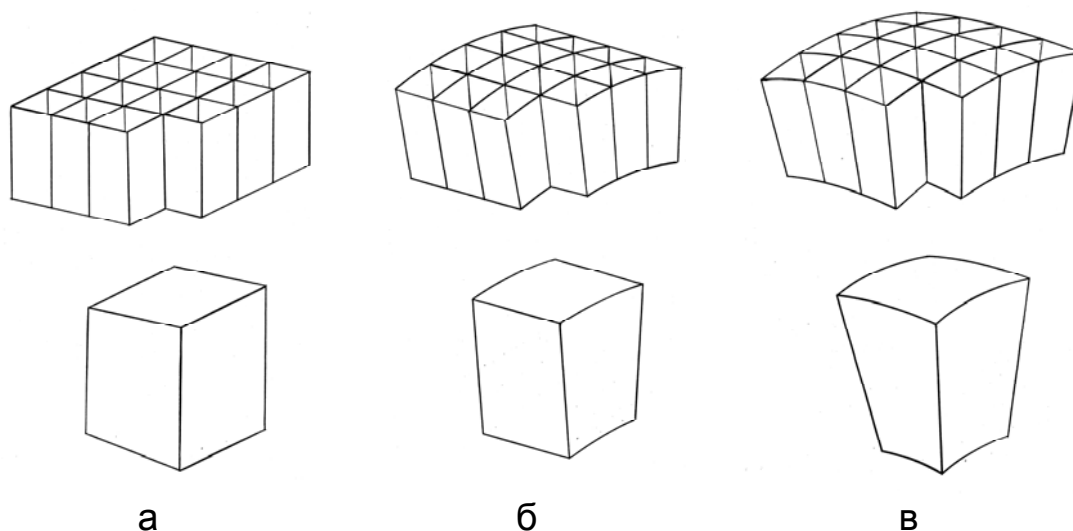


Рисунок 1 – Формы сотоблоков из отдельных оправок:
а – плоская; б – одинарной кривизны; в – двойной кривизны

- получение практически любой формы в плане ячейки сот;
- местное усиление панелей, поскольку сборка сотоблока осуществляется из отдельных оправок;
- изготовление сотоблока в условиях экспериментального и мелкосерийного производства.

Технологический процесс изготовления сотовых элементов методом плетения включает в себя как подготовительные операции, включающие в себя подготовку оборудования и входящих материалов, так и операции, заключающиеся в изготовлении готового изделия с последующим контролем. Схема техпроцесса изготовления сотового блока изображена на рис. 2.

