

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫРАЖЕНИЯ УСЛОВНОГО МОДУЛЯ УПРУГОСТИ НЕТКАНЫХ МАТЕРИАЛОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИХ ПОРИСТОСТИ

EXPRESSION DETERMINATION OF THE CONDITIONAL ELASTICITY MODULUS OF NONWOVEN MATERIALS DEPENDING ON THEIR POROSITY

Ю.М. ТРЕЩАЛИН, М.Ю. ТРЕЩАЛИН, А.Ю. МАТРОХИН

YU.M. TRESCHALIN, M.YU. TRESCHALIN, A.YU. MATROKHIN

(Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
Ивановский государственный политехнический университет)

(Lomonosov Moscow State University,
Ivanovo State Polytechnical University)

E-mail: antropog@yandex.ru; mtreschalin@mail.ru; matrokhin.igta@mail.ru

Предложена дополнительная характеристика прочности объемных нетканых материалов в виде условного модуля упругости, представляющего собой отношение разрывной нагрузки и фактической площади поперечного сечения образца (по внешнему контуру). На основании экспериментальных данных проведен анализ изменения условного модуля упругости нетканых материалов в зависимости от их пористости. В результате исследований получены математические зависимости, позволяющие вычислить условный модуль упругости и, как следствие, прогнозировать прочностные характеристики нетканых материалов, изготавливаемых различными производителями, с достаточной для проведения технических расчетов точностью.

An additional characteristic of the strength of bulk nonwoven materials is proposed in the form of a conditional modulus of elasticity, which is the ratio of both the breaking load and the actual cross-sectional area of the sample (along the outer contour). Based on the experimental data, an analysis was made of the change in the conditional modulus of elasticity of nonwoven materials depending on their porosity. As a result of the research, mathematical dependencies were obtained that allow calculating the conditional modulus of elasticity and, as a result, predicting the strength characteristics of nonwoven materials manufactured by various manufacturers with sufficient accuracy for technical calculations.

Ключевые слова: нетканый материал, условный модуль упругости, разрывная нагрузка, пористость.

Keywords: nonwoven material, conditional elastic modulus, tensile load, porosity.

Тенденции развития рынка полимерных композиционных материалов [1] обуславливают интерес к исследованиям механических характеристик нитей, жгутов, сеток, тканей, холстов, нетканых материалов и других волокнистых материалов, которые могут выполнять армирующие функции.

Как показывают наблюдения, при растяжении нетканых материалов, в том числе объемных [2], в отличие от других текстильных изделий, достаточно сложно определить усилие, при котором материал фактически теряет прочность, но не разрушается. Поэтому формальный момент разрыва об-

разца происходит при более высокой нагрузке по отношению к той, при которой материал фактически уже не имеет необходимых физико-механических параметров, соответствующих условиям эксплуатации.

С другой стороны, в ходе испытаний образцов объемных нетканых материалов на растяжение в центральной части по мере приложения нагрузки образуется сужение элементарной пробы по ширине и уменьшение ее толщины. На основании показаний разрывной машины в момент разрыва вычисляют разрывную нагрузку, удельную разрывную нагрузку [3], [4], формулы которых учитывают номинальную ширину элементарной пробы.

В ситуации, при которой площадь сечения элементарной пробы к моменту разрыва значительно отличается от исходной, определить истинное значение разрывных характеристик и модуля упругости посредством экспериментальных исследований может быть крайне затруднительно.

Учитывая изложенное, в качестве технического решения предлагается рассмотреть условный модуль упругости, представляющий собой отношение разрывной нагрузки, определяемой в соответствии с [4], и площади поперечного сечения образца (по внешнему контуру), что позволит прогнозировать прочностные характеристики объемного нетканого полотна в эксплуатации. Современное развитие информационных технологий позволяет проводить совместные измерения, включая разрывную нагрузку и площадь поперечного сечения элементарной пробы нетканого материала.

