

Рисунок 1. Термограма нагрівання: 1 – температурна крива нагрівання; 2 – дифференціальна крива втрати ваги панелей на основі ПВХ; 3 – дифференціальна крива втрати ваги на основі ПК; 4 – крива втрати ваги панелі на основі ПВХ; 5 – крива втрати ваги панелі на основі ПК

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Попова Н.Г., Любенко О.Н., Васильченко А.В. Пожароопасные свойства современных строительных полимерных материалов. Часть 1. Особенности термической деструкции полимеров // Проблемы пожарной безопасности. Сб. науч. тр. ХИПБ – Вып. 7. – Харьков: Фолио, 2000. – С. 55-57.
2. Васильченко А.В., Завада М.В. Изучение тепломеханических свойств строительных полимерных материалов // Зб. наук. праць "Пожежна безпека – 2001". – Львів: "СПОЛОН", 2001. – С. 410-412.

УДК 678.027.776

Н.В. Михайлова, Б.В. Болібрех, А.А. Мичко, д-р техн. наук,

ВПЛИВ ТОВЩИНИ АДГЕЗИВУ НА МІЦНІСТЬ З'ЄДНАННЯ СПЕЦІАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

Стаття присвячена вивченню залежності розривних характеристик проб спеціальних матеріалів, виготовлених з полівінілхлоридної і поліуретанової еластостяжшкіри-Т, а також 100% льняної тканини, з'єднаних клейовим способом, від товщини адгезивної плівки, залишкового напруження в системах, та площі контакту. Проаналізовано результати експериментальних досліджень, з врахуванням теоретичних основ, концепцій Мі, та емпіричних рівнянь Морзе, а також дано характеристику об'єктивних факторів, які впливають на адгезивну міцність анізотропних матеріалів.

Найбільш відповідальними і одночасно трудомісткими технологічними операціями при виготовленні швейного виробу будь-якого функціонального призначення, є метод з'єднання між собою як деталей крою, так і його монтаж вцілому. Тому, в залежності від

вихідних технічних вимог, вказаний процес може бути виконаний традиційно, тобто за допомогою швейних ниток і нетрадиційно, з використанням ультразвуку, електроструму надзвичайно високої частоти, склеюванням, а також комбінованим способом. Серед вказаних, найбільш професійний інтерес для проведення дослідження може представляти комбінований, оскільки він є результатом поєднання всіх інших способів, що можуть формуватися в різній послідовності, а відтак характеризуватись певними закономірностями, які недостатньо проаналізовані в доступній науковій літературі. Це актуально тому, що комбіноване з'єднання необхідно більш ґрунтовно застосовувати в процесі виготовлення таких виробів спеціального призначення як, наприклад, ізолюючих костюмів, та захисного одягу пожежників, які використовуються для проведення рятувальних робіт в екстремальних умовах. В зв'язку з цим, з'єднувальні шви повинні бути герметичними, оскільки в аварійних ситуаціях вплив небезпечних та шкідливих факторів виробництва (температура, агресивні реагенти тощо) може бути одночасним і приводити до їх руйнування (в першу чергу), що є причиною розгерметизації одягу, та його непридатності для подальшої експлуатації. На основі практичного досвіду таких зарубіжних фірм як “Дрегер”, “Такконі”, “Ауер”, “Треллеборг” та інших, шви виробів аналогічного асортименту герметизують, як правило, з виворітної сторони деталей або вузлів. Для цього використовується один із варіантів комбінованого способу, сутність якого полягає в тому, що ниткові шви та спеціальну стрічку, призначену для герметизації, певним чином обробляють клеєм (можливо і клейовими розплавами полімерів), наповнювачами та добавками, максимально наближеними до полімерного покриття основних текстильних матеріалів, чим забезпечується їх надійний адгезивний зв'язок і герметичність. Взагалі, для отримання якісного клейового з'єднання, перш за все необхідно вивчити адгезивні властивості клею в залежності від фізичних та фізико-хімічних характеристик вихідного полімеру (молекулярна маса, термореактивність, термопластичність, природа наповнювачів), умови експлуатації виробу, структуру і стан поверхні матеріалів призначених для склеювання, їх полярність тощо. Оскільки на сьогодні, для пояснення механізму адгезії, використовуються механічна, адсорбційна, електрична, дифузійна, електрорелаксаційна теорії, та багато інших концепцій, які по-різному його трактують, то автори роботи [1] однозначно стверджують, що адгезивний процес – результат молекулярної взаємодії на межі розподілу “адгезив-субстрат”. Якщо це так, то між молекулами адгезиву і субстрату виникають різні сили для їх з'єднання, починаючи з таких незначних як дисперсійні (лондоновські), індукційні (кезомовські), орієнтаційні (дебаєвські) і закінчуючи значними по величині силами хімічної природи (іонні, ковалентні, координаційні). Тобто, в загальному випадку, для молекул з дипольним моментом “*a*”, полярні– зуємостью “*b*” і потенціалом іонізації “*f*”, енергія ван-дер-ваальсової взаємодії “*U*” може бути виражена наступним рівнянням:

