

НАХАЙЧУК ОЛЕГ

Вінницький інститут конструювання одягу і підприємництва
<https://orcid.org/0009-0003-0612-774X>
e-mail: olvn@ukr.net

ЗАХАРОВА ЕЛІНА

Вінницький інститут конструювання одягу і підприємництва
<https://orcid.org/0009-0008-6796-7415>
e-mail: elya_prus@ukr.net

ГОРОБЧИШИНА ВАЛЕНТИНА

Вінницький інститут конструювання одягу і підприємництва
<https://orcid.org/0009-0000-9945-5889>
e-mail: kalakay142153@ukr.net

ХРИСТЮК ОКСАНА

Вінницький інститут конструювання одягу і підприємництва
<https://orcid.org/0000-0003-0663-8307>
e-mail: oksana.xrustyuk@ukr.net

ДОСЛІДЖЕННЯ МІЦНОСТІ БАГАТОШАРОВИХ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ З ВИКОРИСТАННЯМ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

В роботі наведено результати досліджень міцності багатошарових текстильних матеріалів. Розроблена математична модель дозволяє, без проведення трудомістких експериментальних досліджень, прогнозувати втрату міцності при відомих характеристиках тканини.

Ключові слова: міцність тканини, адгезійне з'єднання, багатошаровий матеріал, розширюючі навантаження.

NAKHAYCHUK OLEG, ZAKHAROVA ELINA
HOROBCHISHYNA VALENTINE, HRYSTYUK OKSANA
Vinnytsia Institute of designing of clothes and Entrepreneurship

RESEARCH OF STRENGTH OF MULTILAYER TEXTILE MATERIALS

The strength characteristics of multilayer textile materials are important indicators that affect their reliability and durability.

When gluing layers of materials, one of the fundamental properties of matter is used - adhesion. Adhesion relative to textile materials is to obtain a non-detachable connection of the textile cloth and the canvas of the base by establishing between them with glue when heated with plastic deformation and further cooling of all components.

During operation there is a displacement of layers relative to each other, as a result, the fabric is destroyed as a whole.

Therefore, the process of destruction of adhesive connection of layers of textile materials is a consistent deformation of the adhesive and protruding fibers of the fabric and the canvas of the base before displacement, deformation (elongation) or destruction.

The authors of the article investigated the influence of the mechanical properties of textile materials on the strength of the adhesive connection of layers of composite materials. A method of fabric strength research using mathematical modeling has been developed, which allows, without time-consuming experimental studies, to predict the loss of strength with known values of the properties of fabric fibers, the number of layers, and the type of glue. On the basis of the theory of gluing of textile materials, theoretical and experimental studies of the strength of the adhesive connection of multilayer materials were carried out.

When studying the strength of an adhesive joint, the main indicator is the magnitude of forces during delamination.

The process of destruction of the adhesive connection of layers of textile materials in the event of a delamination load is considered as a sequential deformation of the glue with protruding fibers of the fabric and the base fabric until their displacement, deformation (elongation) or destruction.

These results can be used to create a database for various multilayer fabrics in order to predict their durability on reliability.

Keywords: fabric strength, adhesive joint, multilayer material, delamination loads.

Постановка проблеми

Текстильні композиційні матеріалами визначають як матеріали, які отримано з двох і більше шарів різномірних матеріалів за певною схемою розташування, з чіткою межею між окремими складовими. Властивості таких матеріалів залежать від виду та способу скріплення текстильних полотен у багатошарову структуру (ткацтвом, в'язанням, термозварюванням тощо). У результаті текстильні багатошарові матеріали мають додаткові нові властивості, які не притаманні жодній із використаних складових. Виробництво таких матеріалів нині динамічно розвивається у світі [1].

Текстильні матеріали нового покоління є більш адаптованими до людини та довкілля, багатофункціональними та вирізняються певними захисними властивостями, що дає змогу їх широкого впровадження при виготовленні швейних виробів. Нові види таких матеріалів покращують їх фізико-механічні властивості.