Применительно к нетканым материалам $E(\xi=1)_m$ $\ln = 0$, а $E(\xi=0)_{\max}$ будет равен модулю упругости полимера, из которого изготовлено волокно (мононить) E_B . Тогда выражение (1) запишется:

$$E_{HM} = -E_B \xi^{n_{HM}} + E_B = E_B(1 - \xi^{n_{HM}}). \quad (4)$$

Анализ экспериментальных данных [5], [6] показывает, что условный модуль упругости зависит от объемной пористости нетканых материалов. Тогда для вычисления условного модуля упругости с достаточной для практических расчетов точностью может быть использовано следующее математическое выражение

$$E(\xi) = K\xi^n + C, \quad (1)$$

где $E(\xi)$ – условный модуль упругости, Па; ξ – пористость нетканого полотна; K , C – постоянные коэффициенты; n – показатель нелинейности функции.

Граничные условия (функция желательности), представленные на рис. 1 (общий вид функциональной зависимости условного модуля упругости нетканого материала от пористости), формулируются следующим образом: в диапазоне изменения $0 \leq \xi \leq 1$ значение $\xi = 0$ соответствует величине $E(\xi) = E(\xi)_{\max}$, $E(\xi) = E(\xi)_{\min}$ имеет место в случае $\xi \approx 1$.

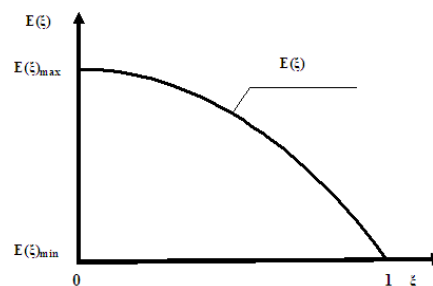


Рис. 1

Значения коэффициентов K и C определяются, исходя из граничных условий:

$$C = E(\xi)_{\max} \text{ при } \xi = 0, \quad (2)$$

$$C + K = E(\xi)_{\min} \text{ при } \xi = 1 \text{ или } K = E(\xi)_{\max} - E(\xi)_{\min}. \quad (3)$$

Отсюда:

$$n_{HM} = \frac{\ln(1 - \frac{E_{HM}}{E_B})}{\ln(\xi)}, \quad (5)$$

где E_{HM} и E_B – условный модуль упругости нетканого материала и модуль упругости полимера, из которого изготовлено волокно (мононить), соответственно, Па.

Определение показателя нелинейности $p_{нм}$ проводится на основании экспериментальных исследований нетканых полотен "Холлофайбер", "Канвалан", "Геотекс" и "Геоком Д", приведенных в [5], [6], изготовленных из полипропиленовых (I группа), полиэфирных (II группа) и смеси полипропиленовых – 80% и полиэфирных – 20% (III группа).

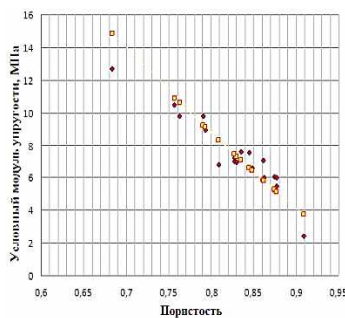


Рис. 2

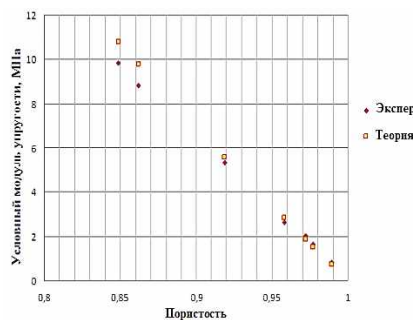


Рис. 3

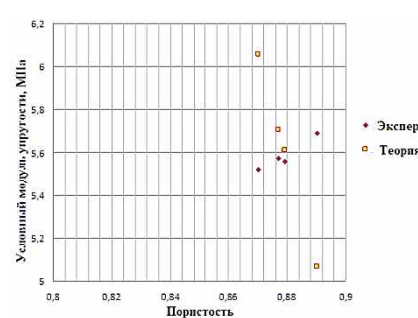


Рис. 4

Обращает на себя внимание достаточно близкое совпадение средних значений p в каждой группе материалов: 0,011202, 0,010146 и 0,010613. В связи с этим возникает предположение о возможности применения осредненной величины $p_{нм} = \frac{0,011202 + 0,010146 + 0,010613}{3} = 0,01065367$