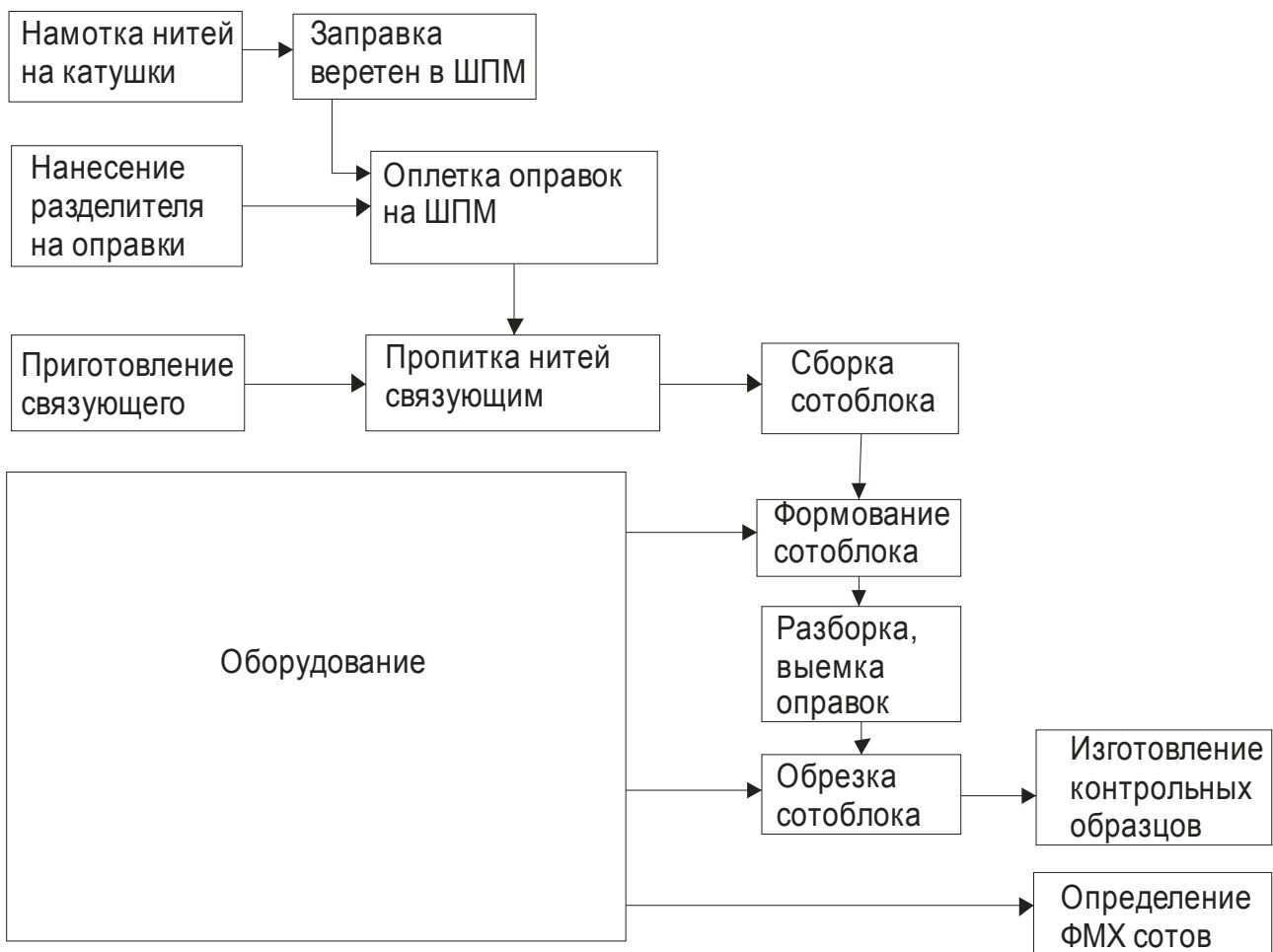


Рисунок 2 – Схема техпроцесса изготовления сотового блока

Рассмотрим движение отдельной образующей нити при оплетке оправки. Один виток оплетки образуется за один оборот веретена относительно оправки. Характеристики винтовой линии определяются соотношением основных технологических параметров плетения.

Рассматривая развертку винтовой линии, соответствующую одному обороту образующей нити (рис. 3), получаем

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{V_{оп}}{\omega P_{оп}} = \frac{\Delta}{P_{оп}},$$

где $V_{оп}$ – скорость подачи оправки; ω – частота вращения веретена; $P_{оп}$ – периметр оправки; Δ – шаг винтовой линии.

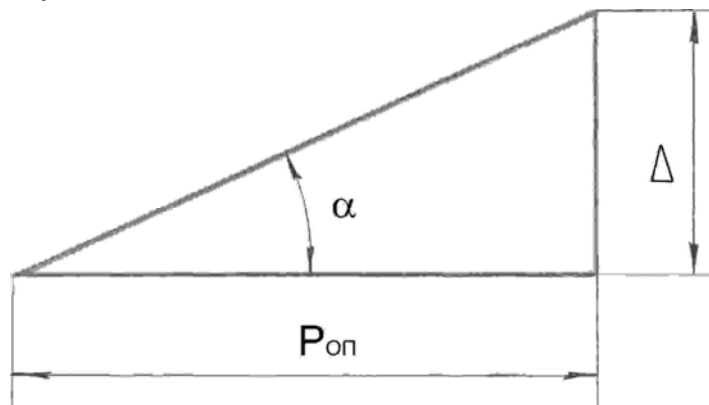


Рисунок 3 – Развертка винтовой линии

Условие реализации разреженной структуры

$$\Delta = \frac{V_{оп}}{\omega} - \frac{d_{\epsilon}}{K_{CM} \cos \alpha} > 0,$$

