

СИЛОВОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ВОЛОКОН С МАТРИЦЕЙ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ КОМПОЗИЦИЙ

Наиболее важная задача любого технологического процесса получения композиционных материалов состоит в сохранении исходной прочности и целостности волокон. Высокие удельные усилия, возникающие при формировании композиций твердофазными методами, часто приводят к разрушению волокон. В связи с этим необходимо проведение теоретических исследований напряженно-деформированного состояния при твердофазном совмещении составляющих.

Нижняя оценка относительной предельной нагрузки, достигаемой в момент перехода волокон в пластическое состояние, в соответствии с [1] определяется выражением

$$\frac{P_{\text{пр}}}{2k_{\text{в}}} = \frac{1}{2k_{\text{в}} R \cos \gamma} \left\{ (x' - R e^{-\gamma}) (2\beta - \gamma) + 4R w_1(\beta, \gamma - \beta) - \right. \\ \left. - 2RU_1 [2\beta, 2\sqrt{\beta(\gamma - \beta)}] \right\}, \quad (1)$$

где $x'/R = e^{-\gamma} - e^{2\beta - \gamma} + 2\varphi_1(-\beta, \beta - \gamma) - 2U_0 [2\beta, 2\sqrt{\beta(\gamma - \beta)}]$;

$k_{\text{в}}$ — пластическая постоянная материала волокна; γ — угол, определяющий степень заполнения промежутка между волокнами матричным материалом; R — радиус волокна; U_0, U_1 — цилиндрические функции Ломмеля, а $\varphi_1(\alpha, \beta), w_1(\alpha, \beta)$ — специальные функции, табулированные значения которых для шага сетки $\pi/12$ приведены в [2].

Полученная зависимость предельной прочности волокна (1) позволяет управлять технологическим процессом и рассчитывать его параметры, гарантирующие целостность волокон. Истинные значения удельных усилий в волокнах, появляющиеся в процессе пластического деформирования матричного материала, не должны превышать предельную нагрузку на всем пути формоизменения.

Удельные усилия, возникающие в волокнах при их силовом взаимодействии с матричным материалом, связаны с удельными усилиями деформирования следующим соотношением:

$$\frac{p'}{2k_{\text{в}}} = \frac{\delta \xi}{d \sqrt{1 - (l/d)^2}} \cdot \frac{p}{2k_{\text{м}}}, \quad (2)$$

где $\xi = k_{\text{м}}/k_{\text{в}} = \sigma_{\text{Тм}}/\sigma_{\text{Тв}}$; $\sigma_{\text{Тм}}, \sigma_{\text{Тв}}$ — пределы текучести матрицы и волокна соответственно; $k_{\text{м}}$ — пластическая постоянная матричного материала; δ, d — шаг укладки и диаметр волокон; l — текущее расстояние между слоями матричного материала.

Тогда, подставляя в (2) значения удельных усилий деформирования, полученные в [3,4], на начальной, промежуточной и завершающей стадиях формирования композиционного материала будем иметь

$$\frac{p^I}{2k_B} = 3,4 \xi ; \quad (3)$$

$$\frac{p^{II}}{2k_B} = \frac{1,42 \delta \xi}{d [1 - (l/d)^2]^{1/4} [\delta/d - \sqrt{1 - (l/d)^2}]^{1/2}} ; \quad (4)$$

$$\frac{p^{III}}{2k_B} = \frac{\delta \xi}{d \sqrt{1 - (l/d)^2}} \cdot \frac{p_3}{2k_m} . \quad (5)$$

Зависимости удельных усилий в волокнах от относительной глубины затекания матричного материала в промежутки между волокнами, построенные по (3) – (5), представлены на рис. 1. Там же приведена кривая предельной нагрузки, соответствующая выражению (1). Анализ представленных зависимостей показывает, что при относительном шаге укладки волокон $\delta/d = 1,1$ удельные усилия, возникающие в волокнах, достигают значений предельной нагрузки для отношений $\xi = 0,25$. Это значение является предельным для данного шага укладки волокон. Превышение его значения выше 0,25 приведет к их разрушению. При этом удельные усилия в волокнах достигают значений предельной нагрузки на стадии деформирования, соответствующей относительной глубине затекания матричного материала 0,3–0,6 или углом $\gamma = 45^\circ - 23^\circ 33'$!