$$U = U_o + U_i + U_d = \frac{1}{r^6} \left[\frac{2a_1^2 a_2^2}{3kT} + a_1^2 b_2 + a_2^2 b_1 + \frac{3f_1 f_2 b_1 b_2}{4(f_1 + f_2)} \right] \quad (1)$$

де U_o , U_i і U_d – енергія орієнтаційної, індуктивної та дисперсійної взаємодії, відповідно; r – від– стань між центрами диполів; k – постійна Больцмана; T – абсолютна температура.

Згідно з приведеною залежністю (1), сили взаємної дії між молекулами обернено пропорційні міжмолекулярній відстані і стають незначними, коли вона дорівнює п'яти і більше ангстремам. Вказаний висновок, з передумовами та деякими особливостями, частково використовується для теоретичних розрахунків оцінки величини адгезивної міцності, сутність яких полягає в визначенні залежності між потенційною енергією “*U*” частинок, та відстанню “*r*” між ними. Так, якщо взяти до уваги концепцію Мі, то :

$$U = -Ar^{-n} + Br^{-m} \quad (2)$$

де A, B, n, m – постійні величини, що залежні від виду деформацій (A і B) і типу зв'язків (n і m).

Для отримання необхідного математичного рівняння проводять диференціювання (2) по r з подальшим перетворенням:

$$F = \frac{dU}{dr} = nAr^{-(n+1)} - mBr^{-(m+1)} \quad (3)$$

звідки:

$$F = 1,46 \frac{U}{r} \quad (4)$$

Окрім цього, для проведення розрахунків (також теоретичних) адгезивного навантаження, інколи вико– ристовується емпіричне рівняння Морзе такого виду:

$$U = De^{-2b(r-r_0)} - 2De^{-b(r-r_0)} \quad (5)$$

де U – потенційна енергія системи; D – енергія дисоціації зв'язків; r і r_0 – відстань між центрами взаємодії частинок; b – постійна, яка пов'язана з амплітудою коливання взаємно діючих частинок.

Кінцевий результат розрахунків теоретичної міцності аналогічний уже приведеному, тобто:

$$F = \frac{Db}{2}, \text{ звідки } F = 1,61 \frac{U}{r} \quad (6)$$

Очевидно, що отримані залежності (4) і (6) за абсолютним значенням майже співпадають і коли розрахувати механічне навантаження для системи, наприклад, “адгезив – метал” лише стосовно дії дисперсійних сил (U_d), то значення “ F ”, згідно з вказаними рівняннями, в середньому дорівнює 700 даН/см^2 , а якщо врахувати ще вплив індукційних (U_i) і орієнтаційних (U_o) сил, то сумарна величина міцності може знаходитись в околі 2000 даН/см^2 і більше.

Отже приведені розрахунки свідчать про те, що тих молекулярних сил, які діють на межі розподілу системи більш ніж достатньо для отримання надійного адгезивного з'єднання матеріалів. Якщо ж міцність з'єднання незначна, або не відповідає технічним вимогам, то можна стверджувати, що потенційні можливості системи “адгезив – субстрат” не були повністю використанні через наявність різного роду причин.

Відомо, що адгезія характеризується зусиллям або енергією (роботою), які необхідні для руйну– вання клейового з'єднання, а тому залежать не тільки від молекулярної взаємодії на межі розподілу фаз, але і от умов його формування, геометричних розмірів зразків, їх фізико-механічних характеристик, способу визначення величини руйнівної напруги (адгезивна, когезійна), тобто таких факторів, які не мають прямого відношення до процесу і їх можна назвати суб'єктивними. Але існує достатній перелік залежних між собою факторів, що суттєво впливають на адгезивну міцність проб матеріалів і, в зв'язку з цим, їх можна віднести до об'єктивних. Так, аналіз літературних джерел показує, що при збереженні однакових умов проведення експериментів, до найбільш важливих факторів відносяться такі як товщина адгезивної плівки на субстраті, залишкові напруження між ними, та рельєф поверхні. Згідно з цим стверджують, що міцність клейового з'єднання тим більша, чим тонша адгезивна плівка на поверхні проб матеріалів, а основною причиною утворення залишкових напружень є зсідання, різниця між коефіцієнтами теплового розширення адгезиву і субстрату, їх природа, спорідненість, виникнення подвійних електричних шарів тощо, які приводять до повної (або часткової) відсутності синхронності при проходженні деформації зразку та клейової композиції в процесі формування самої плівки. Тому, з врахуванням аналізу вказаних теоретичних основ і концепцій, нами були проведені експериментальні дослідження впливу такого об'єктивного фактора як товщина клейової плівки на руйнівні характеристики