Аналіз останніх джерел

Відомо [1, 2], що одним із ефективних методів отримання текстильних композиційних матеріалів, який дає можливість у широких межах регулювати структуру та властивості матеріалів, є нашарування та термоклейове скріплення окремих текстильних полотен у багатошарову структуру. При експлуатації багатошарових текстильних матеріалів особлива увага приділяється їх надійності та довговічності, важливими показниками даних матеріалів є характеристики міцності.

При склеюванні шарів матеріалів використовується одна із фундаментальних властивостей матерії – адгезія. В теперішній час при вивченні особливостей прояву адгезії використовуються різні теорії, які знаходяться в залежності від області їх застосування. Найбільш розповсюдженими є: механічна; адсорбційна теорія високо полімерних матеріалів, електронна, реологічна – теорія пограничних шарів та проміжних фаз, теорія поглинання – термодинамічна; дифузії; хімічних зв'язків; склеювання текстильних матеріалів [1, 2].

На основі теорії склеювання текстильних матеріалів виконувались теоретичні і експериментальні дослідження міцності адгезійного з'єднання багатошарових матеріалів.

Метою роботи є дослідження впливу механічних властивостей текстильних матеріалів на міцність адгезійного з'єднання шарів композиційних матеріалів.

Виклад основного матеріалу

В технології виробництва текстильних матеріалів адгезія – це отримання міцного, суцільного з'єднання текстильного полотна та полотна основи шляхом встановлення між ними взаємодії за допомогою клею при нагріванні пластичним деформуванням та подальшим охолодженням всіх компонентів. На рис.1 представлений вид з'єднання текстильного полотна 1 з полотном основи 3 за допомогою клею 2.

При дослідженні міцності адгезійного з'єднання основним показником характеристик міцності була прийнята величина зусиль при розшаруванні, яка може бути визначена. Процес руйнування адгезійного з'єднання шарів текстильних матеріалів при виникненні розшаровуючого навантаження являє собою послідовне деформування клею та виступаючих волокон тканини і полотна основи до їх зміщення, деформування (видовження) або руйнування.

Міцність матеріалів при розшаруванні можна віднести до групи напівциклових навантажень, які характеризуються величиною зусилля, необхідного для руйнування системи волокон, що діє перпендикулярно напрямку прикладеного зусилля.

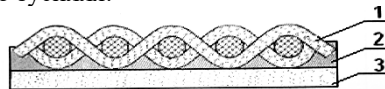


Рис.1. Клейове з'єднання складових багатошарового полотна:
1 – текстильне полотно; 2 – клей; 3 – полотно основи

За результатами аналізу літературних джерел та на основі експериментальних досліджень встановлено, що основними властивостями матеріалів, що впливають на міцність клейового з'єднання є: діаметр нитки, кількість волокон поверхневого шару текстильного матеріалу (кількість ворсинок), базовий склад текстильного матеріалу, величина щільності тканини [1, 2, 3].

При дослідженні міцності клейового з'єднання між шарами багатошарової структури полотн використовувались зразки текстильних матеріалів, до складу яких входив декоративні тканини з короткого льняного полотна з лінійною щільністю по основи 49 ниток на 10 см, по утку – 34 нитки на 10 см, нитки з лінійною щільністю 317 текс.

При проведенні експериментальних досліджень текстильних багатошарових тканин було встановлено, що зовнішнє розшаровуюче навантаження не приводить до руйнування полотна матеріалів та часток клею, а частіше викликає руйнування полотна основи, розривання волокон в клейовій масі.

Експериментальні дослідження з визначення проценту руйнування клейового з'єднання основи та волокон матеріалів показали, що його міцність в основному залежить від властивостей волокон текстильних матеріалів. В загальному вигляді міцність клейового з'єднання (P , Н/см) можна визначити як:

$$P = \frac{F_0}{l_0} \leq [P], \quad (1)$$

Де F_0 – сила відривання субстрату від адгезива Н;

l_0 - ширина відривання, см;

$[P]$ - допустиме значення міцності.

Силу відривання субстрату від адгезиву (F_0 , Н) знаходиться як:

$$F_0 = B \cdot R \cdot S_k, \quad (2)$$

де B – ворсистість (кількість волокон при поверхневого шару), 1/см²;

R – розриваюче навантаження, Н;

S_k – площа контакту тканини із клеєм, см².