где K_{CM} – коэффициент смятия волокон, характеризующий уменьшение диаметра нити в узле плетения в направлении, перпендикулярном к поверхности оплетаемой оснастки, может находиться в пределах 0,65...0,87 [1, 2]; d_{ϵ} – диаметр используемых волокон

$$d_{\epsilon} = 0,0357 \cdot \sqrt{\frac{T}{\rho}}, \quad (1)$$

где T – линейная плотность нити, текс; ρ – плотность вещества нити [3].

Рассмотрим шестигранный сотовый элемент (рис. 4). Высота сотового элемента – H .

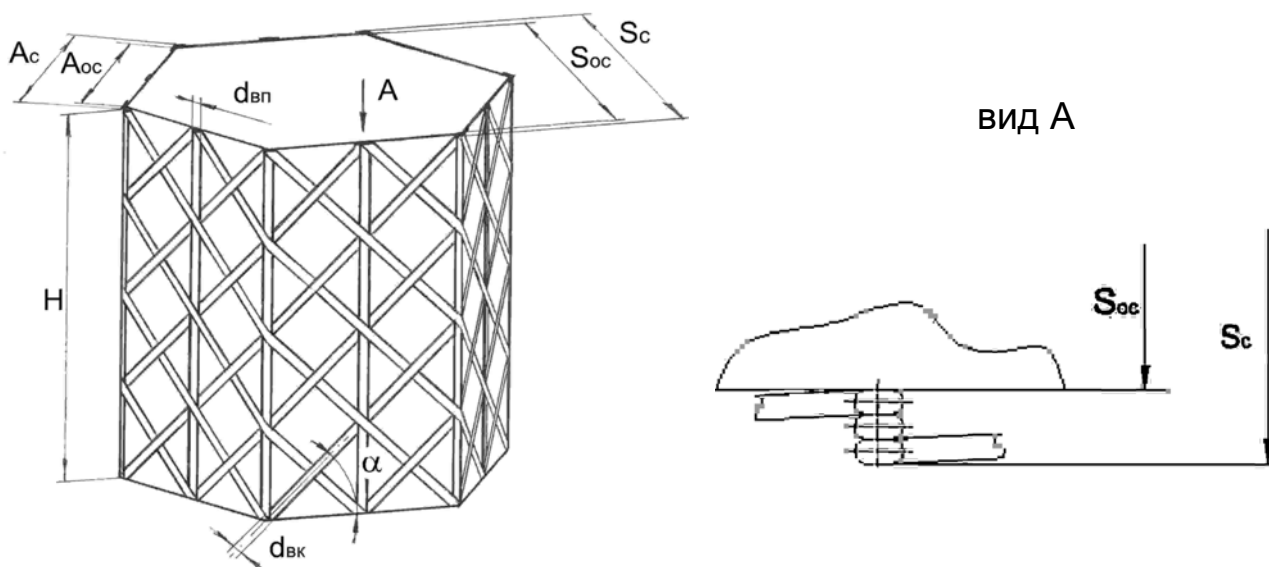


Рисунок 4 – Плетеный сотовый элемент на оснастке

Исходя из геометрических соображений и при отсутствии связующего следует:

$$S_c = S_{oc} + 4 \cdot d_{вк} \cdot K_{смк} + 2 \cdot K_{п} \cdot d_{вп} \cdot K_{смп}, \quad (2)$$