з'єднаних проб спеціальних матеріалів. Експерименти проводилися з використанням еластоштучшкіри-Т одностороннього полімерного покриття на основі поліуретану (ПУ) та полівінілхлориду (ПВХ), 100 % льняної тканини і адгезиву – клею 4508. Кожен із зразків спеціальних матеріалів розміром 30x200 мм оброблявся адгезивом (згідно з вказівками інструкції) на площі 6 см². Після випаровування розчинника і утворення плівки на поверхні полімерного покриття, проби матеріалів з'єднувалися і впродовж 24 годин залишалися в боксі без навантаження. Товщина адгезиву між зразками матеріалів формувалась гравіметричним методом, починаючи від 0,05 мм і до 0,4 мм з інтервалом 0,05 мм. Для отримання коректних результатів при заданій ймовірній вірогідності 0,95 і коефіцієнті варіації 9,0 %, для кожної товщини адгезиву необхідно було підготувати і дослідити по 27 пар зразків. Досліди проводили методом розтягування зразків на розривній машині РТ–250 М; швидкість опускання нижнього зажиму у всіх випадках дорівнювала 25 мм/хв.

В процесі проведення експериментів було встановлено, що для руйнування клейового з'єднання проб, виготовлених з ПВХ, при товщині адгезиву 0,05 мм необхідно зусилля 25 Н і це значення в процесі проведення дослідження було мінімальним. Збільшення товщини зразка від 0,1 мм до 0,3 мм приводить і до зміни величини розривного навантаження в такій послідовності: 40 Н при 0,1 мм товщини; 48 Н при 0,15 мм товщини; 55 Н при 0,2 мм товщини; 43 Н при 0,25 мм товщини та 34 Н при 0,3 мм товщини, тобто контролююча величина проходить через верхній екстремум. Таким чином, найбільше його значення було досягнуте при товщині адгезиву між пробами ПВХ, рівній 0,2 мм. (рис. 1, а). Така ж закономірність спостерігається і при дослідженні адгезивної системи “ ПУ проби + клей 4508” з різницею тільки в тому, що найбільше значення (88 Н) розривної напруги було отримане уже при товщині 0,15мм, а найменше – (25 Н), також при товщині 0,3 мм (рис. 1, б). У зразках зі 100 % льняної тканини, яка теж використовується для виготовлення захисного одягу пожежних, характер зміни розривного навантаження залишився аналогічним. Так, для руйнування проб при товщині плівки 0,05 мм необхідно прикласти зусилля в 71 Н, при товщині 0,15 мм уже було необхідно 273 Н, а при 0,2 мм – найбільше, що рівнялося 307 Н. Подальше збільшення товщини адгезиву в межах 0,25 мм – 0,4 мм до бажаних результатів, а саме зростання адгезивного навантаження, в даному випадку теж не привело (рис. 1, в).

Таким чином, результати експериментів, отримані при використанні такої постійної величини як “адгезив” (клей 4508) і перемінної – “контактна поверхня” (а це ПВХ, ПУ і целюлоза), дають право стверджувати про наявність масштабного фактора за товщиною і що утворення клейового з'єднання (при збереженні однакових умов формування плівки) представляє собою складний багатофакторний процес. Стосовно вказаного фактора слід зауважити, що його фізична сутність пояснюється наявністю дефектів в клейовій плівці, кількість яких збільшується зі зростанням товщини адгезиву між контактними поверхнями, яка формує основну (механічну) характеристику системи що з'єднали. З експериментів очевидно, що товщина плівки повинна бути не найменшою, а оптимальною для кожного окремо взятого випадку, з обов'язковим врахуванням природи полімерного покриття, волокон і рельєфу поверхні. Так, в ПВХ зразках, оптимальна товщина клейової плівки, на нашу думку, знаходиться в межах 0,15 мм-0,25 мм, тобто в тій області товщин, де прикладена величина розривного навантаження ще є суттєвою (48 Н; 55 Н; 43 Н) і може відповідати технічним вимогам на конкретний виріб. Якщо таким же чином проаналізувати ПУ зразки, то значення оптимальних товщин буде знаходитись в області 0,1 мм-0,2 мм, а для проб, виготовлених зі 100 % льняних тканин, в порівнянні з розглянутими, в області 0,05 мм – 0,4 мм, про що можуть свідчити значення їх адгезивних характеристик (рис. 1, а, б, в). В зв'язку з цим, на відміну від твердих тіл, клейове з'єднання текстильних матеріалів, головною ознакою яких є надмірна анізотропія показників та властивостей, одночасно можна характеризувати і “товщиною” адгезивної плівки при якій досягнуто максимум розривного навантаження, і областю “оптимальних товщин”, які знаходяться в певних (або необхідних) межах по обидві сторони від його екстремуму.

