УДК 677.017:677.06

ПОВЕДЕНИЕ ДВУХКОМПОНЕНТНОГО УПРУГОВЯЗКОПЛАСТИЧЕСКОГО КОМПОЗИТА ПРИ ЕГО НАГРУЖЕНИИ

Ф.Н. МУХТАСИМОВ, К. ЖУМАНИЯЗОВ, Х.А. ТУРАЕВ

(Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности)

Задача настоящего исследования заключается в теоретическом анализе двухкомпонентных композиций, состоящих из тонкодисперсного фиброинового волокна (ФВ) –отходов производства натурального шелка, подвергнутого измельчению в роторном диспергаторе, и синтетических полимеров, прежде всего полиолефинов (ПЭНП и др.), а также в анализе композита с волокнистым холстопрошивным полотном.

Рассматривались различные модели, в которых предполагалось наличие упругих, вязкоупругих и упруговязкопластических свойств основных составляющих композиций. Наиболее общие случаи – это линейная и линейно-упруговязкопластическая модели каждого компонента. Последняя является комбинацией модели Максвелла-Фойгта и Кельвина-Томпсона (рис. 1, где а) – линейно-упругая; б) – вязкоупругая; в) – упруговязкопластичная).

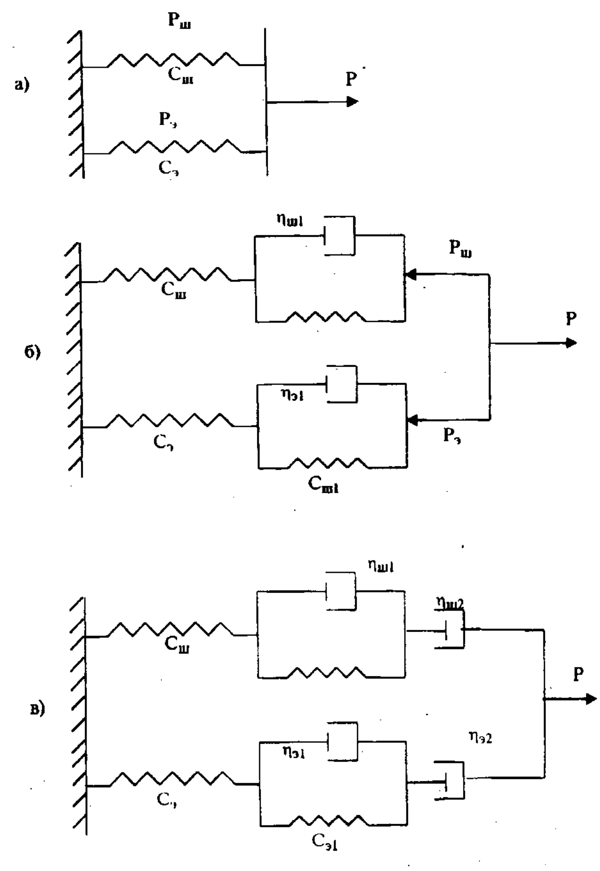

Рис. 1

Введем основные параметры и соотношения, необходимые для составления уравнений статики:

$$P = P_ш + P_э ,$$

где P – суммарное напряжение, приходящееся на композицию; $P_ш$ и $P_э$ – напряжения, приходящиеся соответственно на долю волокна шелка и полимерной упаковки.

Условие совместной деформации элементов запишется как

$$X_ш = X_э = X = const,$$

где $X_ш$ и $X_э$ – деформация шелка и полимера.

При упругом полимере

$$P_ш = C_ш X,$$

$$P_э = C_э X, \qquad (1)$$

$$P = C_k X = (C_ш - C_э)X.$$

Здесь $C_ш, C_э$ и C_k – коэффициенты соответственно жесткости шелка, полимера и композита в целом

$$(C_ш + C_э = C_k).$$

Отсюда

$$\frac{P_ш}{P_э} = \frac{C_ш}{C_э};$$

$$P_ш = P\frac{C_ш}{C_ш + C_э}; \quad P_э = P\frac{C_э}{C_ш + C_э}.$$

Если в композиции суммарное усилие

$$P = P_ш + P_э = const,$$

то $P_ш(t) = const$ и $P_э(t) = const$.