где S_c , S_{oc} – размеры «под ключ» соответственно шестигранных сотового элемента (СЭ) и оснастки; $d_{вк}$ и $d_{вп}$ – диаметр соответственно «косых» (расположенных под углом α к оси оснастки) и «прямых» (параллельных оси оснастки) нитей плетения, образующих СЭ; $K_{смк}$ и $K_{смп}$ – коэффициенты смятия «косых» и «прямых» нитей плетения (как принято в работе [1]); $K_{п}$ – коэффициент наличия в плетении «прямых» нитей ($K_{п} = 1$ – есть «прямые» нити в плетении, $K_{п} = 0$ – нет «прямых» нитей в плетении). «Прямые» нити проходят через узлы плетения «косых».

В формуле (2) необходимо использовать диаметры волокон, вычисленные по формуле (1).

Угол, образованный осью оснастки и направлением «косых» нитей плетения, равен α и считается заданным. Тогда можно определить длину проекции $L_k = \frac{H}{\cos \alpha}$, одной «косой» нити плетения на оснастку.

Расстояние между проекциями узлов плетения на оснастку B , измеренное по проекциям «косых» нитей, определяется формулой

$$B = \frac{6 \cdot A_c}{N_{вк} \cdot \sin \alpha},$$

где $N_{вк}$ – количество «косых» нитей в плетении.

На рис. 5 показан участок «косой» нити, находящийся между двумя узлами плетения. Угол β образован осью «косой» нити и плоскостью грани оснастки. При отсутствии нитей осевого плетения («прямых» нитей) длину одной «косой» нити L_{uk} можно приближенно получить по следующей формуле:

$$L_{uk} = \frac{H}{\cos \alpha \cdot \cos \beta}. \quad (3)$$

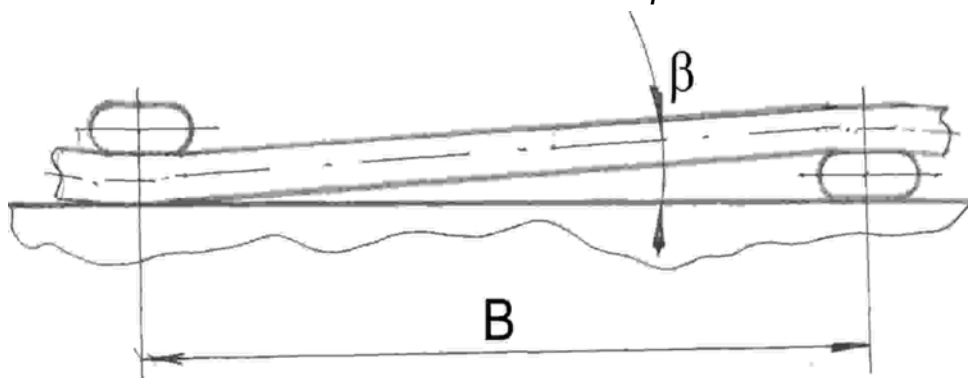


Рисунок 5 – Участок «косой» нити между узлами плетения

Из рис. 5 следует

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{d_{\text{вк}} \cdot K_{\text{смк}}}{B}. \quad (4)$$

Заметим, что формулой (3) можно воспользоваться для экспериментального определения коэффициента смятия нитей плетения в узлах.

Отметим, что начиная с формулы (3) и далее внешние размеры СЭ используются как размеры срединной плоскости грани СЭ.