По мере увеличения относительного шага укладки волокон предельное значение ξ незначительно возрастает. Опасная стадия деформации с точки зре-

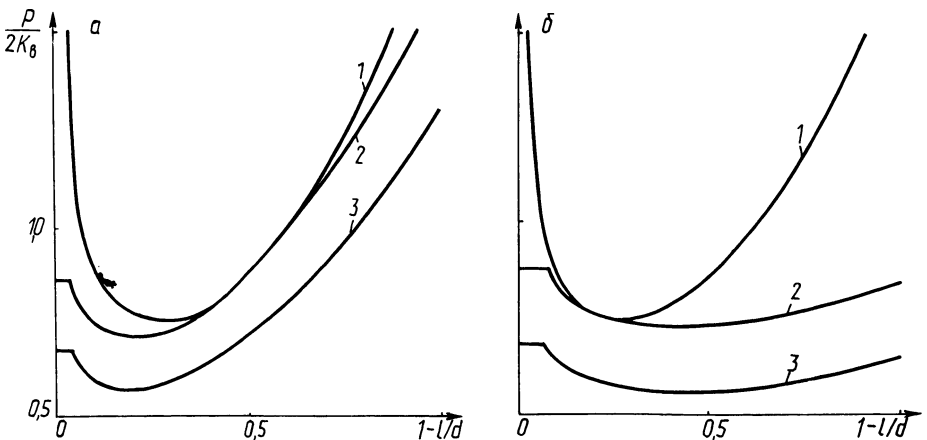


Рис. 1. Зависимость предельной нагрузки (1) и средних напряжений в волокне (2 – $\xi = 0,25$; 3 – $\xi = 0,2$) от стадии деформирования для $\delta/d = 1,1$ (а) и 1,6 (б)

Т а б л и ц а 1. Отношения пределов текучести матрицы и волокна

Композиция	Температура формирования материала, °С								
	400	450	500	600	800	900	1000	1100	1200
ХН77ТЮР-ВА						0,288	0,176		0,027
ХН77ТЮР-ВТ-15							0,167	0,146	0,02
ХН77ТЮР-ВР-20						0,15	0,09	0,08	0,014
ВЖ 98-ВА						0,23	0,14	0,11	0,06
А5-Х18Н10Т	0,22	0,06	0,04	0,03					
Д16-Х18Н10Т	0,48	0,33	0,22						
ВТ-8-В				0,25	0,07	0,06	0,04		

ния возможности разрушения волокон в этом случае сдвигается в область более низкой относительной глубины затекания матричного материала.

Когда средние напряжения превышают предельную нагрузку в волокнах, для предотвращения разрушения последних необходимо варьировать параметрами процесса формирования композиций.

В табл. 1 приведены отношения пределов текучести матричного материала и волокна ξ при различных температурах формирования некоторых композиций. Видно, что в случае упрочнения сплава ХН77ТЮР вольфрамом марки ВА при температуре 900 °С произойдет разрушение волокон, так как средние напряжения в волокнах превышают значение предельной нагрузки (рис. 1). Значит, температура формирования этой композиции должна быть повышена. При температуре 1000 °С $\xi = 0,176$, и напряжения в волокнах ниже предельной нагрузки. Упрочнение той же матрицы более прочными вольфрамовыми волокнами марки ВР-20 возможно и при температуре 900 °С.

Получение композиции Д16-Х18Н10Т без разрушения волокон возможно лишь при температурах 500 °С и выше, в то время как температура формирования композиционного материала А5-Х18Н10Т может быть понижена до 400 °С. При изготовлении композиции титановый сплав ВТ-8-бор температура должна быть выше 600 °С.

Сравнение средних напряжений в волокнах, возникающих при их силовом взаимодействии с матричным материалом в процессах формирования композиционных материалов твердофазными методами, со значениями предельной нагрузки оказывается весьма полезным при конструировании новых композиций, технологические процессы получения которых еще не отработаны. Оно позволяет значительно сократить количество экспериментов по отработке оптимальных режимов формирования композиций.

ЛИТЕРАТУРА

1. М а т у с е в и ч А.С., С е г а л В.М. Предельное нагружение волокон в твердофазных процессах получения композиций. — Технология легких сплавов, 1983, № 1, с. 20–25.
2. Теоретические основыковки и горячей объемной штамповки/Е.М. Макушок, А.С. Матусевич, В.П. Северденко, В.М. Сегал. — Минск: Наука и техника, 1968. — 407 с.
3. М а т у с е в и ч А.С. Силовые условия формирования композиционных материалов. — Докл АН БССР, 1981, т. XXV, № 2, с. 140–143.
4. М а т у с е в и ч А.С. Определение усилий формирования композиционных материалов. — Кузн.-штамп. пр-во, 1981, № 12, с. 7–9.