

Методика изготовления слоистого композита с заданным объемным содержанием волокон

На практике часто встречается задача, когда по известному количеству слоев наполнителя (армирующей компоненты) необходимо определить количество матричного материала (связующего), которое необходимо взять для обеспечения требуемого коэффициента армирования (коэффициента объемного содержания волокон).

Коэффициент армирования композиционного материала определяется по формуле:

$$\Psi_{\epsilon} = \frac{V_{\epsilon}}{V_{KM}} = \frac{V_{\epsilon}}{V_{\epsilon} + V_{м}}, \quad (1.1)$$

где V_{ϵ} – объем, занимаемый армирующей компонентой (волокнами); V_{KM} – объем всего композита; $V_{м}$ – объем, занимаемый матричным материалом.

Для определения количества матричного материала, обеспечивающего требуемый коэффициент армирования, можно воспользоваться формулой:

$$V_{м} = \frac{V_{\epsilon}(1 - \Psi_{\epsilon})}{\Psi_{\epsilon}} = V_{\epsilon} \left(\frac{1}{\Psi_{\epsilon}} - 1 \right). \quad (1.2)$$

Таким образом, чтобы найти необходимый объем матричного материала, нужно сначала определить объем волокон и задать коэффициент армирования.

Реальные значения коэффициентов армирования в волокнистых КМ варьируются в диапазоне $\Psi_{\epsilon} = 0,3 \div 0,7$. Нижний порог значения обусловлен рациональностью изготовления композита, т.к. при коэффициентах армирования $\Psi_{\epsilon} \leq 0,25$ свойства такого композита мало отличаются от свойств матрицы. Верхний порог значения обусловлен технологическими возможностями обеспечения качественной пропитки армирующей компоненты связующим.

Определить объем волокон можно по результатам взвешивая одного слоя армирующей ткани или ровницы по формуле:

$$V_{\epsilon} = \frac{m_{сл.\epsilon}}{\rho_{\epsilon}} \cdot n_{сл}, \quad (1.3)$$

где $m_{сл.\epsilon}$ – масса одного слоя армирующей ткани или ровницы; ρ_{ϵ} – плотность армирующих волокон (см. табл. 1); $n_{сл}$ – количество слоев армирующей ткани или ровницы в композите.

Таблица 1

Плотность основных видов армирующих материалов

Материал	Углеволокно	Стекловолокно	Органоволокно	Борное волокно
Плотность, г/см ³	1,75	2,5	1,45	2,3-2,6

В результате по формуле (1.2) будет определен объем матричного материала. Далее, в случае работы с **терморезактивными двухкомпонентными матрицами** имеем следующие соотношения:

$$V_M = V_{CM} + V_{OM6} = V_{CM} \cdot (1 + f_v), \quad (1.4)$$

где V_{CM} – объем смолы, который необходимо взять; V_{OM6} – объем отвердителя, необходимый для отверждения заданного объема смолы; f_v – коэффициент пропорции между отвердителем и смолой (паспортная величина для отвердителя);

$$f_v = \frac{V_{OM6}}{V_{CM}} \text{ или } f_m = \frac{m_{OM6}}{m_{CM}}. \quad (1.5)$$

Если рассматривать через массы:

$$m_M = m_{CM} + m_{OM6} = m_{CM} \cdot (1 + f_m) = V_M \cdot \rho_M. \quad (1.6)$$

Здесь ρ_M – плотность материала матрицы (см. табл. 2).

Таблица 2

Плотность основных видов связующих

Материал	Эпоксидная смола	Полипропилен	Полиэтилентерефталат (лавсан)
Плотность, г/см ³	1,2	0,86÷0,91	1,38÷1,4

В итоге:

$$V_{CM} = \frac{V_M}{(1 + f_v)}, \quad V_{OM6} = V_{CM} \cdot f_v, \quad (1.7)$$

или

$$m_{CM} = \frac{V_M \cdot \rho_M}{(1 + f_m)}, \quad m_{OM6} = m_{CM} \cdot f_m. \quad (1.8)$$

В случае работы с **термопластичными матрицами** в виде пленок имеем следующие соотношения:

$$V_M = \frac{m_{CL.M}}{\rho_M} \cdot n_{CL.M}, \quad (1.9)$$

где $m_{CL.M}$ – масса одного слоя матричного материала.

Отсюда:

$$n_{сл.м} = \frac{V_{.м} \cdot \rho_{.м}}{m_{сл.м}} = \frac{V_{.м}}{V_{сл.м}}. \quad (1.10)$$

В табл. 3 представлены технологические параметры формования КМ.

Таблица 3

Технологические параметры формования КМ

Композит	Температура выдержки, °С, (в скобках указана температура плавления)	Время выдержки при температуре, ч	Давление в пресс-форме $P_{н.ф.}$, МПа	Режим охлаждения
Углепластик на основе эпоксидной матрицы	60÷80	1	0,5	Охлаждение вместе с установкой в течение 24 ч
Углепластик на основе препрегов	120 180	1 0,5	0,5	Охлаждение вместе с установкой в течение 24 ч
Углепластик на основе лавсана	300 (260)	0,5	0,5÷1	Охлаждение вместе с установкой в течение 24 ч
Углепластик на основе полипропилена	200 (176)	0,5	0,5÷1	Охлаждение вместе с установкой в течение 24 ч

Пересчитать давление в усилие на пресс-форму можно по формуле:

$$F_{н.ф.} = P_{н.ф.} \cdot a \cdot b, \quad (1.11)$$

где a, b – соответственно длина и ширина рабочего пространства пресс-формы.

Давление на прессе, соответствующее данному усилию, можно определить по формуле:

$$P_n = \frac{F_{н.ф.} \cdot 4}{\pi \cdot d_{ш}^2}, \quad (1.12)$$

где $d_{ш}$ – диаметр штока пресса. Для пресса марки «ЯБИР» диаметр штока $d_{ш} = 120$ мм, поэтому формулу (1.12) можно преобразовать в следующий вид:

$$P_n = F_{н.ф.} \cdot 8,84 \cdot 10^{-5} \text{ [МПа]}. \quad (1.13)$$