Иначе длину одной «косой» нити $L_{\text{ук}}$ можно приближенно получить по следующей формуле:

$$L_{\text{ук}} = \sqrt{\left[\frac{H}{\cos \alpha} \right]^2 + \left[\frac{H \cdot N_{\text{вк}} \cdot \operatorname{tg} \beta}{(6 \cdot A_{\text{ос}}) \cdot K_{\text{смк}} \cdot d_{\text{вк}}} \right]^2}. \quad (5)$$

Если в плетении присутствуют осевые нити («прямые» нити), количество которых из условий возможности проведения плетения должно быть кратно половинному количеству «косых» нитей, то длину «косой» нити можно представить по аналогии с формулой (3):

$$L_{\text{ук}} = \frac{H}{\cos \alpha \times \cos \beta}, \quad (6)$$

но здесь

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{(d_{\text{вк}} \cdot K_{\text{смк}} + d_{\text{вп}} \cdot K_{\text{смп}})}{B}, \quad (7)$$

или иначе, по аналогии с формулой (5):

$$L_{\text{ук}} = \sqrt{\left[\frac{H}{\cos \alpha} \right]^2 + \left[\frac{H \cdot N_{\text{вк}} \cdot \operatorname{tg} \beta}{(6 \cdot A_{\text{ос}}) \cdot (K_{\text{смк}} \cdot d_{\text{вк}} + K_{\text{смп}} \cdot d_{\text{вп}})} \right]^2}. \quad (8)$$

«Зазор» C , между двумя ближайшими параллельными «косыми» нитями плетения без полного учета коэффициента смятия (смятие учитывается только при вычислении $A_{\text{ос}}$) определяется так:

$$C = B \cdot \sin \alpha - d_{\text{вк}}.$$

Этот же «зазор» при полном учете влияния коэффициента смятия (рис. 6), можно найти по формуле

$$C = B \cdot \sin \alpha - K_{\text{смк}} \cdot d_{\text{вк}}.$$

Представим также формулы для вычисления параметров «ромбического зазора», показанного на рис. 6. Для получения данных использовано то обстоятельство [1], что коэффициент смятия, характеризующий увеличение диаметра, есть обратная величина значения коэффициента смятия, характеризующего уменьшение диаметра.

Сторона «ромбического зазора» $C = B - d_{\text{вк}} / (K_{\text{смк}} \cdot \sin 2\alpha)$.

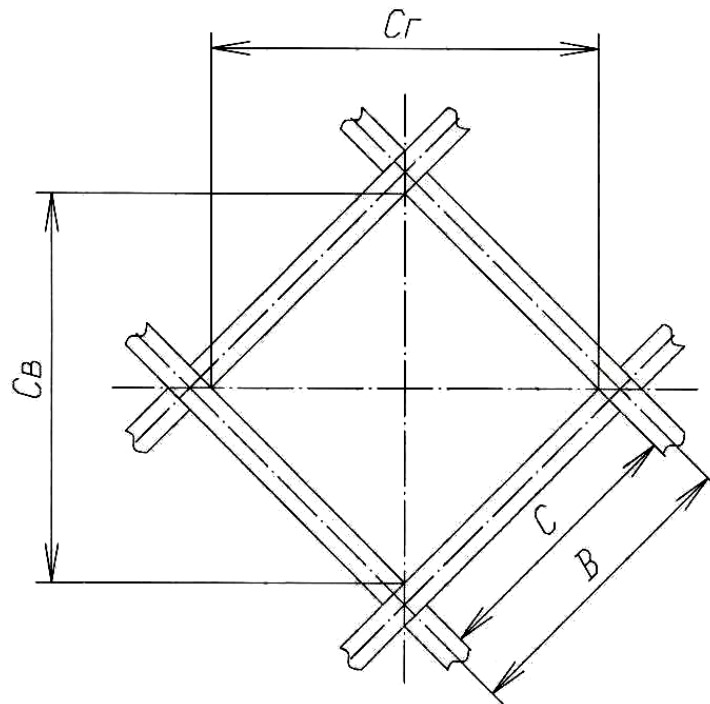


Рисунок 6 – Ромбический элемент сот

Горизонтальная (параллельная торцам СЭ) диагональ «ромбического зазора» определяется так:
$$C_e = \frac{12 \cdot A_c}{N_{вк} - d_{вк} / (2 \cdot K_{смк} \cdot \sin \alpha)}$$

