УДК 677.021

РАСЧЕТНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОМПОНЕНТ ДЕФОРМАЦИИ СЖАТИЯ ВОЛОКНИСТОГО МАТЕРИАЛА В МАССЕ

В.И.ЖУКОВ, Р.В.КОРАБЕЛЬНИКОВ, А.П.СОРКИН

(Костромской государственный технологический университет)

Определение упругой и остаточной деформации для каждого значения усилия сжатия волокнистого материала в массе можно проводить опытным путем [1], однако это связано с выполнением достаточно трудоемких экспериментов.

Для расчетного определения компонент деформации возможно использование метода касательной, если имеется диаграмма напряжений при сжатии волокнистого материала, которую можно получить на основе экспериментального исследования. Поскольку в данной работе рассматривается образец массы волокон, в котором последние перепутаны между собой и образуют своеобразную пространственную сетку, для аналитического описания диаграммы напряжений целесообразно воспользоваться статистической теорией высокоэластичности [2], рассматривающей деформацию молекулярной сетки, состоящей из длинных гибких образований. Согласно этой теории напряжение связано с деформацией уравнением [3, с.125]:

$$\sigma = K\left(\lambda - \frac{1}{\lambda^2}\right), \qquad (1)$$

где σ – одноосное напряжение; K – параметр материала; λ – кратность сжатия.

В случае сжатия образца волокон в массе в какой-либо форме

$$\lambda = H/H_0 = V/V_0 , \qquad (2)$$

где H, V – высота и объем образца при напряжении σ: $H_0 V_0$ – начальные значения высоты и объема.

Поскольку при использовании диаграммы напряжений в качестве меры деформации применяется ее относительная величина ε, в уравнении (1) необходимо произвести замену, выразив кратность через относительную деформацию по формуле

$$\lambda = H/H_0 = (H_0 - \Delta H)/H_0 =$$

$$= 1 - \Delta H/H_0 = 1 - \varepsilon, \qquad (3)$$

где ΔH – величина абсолютной деформации образца при напряжении σ.

Подставив в (1) значение λ, получим уравнение, связывающее напряжение с относительной деформацией:

$$\sigma = K\left((1-\varepsilon) - \frac{1}{(1-\varepsilon)^2}\right). \qquad (4)$$

Применение выражения (4) для аппроксимации опытных данных, найденных по методике [1] для льняного очеса в области напряжений от 0 до 200 Н/м^2, показало, что существуют некоторые отличия между экспериментальными и расчетными значениями напряжения σ, особенно в области малых напряжений. Лучшие результаты (с величиной корреляционного отношения

η^2 = 0,991...0,996) получены при использовании уравнения

$$\sigma = K\frac{\varepsilon}{1-\varepsilon} \quad (5)$$

Вид такого графика диаграммы напряжений представлен на рис.1.

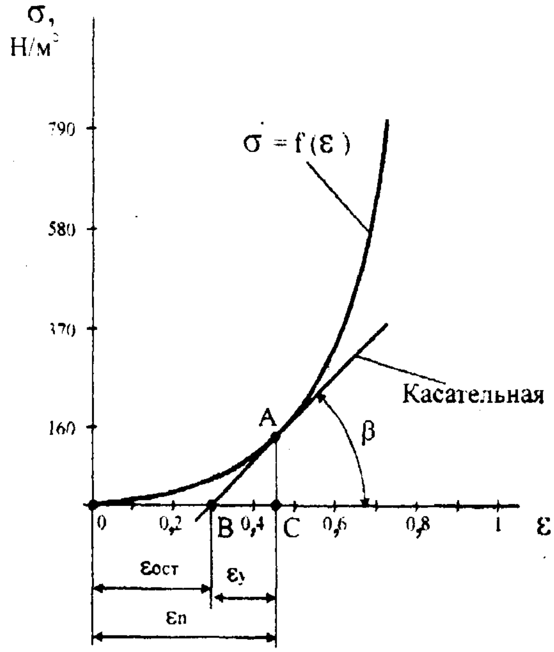

Рис. 1

Для разложения полной относительной деформации ε порции волокнистого материала на относительную упругую $\varepsilon_у$ и относительную остаточную $\varepsilon_{ост}$ можно предложить расчетный метод, опирающийся на использование свойств касательной к кривой диаграммы напряжений (рис.1).

Рассматривая процесс увеличения полной относительной деформации от нуля до величины, соответствующей точке А на диаграмме напряжений, можно заметить, что процесс нагружения испытуемого образца характеризуется плавным, постепенным увеличением напряжения. Допустим, что в точке А процесс нагружения был приостановлен, а затем нагрузка была снята. Поскольку волокнистый материал обладает упругой составляющей деформации, то процесс разгрузки должен описываться графиком, который, во-первых, должен проходить через данную точку, соответствующую параметрам последнего нагружения (точка А), во-вторых, являться прямой линией, так как линейность зависимости напряжения от относительной деформации является характерной чертой упругой деформации. Снятие нагрузки с образца соответствует на графике (рис.1) перемещению по прямой линии в направлении от точки А к точке В.