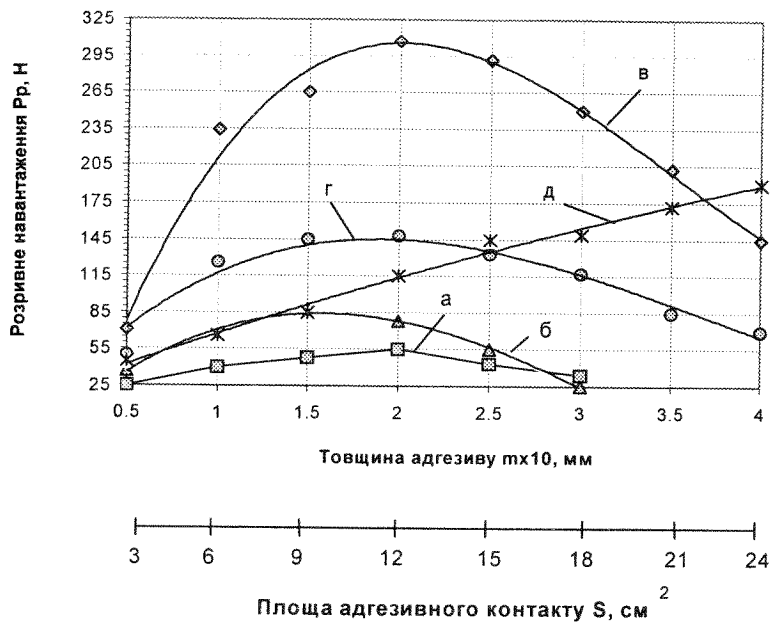


Рис.1. Залежність розривного навантаження від товщини адгезиву, утвореного клейовою композицією 4508 і полімерним покриттям : а – ПВХ; б – ПУ; в – тканина з 100 % льону; г – ПУ перфорований, та площі адгезивного контакту – д.

Окрім масштабного фактора за товщиною, адгезивні покриття характеризуються залишковою напругою, яка виникає в клейовій плівці при її формуванні на твердій основі. Причина виникнення такої напруги закладена в природі матеріалів що з'єднуються. Якщо матеріали не деформуються, або деформуються неодноразово з клейовою композицією в процесі випаровування розчинника, то в плівці, яка в даному випадку скорочується по товщині, виникають напруження, що обумовлюють її скорочення і по довжині. Вказані процеси приводять не тільки до зменшення адгезивного навантаження, а можуть бути основною причиною повного відокремлення деталей що з'єднуються. Тому на практиці використовуються такі достатньо прості і надійні способи для зменшення або регулювання величини залишкової напруги як вибір клею, добавка в композицію різних за природою наповнювачів тощо. Для вивчення впливу і регулювання величини залишкового напруження, в нашому випадку був використаний принципово новий метод – перфорація площі однієї із проб матеріалу з полімерним ПУ покриттям перед нанесенням клею. Експерименти показали, що повністю позбутися масштабного фактора за товщиною не вдалося, але при товщині адгезиву, наприклад, 1,5 мм, 2,0 мм і 2,5 мм, розривне навантаження стало рівним 145 Н, 148 Н і 133 Н, відповідно, тобто збільшилось в порівнянні з раніше проведеним дослідженням (рис.1, б) на 202 %, 169 % і 209 % (рис.1, г).

Для в'яснення впливу перфорації як способу зменшення (або регулювання) величини залишкової напруги, були проведені додаткові експерименти. Їх сутність полягає в тому, що площа клейового контакту зразків, один із яких був перфорований, послідовно збільшувалась від 3 до 24 см², а величина адгезивного покриття у всіх випадках дорівнювала 2,0 мм. Аналіз отриманих результатів показав, що збільшення площі клейового контакту і перфорація проб матеріалів з полімерним ПУ покриттям приводять до рівномірного зростання розривного навантаження (рис. 1, д).

Таким чином, проведені дослідження дають змогу стверджувати, що процес герметизації швів за допомогою адгезивного з'єднання можливий і процес може бути контрольованим.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Берлин А.А., Бахин В.Е., Основы адгезии полимеров. – М.: Химия, 1969г.,-319с.