Вертикальную (перпендикулярная к торцам СЭ) диагональ «ромбического зазора» находят по формуле:

$$C_e = 2\delta_y - d_{вк} / (K_{смк} \cdot \cos \alpha),$$

где δ_y – шаг узлов плетения по высоте СЭ, который вычисляется по следующей формуле:

$$\delta_y = 6 \cdot A_c \cdot \operatorname{ctg} \alpha / N_{вк}.$$

Рассмотрим, какую массу имеют нити в типовом СЭ.

Массу «косых» нитей находят по следующим формулам:

$$M_{вк} = \frac{\pi}{4} \cdot N_{вк} \cdot L_{ук} \cdot d_{вк}^2 \cdot \rho_{вк}, \quad \text{либо} \quad M_{вк} = N_{вк} \cdot L_{ук} \cdot T_{вк}.$$

Массу «прямых» нитей -

$$M_{вп} = \frac{\pi}{4} \cdot N_{вп} \cdot H \cdot d_{вп}^2 \cdot \rho_{вп}, \quad \text{либо} \quad M_{вп} = N_{вп} \cdot H \cdot T_{вп},$$

где $N_{вп}$ – количество «прямых» нитей в плетении.

Общая масса нитей в типовом СЭ $M_e = M_{вк} + M_{вп}$, а если «косые» и «прямые» нити в СЭ одинаковы, то их общая масса может быть определена как

$$M_e = \frac{\pi}{4} \cdot (N_{вк} \cdot L_{ук} + N_{вп} \cdot H) \cdot d_e^2 \cdot \rho_e, \quad \text{либо} \quad M_e = T \cdot (N_{вк} \cdot L_{ук} + N_{вп} \cdot H).$$

Количество узлов плетения в типовом СЭ вычисляют по следующей формуле: $N_y = \frac{H N_{\text{вк}}}{\delta_y 2}$.

Далее рассмотрим типовой СЭ после превращения его в композиционный материал. Нити СЭ пропитываются связующим. При этом считаем известным коэффициент $\Theta_{\text{МС}}$, показывающий отношение массы связующего к массе нитей: $\Theta_{\text{МС}} = M_{\text{СВ}} / M_{\text{Е}}$.

Плотности некоторых материалов, которые могут найти применение в СЭ данного типа, следующие [5-7]: углеволокно - $\rho_{\text{Е}} = 1,7 \dots 1,75 \text{ г/см}^3$; стекловолокно - $\rho_{\text{Е}} = 2,46 \dots 2,58 \text{ г/см}^3$; кевлар - $\rho_{\text{Е}} = 1,18 \dots 1,25 \text{ г/см}^3$; связующее - $\rho_{\text{СВ}} = 1,16 \dots 1,25 \text{ г/см}^3$.

С учетом введенного коэффициента $\Theta_{\text{МС}}$ массу типового СЭ определяют так: $M = M_{\text{Е}} \cdot (1 + \Theta_{\text{МС}})$.

Плотность типового СЭ, а следовательно и сотового заполнителя, составит $\rho = M / V$.

Экспериментальный образец плетеных сот 100×100 мм (рис. 7) изготовлен переплетением двух групп стеклонитей (БС7×36×1×3-33) по 12 в каждой, имеющих линейную плотность 324 текс и ориентированных соответственно под углами, близкими к $\pm 45^\circ$ относительно вертикальной оси ячейки.