В случае наличия упруговязкого полимера для постоянного напряжения имеем [1, 2]:

$$X_ш = P_ш(t) = [\frac{1}{C_ш} + \frac{1}{C_{ш_1}}\{1 - \exp(-\frac{\eta_ш}{C_{ш_1}})\}],$$

$$X_э = P_э(t) = [\frac{1}{C_э} + \frac{1}{C_{э_1}}\{1 - \exp(-\frac{\eta_э}{C_{э_1}})\}],$$

где $C_{ш_1}$, $C_{э_1}$ – коэффициенты жесткости эластичных моделей композиций для шелка и полимера соответственно; $\eta_ш$ и $\eta_э$ – коэффициенты динамической вязкости.

Приведенные выше уравнения еще не учитывают пластической деформации. Такая модель должна быть комбинацией моделей Максвелла-Фойгта и Кельвина-Томпсона. Ее поведение описывается линейным дифференциальным уравнением и имеет решение в квадратурах в случае P=const *или* X=const.

Если $P_ш$ и $P_э$ = const, то для такой модели

$$X_ш = P_ш\{\frac{1}{C_ш} + \frac{1}{C_{ш_1}}[1 - \exp(\frac{\eta_ш t}{C_{ш_1}})] + \frac{t}{\eta_{ш_1}}\},$$

$$X_э = P_э\{\frac{1}{C_э} + \frac{1}{C_{э_1}}[1 - \exp(\frac{\eta_э t}{C_{э_1}})] + \frac{t}{\eta_{э_1}}\}, \qquad (2)$$

где $\eta_{ш_1}$, $\eta_{э_1}$ – коэффициенты вязкости пластических элементов.

При $X_ш = X_э$ и $P = P_ш + P_э$ в момент t=0 для $P_ш$ и $P_э$ получим соотношение (1).

В случае $t \to \infty$ значения деформаций $\frac{\eta}{C}t$ и $\frac{t}{\mu}$ становятся бесконечно большими. Если принять, что через 3τ релаксационные последствия завершились (при этом считать, что при $\tau_ш - \tau_э$ время τ – период "постоянной" экспоненты), то выражение (2) примет вид:

$$X_{ш_\tau} = P_{ш_\tau}(\frac{1}{C_ш} + \frac{0{,}95}{C_{ш_1}} + \frac{3\tau}{\eta_{ш_2}}),$$

$$X_{э_\tau} = P_{э_\tau}(\frac{1}{C_э} + \frac{0{,}95}{C_{э_1}} + \frac{3\tau}{\eta_{э_2}}). \qquad (3)$$

Учитывая, что выражения в квадратных скобках $\approx 0{,}95$ и $P = P_ш + P_э$ и $X_ш = X_э$, к моменту перераспределения напряжений для шелка имеем

$$P_{ш_\tau} = P\frac{\dfrac{1}{C_э}+\dfrac{0{,}95}{C_{э_1}}+\dfrac{3\tau}{\eta_{э_2}}}{\dfrac{1}{C_ш}+\dfrac{0{,}95}{C_{ш_1}}+\dfrac{3\tau}{\eta_{ш_2}}+\dfrac{1}{C_э}+\dfrac{0{,}95}{C_{э_1}}+\dfrac{3\tau}{\eta_{э_2}}}. \tag{4}$$

По закону Гука

$$P_ш = C_ш X_ш + C_ш X,$$

$$P_э = C_э X_э + C_э X,$$

$$P = C_к X;$$

$$P_{э_\tau} = P\frac{\dfrac{1}{C_ш}+\dfrac{0{,}95}{C_{ш_1}}+\dfrac{3\tau}{\eta_{ш_2}}}{\dfrac{1}{C_ш}+\dfrac{0{,}95}{C_{ш_1}}+\dfrac{3\tau}{\eta_{ш_2}}+\dfrac{1}{C_э}+\dfrac{0{,}95}{C_{э_1}}+\dfrac{3\tau}{\eta_{э_2}}}. \tag{5}$$