При повторном нагружении вначале будет преодолеваться сила упругости испытуемого образца до тех пор, пока не будет достигнуто напряжение, при котором в предыдущем опыте нагружение было прекращено (на графике рис.1 этому соответствует перемещение из точки В в точку А по прямой линии). Дальнейший рост деформации приведет к продолжению нелинейного увеличения напряжения испытуемого образца с процессами, аналогичными описанным выше. Таким образом, в точке А должны совпасть обе линии: разгрузки АВ и нагружения ВА с последующим плавным переходом в линию графика диаграммы напряжений. Все это означает, что прямая линия разгрузки и нагружения должна являться касательной в точке А.

Перемещение вдоль горизонтальной оси от уровня точки А до уровня точки В – отрезок СВ – соответствует величине относительной упругой деформации, а величина отрезка 0В – величине относительной остаточной деформации. Выполнение соответствующих действий на диаграмме можно считать графическим методом разложения полной деформации на упругую и остаточную составляющие.

В целях реализации расчетного метода требуется использование математических выражений для описания функции диаграммы напряжений и касательной, являющейся геометрическим образом первой производной в точке этой функции.

Выполняя математические преобразования в соответствии с описанной выше методикой, применяя для описания касательной уравнение прямой линии, одновременно подставляя выражение функции (5) и ее первой производной, получаем выражение для относительной упругой составляющей деформации:

$$\varepsilon_y = BC = \frac{AC}{\mathrm{tg}\,\beta} = \frac{\sigma(\varepsilon)}{\frac{d\sigma(\varepsilon)}{d\varepsilon}} =$$

$$= \frac{K\varepsilon(1-\varepsilon)^3}{(1-\varepsilon)^2 K(1+\varepsilon)} = \frac{\varepsilon(1-\varepsilon)}{1+\varepsilon} \qquad (6)$$

и относительной остаточной составляющей деформации:

$$\varepsilon_{ост} = \varepsilon - \varepsilon_y = \varepsilon - \frac{\sigma(\varepsilon)}{\frac{d\sigma(\varepsilon)}{d(\varepsilon)}} =$$

$$= \varepsilon - \frac{\varepsilon(1-\varepsilon)}{1+\varepsilon} = \frac{2\varepsilon^2}{1+\varepsilon}. \qquad (7)$$

Таким образом, для получения данных о компонентах деформации при любом напряжении (нагрузке) достаточно наличия диаграммы напряжений и выполнения расчетов по формулам (6) и (7).

При сравнении расчетных значений упругой и остаточной составляющих деформации и данных, полученных экспериментально, была установлена достаточно высокая степень близости значений функций на уровне величины корреляционного отношения $\eta^2 = 0,967 \ldots 0,994$.

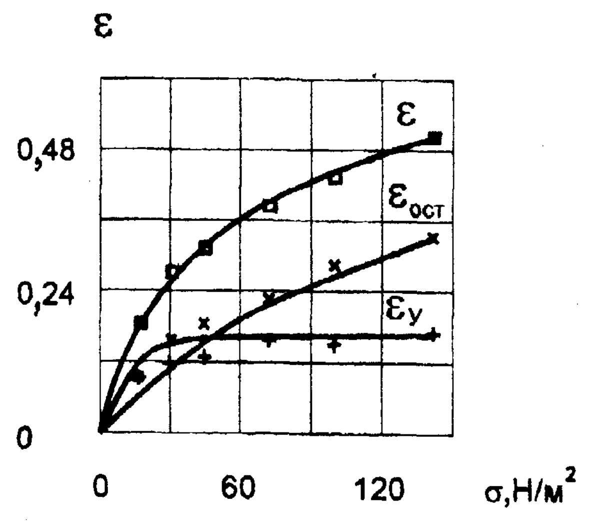

Рис. 2

На рис.2 изображены графики зависимостей полной ε, относительной остаточной $\varepsilon_{ост}$ и относительной упругой ε_y составляющих деформаций в функции напряжения σ, полученные расчетным путем для условий эксперимента с льняным очесом влажностью 10%. Значения компонент деформации, установленные экспериментально, отмечены условными значками (□– полная; х– остаточная; + – упругая).

Из графиков на рис.2 следует, что экспериментальные значения близки к расчетным. Графики для образцов порций волокон с влажностью 5, 10 и 15% имеют подобный вид.

Необходимо отметить, что достаточно высокая степень близости расчетных и экспериментальных значений была достигнута лишь для значений, соответствующих малым напряжениям: до 200 Н/м^2.

ВЫВОДЫ

1. Получено уравнение зависимости напряжения от относительной деформации сжатия волокнистого материала для льняного очеса в массе в диапазоне напряжений до 200 Н/м^2 и влажности до 15%.

2. Предложен расчетный метод определения относительной упругой и относительной остаточной деформаций волокнистого материала в массе с использованием диаграммы напряжений.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Жуков В.И.* // Вестник Костромского государственного технологического университета. – Кострома, 1999, №1.
2. *Wall F. T.* // J. Phis. Chem.–10, 132, 485, 1942;11, 527, 1943.
3. *Балясов П.Д.* Сжатие текстильных волокон в массе и технология текстильного производства. – М.: Легкая индустрия,1975.

Рекомендована кафедрой прядения натуральных и химических волокон. Поступила 16.11.00.