Таким чином, теоретична міцність адгезійного з'єднання текстильних матеріалів (P , Н/см) при нанесенні клею по всій площі поверхні полотна основи та з використанням розрідженої тканини можна визначити за залежністю:

$$P = \frac{B \cdot R \cdot S_k}{l_0}, \quad (3)$$

Знайдемо площу контакту тканини із клеєм (S_k , см²) виходячи із припущення, що переріз нитки утока, який являє собою частину тору, в будь якій точці x є колом. Таке припущення виходить із того, що форма перерізу поверхні тору, згідно рівняння овалу Кассіні, для даної задачі прямує до кола.

Зобразимо розріз текстильних багатошарових полотн, які складаються з текстильних матеріалів 1, вздовж ниток утока 3 та поперек основи 2 (рис. 2). Знайдемо радіус кривизни нитки утока (R , см):

$$(R + r)^2 = (R - r)^2 + l^2, \quad (4)$$

де R – радіус кривизни нитки утока, см²;

r – радіус ниток в тканині, см

l – відстань між нитками основи, см.

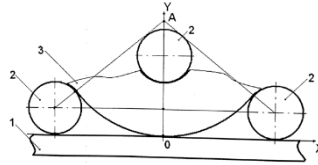


Рис.2. Схема розрізу текстильних настінних покриттів вздовж ниток утока:
1- полотно паперу, 2 – нитка основи; 3 – нитка утока

Із рівності (4) можна отримати:

$$R = \frac{l^2}{4r} = \frac{l^2}{2d} \quad (5)$$

де d – діаметр нитки, см.

Прийmemo центр системи координат в точці O , тоді рівняння кола запишемо як:

$$y = -\sqrt{R^2 - x^2} + R, \quad (6)$$

При максимальній висоті клейової плівки, яка рівна $\frac{1}{2}$ діаметру нитки:

$$\frac{d}{2} = R - \sqrt{R^2 - x^2}, \quad (7)$$

отримаємо:

$$x = \left| Rd - \frac{d^2}{4} \right|, \quad (8)$$

або

$$x = \left| \frac{2l^2 - d^2}{4} \right|, \quad (9)$$

Запишемо в загальному вигляді рівняння висоти сегменту нитки утока (h_0), поміщеного в клей, в залежності від координати x :

$$h_s(x) = h - f(x), \quad (10)$$

де $f(x)$ – рівняння отриманого кола.

Тоді рівняння висоти сегмента нитки утока, поміщеного в клей, в залежності від координати x буде мати вигляд:

$$h_s(x) = \frac{d}{2} + \sqrt{R^2 - x^2} - R, \quad (11)$$

Довжина дуги сегменту нитки утока, поміщеного в клей (l_0 , см):

$$l_0 = \alpha \cdot r, \quad (12)$$

де α - центральний кут кола, що опирається на дугу, тоді можна записати:

$$\alpha = 2 \arccos \frac{r - h_s}{r}, \quad (13)$$

Вирішуючи сумісно рівняння (11-13), отримаємо:

$$l_s = d \cdot \arccos \frac{\left(\frac{l^2}{d^2} - 2 \sqrt{\left(\frac{l^2}{2d} \right)^2 - x^2} \right)}{d}, \quad (14)$$

Знайдемо площу сегменту утока (S_y , см), поміщеного в клей:

$$S_y = \int_{\frac{2l^2 - d^2}{4}}^{\frac{2l^2 - d^2}{4}} d \cdot \left(\arccos \frac{\left(\frac{l^2}{d} - 2 \sqrt{\left(\frac{l^2}{2d} \right)^2 - x^2} \right)}{d} \right) dx \quad (15)$$

Площу сегменту нитки основи (S_o , см²), яка поміщена в клей, знайдемо як:

$$S_o = \frac{\pi \cdot d^2}{2}, \quad (16)$$

Таким чином, площу контакту тканини з клеєм (S_k , см²) визначимо як:

$$S_k = \frac{\pi \cdot d^2}{2} + \int_{\frac{2l^2 - d^2}{4}}^{\frac{2l^2 - d^2}{4}} d \cdot \left(\arccos \frac{\left(\frac{l^2}{d} - 2 \sqrt{\left(\frac{l^2}{2d} \right)^2 - x^2} \right)}{d} \right) dx \quad (17)$$