Многочлен

$$\left(\begin{array}{l} C_{ш_1}\eta_{ш_2}C_э\eta_{э_2}C_{э_1} + 0{,}95C_ш\eta_{ш_2}C_эC_{э_1}\eta_{э_2} + 3\tau C_шC_{ш_1}C_эC_{э_1}\eta_{э_2} + \\ + C_шC_{ш_1}\eta_{ш_2}C_{э_1}C_{э_2} + 0{,}95C_шC_{ш_1}\eta_{ш_2}C_э\eta_{э_2} + 3\tau C_шC_{ш_1}C_{ш_2}\eta_{ш_2}C_эC_{э_1}. \end{array}\right) > 0$$

Обозначим через Δ_1 и запишем (4) и (5) следующим образом:

$$P_{ш_\tau} = \frac{P}{\Delta_1}C_{ш_1}C_ш\eta_{ш_1}(C_э\eta_{э_2} + 0{,}95\eta_{э_1} + 3\tau C_эC_{э_1}), \tag{6}$$

$$P_{э_1} = \frac{P}{\Delta_1}C_эC_{э_1}\eta_{э_2}(C_{ш_1}\eta_{ш_2} + 0{,}95C_ш\eta_{ш_1} + 3\tau C_шC_{ш_1}). \tag{7}$$

Из анализа (6) и (7) установим направление изменения напряжения.

Представляется интересным оценка влияния на нагрузку и характер ее перераспределения вязких (пластических) элементов, поскольку одна из основных целей наполнения полиолефинов волокнистыми наполнителями, в частности, волокнами шелка, состоит в существенном уменьшении ползучести синтетического полимера. Очевидно, что уменьшение усилия ползучести приведет к значительному повышению усилия, приходящегося на волокно. При этом важно, чтобы перераспределение нагрузки не вызвало появления микротрещин на границе раздела фаз и разрушения сплошности композиции. Таким образом, заключаем, что предложенные модели удовлетворительно описывают поведение композитов типа ОНШ – ПЭНП при определенных характеристиках их компонентов – коэффициентов жесткости $C_ш$ и $C_э$ упругих и эластичных $C_ш$, $C_{э_1}$ компонент линейной модели, а также вязких характеристик $\eta_ш$, $\eta_э$ вязкой $\eta_{ш_1}$, $\eta_{э_1}$ пластичной компонент моделей, которые позволяют связать указанные характеристики со свойствами композиций.

Следует отметить, что при мгновенном приложении нагрузки композит ведет себя как вполне упругое тело, а нагрузка на каждый из компонентов композита пропорциональна жесткости каждого элемента.

По истечении определенного времени в композите происходит развитие эластических и пластических деформаций. При этом суммарное напряжение остается постоянным, однако происходит его перераспределение (в случае пластических деформаций по линейному, а для эластических деформаций по экспоненциальному закону). Те же явления происходят при релаксации материала.

Характер указанных перераспределений зависит от жесткости компонентов, коэффициентов вязкости пластических элементов и времени. Чем выше жесткость того или иного компонента и меньше коэффициент вязкости, тем большая часть общей нагрузки перераспределяется на этот компонент.

Показано, что 95% вязких деформаций развивается в композите за время, не превышающее $t \leq 3\tau = 3\eta_1/c_1$.

ВЫВОДЫ

Рассмотренные модели позволяют обоснованно прогнозировать возможность создания и оценки поведения полимерных и прошивных композитов на основе волокнистых наполнителей и полиолефинов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Мухтасимов Ф.Н., Алимова Х.А., Бурнашев Р.З.* // Шелк. – 1996, № 3. С. 58...59.

2. *Алимова Х. и др.* // Проблемы механики. – 1999, № 4,5. С. 7...11.

Рекомендована кафедрой прядения хлопка и химических волокон. Поступила 06.04.01.