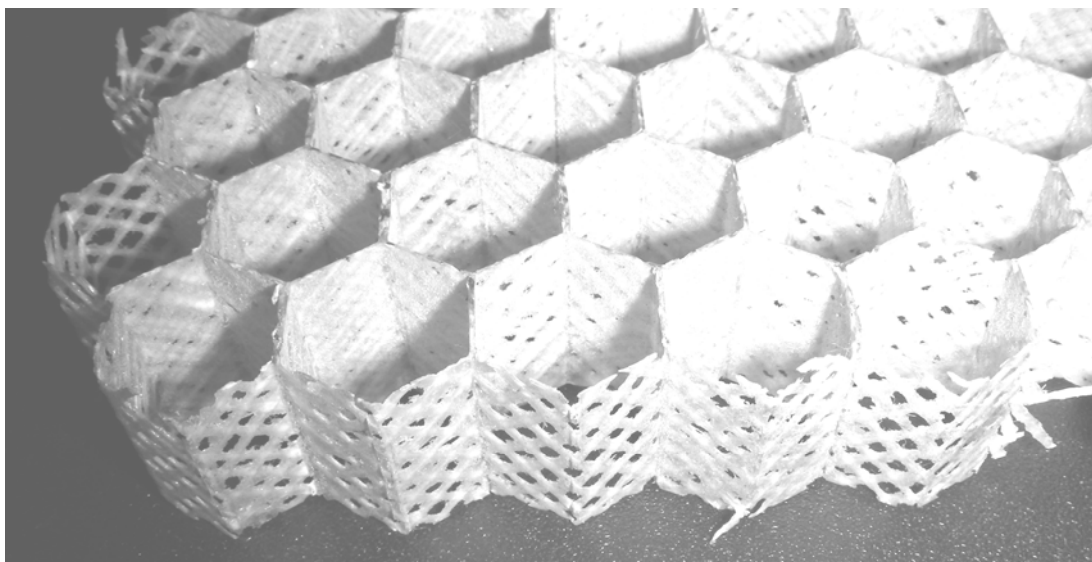


Рисунок 7 – Внешний вид экспериментального образца плетеных сот

Образец сотового заполнителя изготовлен методом автоклавного формования в оснастке. При ячейке шестигранника сотового элемента $S_c = 14 \text{ мм}$ и использовании связующего ЭДТ-69-Н получена плотность сотового заполнителя порядка $\sim 65 \dots 70 \text{ кг/м}^3$ при явно избыточном содержании связующего.

По расчетам при применении волокон СВМ (кевлар) с линейной плотностью 14,5 текс и ячейкой шестигранника СЭ $S_c=14$ мм при $\Theta_{MC} = 0,45...0,5$ масса 1 м³ сотоблока составляет около 5 кг.

Список использованных источников

1. Корицкий, К.И. Инженерное проектирование текстильных материалов [Текст] / К.И. Корицкий. – М.: Легкая индустрия, 1971. – 352 с.
2. Крысько, Л.П. Техника и технология плетения [Текст] / Л.П. Крысько, М.Г. Деханова. – М.: Легпромбытиздат, 1990. – 176 с.
3. Свойства и особенности переработки химических волокон [Текст] / под ред. А.Б. Пакшвера. – М.: Химия, 1975. – 495 с.
4. Тарнопольский, Ю.М. Пространственно армированные композиционные материалы [Текст] : справ. / Ю.М. Тарнопольский, И.Г. Жигун, В.А. Поляков. – М.: Машиностроение, 1987. – 223 с.
5. Портной, К.И. Структура и свойства композиционных материалов [Текст] / К.И. Портной. – М.: Машиностроение, 1979. – 255 с.
6. Композиционные материалы в технике [Текст] / Д.М. Карпинос, Л.И. Тучинский, А.Б. Сапожникова и др. – К.: Техніка, 1985. – 152 с.
7. Композиционные материалы [Текст]: справ. / В.В. Васильев, В.Д. Протасов, В.В. Болотин и др.; под общ. ред. В.В. Васильева и Ю.М. Тарнопольского. - М.: Машиностроение, 1990. – 512 с.

Поступила в редакцию 17.12.2012.

Рецензент: д-р техн. наук, ст. науч. сотр. В.И. Сливинский, УкрНИИТМ, г. Днепропетровск.