Враховуючи площу контакту тканини з клеєм, визначимо теоретичну міцність адгезійного з'єднання текстильного полотна (P , Н/см):

$$S_k = \frac{B \cdot R_n}{\ell} \cdot \left(\frac{\pi \cdot d^2}{2} + \int_{\frac{2l^2 - d^2}{4}}^{\frac{2l^2 - d^2}{4}} d \cdot \left(\arccos \frac{\left(\frac{l^2}{d} - 2 \sqrt{\left(\frac{l^2}{2d} \right)^2 - x^2} \right)}{d} \right) dx \right) \quad (18)$$

Ворсистість (кількість волокон приповерхневого шару тканини) визначали оптичним методом, який полягав в проєкції тканини з використанням оптичної системи (мікроскопу) на монітор комп'ютера та підрахунок кількості ворсинок на відрізу зображення 1мм^2 тканини.

Для експериментального визначення міцності адгезійного з'єднання зразків текстильних матеріалів був використаний метод визначення міцності при розшарування за ГОСТ 15902.3-79.

Експериментальні та теоретичні дані наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Розрахункові і експериментальні дані розрахунку міцності адгезійного з'єднання шарів текстильних матеріалів

Параметр	Позначення	Одиниці виміру	Розрахункові значення	Дані експериментів
Кількість волокон приповерхневого шару	B	$1/\text{см}^2$	28	
Діаметр ниток в тканині	d	см	0,068	0,07
Відстань між нитками основи в одній площині	l	см	0,22	0,2
Розривне навантаження льняного волокна	R_n	Н	0,65	
Міцність адгезійного з'єднання	R_{абр}	Н/см	3,43	3,5

Висновки

Із табличних даних випливає, що відхилення експериментальних і теоретичних даних не перевищує 5%. Таким чином, доцільно використовувати отриману формулу для розрахунку теоретичної міцності адгезійного з'єднання шарів багат шарових текстильних матеріалів.

Розроблена методика розрахунку теоретичної міцності адгезійного з'єднання шарів багат шарових текстильних матеріалів, яка дозволяє, без проведення трудомістких експериментальних досліджень, прогнозувати втрату міцності при відомих значеннях властивостей волокон тканини, кількості шарів, виду клею.

Дані результати можуть бути використані для створення бази даних для різних багат шарових тканин (допустимих значень, близьких до руйнування). Тоді, використавши формулу (1), можна проводити кількісну оцінку міцності для кожного конкретного випадку експлуатації з'єднань шарів багат шарових текстильних матеріалів.

Література

1. Супрун Н. П. Сучасні проблеми виробництва безпечного у споживанні та екологічно чистого текстилю / Н. П. Супрун, Г. В. Щуцька. – К. : КНУТД, 2013. – 112 с.
2. Власенко В. И. Возможности использования многослойных многофункциональных текстильных композитов / В. И. Власенко, С. И. Ковтун, Н. П. Березненко // Технический текстиль. – 2005. – № 12. – С. 23–25.
3. Полуда, С. Н. Особенности современных клейовых материалов та їх використання в швейній промисловості [Електронний ресурс] / С. Н. Полуда, А. І. Попова // Збірник тез доповідей за матеріалами Всеукраїнської науково-практичної конференції, 2017.

References

1. Suprun N. P. Suchasni problemy vyrobnytstva bezpechnoho u spozhyvanni ta ekolohichno chystoho tekstyliu / N. P. Suprun, H. V. Shchutka. – K. : KNUVD, 2013. – 112 s.
2. Vlasenko V. Y. Vozmozhnosti yspolzovaniya mnohosloinnykh mnohofunktsionalnykh tekstylnykh kompozytov / V. Y. Vlasenko, S. Y. Kovtun, N. P. Bereznenko // Tekhnicheskyy tekstyl. – 2005. – № 12. – S. 23–25.
3. Poluda, S.N. Peculiarities of modern adhesive materials and their use in the garment industry [Electronic resource] / S.N. Poluda, A.I. Popova // Collection of theses of reports based on the materials of the All-Ukrainian Scientific and Practical Conference, 2017.