для определения условного модуля упругости, независимо от вида волокнистого состава, способа и технологии изготовления нетканых полотен. При этом погрешность вычислений $p_{нм}$ по отношению к $p_{нм\text{ср}}$ не превышает 9%. Для оценки правомерности этой гипотезы проведено сопоставление условных модулей упругости, полученных на основании экспериментальных данных и вычисленных по формуле $E_{нм} = E_B \cdot (1 - \xi^{0,01065367})$.

ВЫВОДЫ

1. Предложена дополнительная характеристика прочности объемных нетканых материалов в виде условного модуля упругости, представляющего собой отношение разрывной нагрузки и фактической площади поперечного сечения образца (по внешнему контуру).

2. Исходя из граничных условий определено выражение условного модуля

Результаты расчета $p_{нм}$, выполненные при помощи табличного редактора MS Excel по формуле (5), для каждой из трех групп нетканых полотен представлены на рис. 2...4 (сопоставление экспериментальных и теоретических значений условного модуля упругости для нетканых материалов групп I, II и III соответственно).

упругости нетканого материала от пористости.

3. На основе анализа экспериментальных исследований определены значения показателя нелинейности $p_{нм}$ трех различных групп нетканых материалов. В результате анализа установлено, что применение усредненного значения $p_{нм}$ позволяет с достаточной для проведения технических расчетов точностью вычислять условный модуль упругости.

ЛИТЕРАТУРА

1. Румянцев Е.В., Степанов С.Г., Киселев М.В., Матрохин А.Ю., Трещалин Ю.М. Полимерные композиционные материалы на волокнистой основе: тенденции развития, характеристики, научные направления и технологии // Изв.вузов. Технология текстильной промышленности. – 2021, № 6. С.14...20. DOI 10.47367/0021-3497_2021_6_14.
2. ГОСТ Р 57027–2016. Полотна нетканые термоскрепленные объемные синтетические. Общие технические условия.
3. ГОСТ Р 53226–2008. Полотна нетканые. Методы определения прочности.
4. ГОСТ 15902.3–79. Полотна нетканые. Методы определения прочности.
5. Трещалин Ю.М. Обоснование применения нетканых полотен для производства композиционных материалов на текстильной основе: Дис... канд. техн. наук. – Кострома, 2013.
6. Трещалин Ю.М. Композиционные материалы на основе нетканых полотен. – М.: Московский госу-

REFERENCES

1. E.V. Rumyantsev, S.G. Stepanov, M.V. Kiselev, A.Yu. Matrokhin, Yu.M. Treschalin / Polymer composite materials on a fibrous basis: development trends, characteristics, scientific directions and technologies // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. – 2021, № 6. P. 14...20. DOI 10.47367/0021-3497_2021_6_14.

2. GOST R 57027-2016. Cloths non-woven thermally bonded bulk synthetic. General specifications.

3. GOST R 53226-2008. Fabrics are non-woven. Strength determination methods.

4. GOST 15902.3-79. Fabrics are non-woven. Strength determination methods.

5. Treshchalin Yu.M. Substantiation of the use of non-woven fabrics for the production of textile-based composite materials: thesis ... Cand. tech. Sciences. – Kostroma, 2013.

6. Treshchalin Yu.M. Composite materials based on non-woven fabrics. – M.: Moscow State University named after M.V. Lomonosov, 2015.

Рекомендована кафедрой материаловедения, товароведения, стандартизации и метрологии ИВГПУ. Поступила 15.06.22.
