

УДК 620.168(045)

АНАЛІЗ ЗАСТОСУВАННЯ АЕРОЗОЛЬНИХ КЛЕЇВ ПІД ЧАС ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ З ПОЛІМЕРНО- КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

О. М. ДЖОГАН¹, О. П. КОСТЕНКО², В. О. КРАЛЯ²,
В. С. ПЕТРОПОЛЬСЬКИЙ³

¹ ТзОВ “Аеромеханіка”, Київ;

² Аерокосмічний інститут Національного авіаційного університету, Київ;

³ ДП “Антонов”, Київ

Отримано найвищі значення зусилля відриву за помірного розпилення аерозольних клеїв і їх витримки впродовж 3...6 тін для клею EсоноТас2 і 1 тін для клею ContactS. Подано технологічні рекомендації щодо використання аерозольних клеїв. Доведено, що розпилення клею EсоноТас2 у малій і помірній кількостях та клею ContactS у помірній кількості призводить до значного росту межі міцності на згин.

Ключові слова: аерозольний клей, армувальний матеріал, склотканина, полімерно-композиційні матеріали, вакуумна інфузія.

Полімерно-композиційні матеріали (ПКМ) завдяки комплексу унікальних властивостей широко застосовують у техніці. Одним з технологічних процесів переробки ПКМ у виробі є інфузійне просочення (вакуумна інфузія) – процес, за якого під час розрідження в робочій порожнині форми і завдяки різниці тиску відбувається всмоктування смоли (зв’язуючого) і просочення армувального матеріалу.

За використання технології вакуумної інфузії для виготовлення виробів (деталей) особливу увагу варто приділяти операції вкладання сухого і слизького армувального наповнювача. Для фіксації сухих шарів наповнювача в пакеті застосовують два типи з’єднувальних елементів – taskifier та binder. В широкому розумінні “taskifier” – це клей з низькою адгезійною міцністю склеювання, що забезпечує можливість роз’єднання елементів і повторного їх склеювання. Binder – речовина зі зв’язувальними або склеювальними властивостями. В умовах одиничного і малосерійного виробництва частіше використовують taskifier’и різного складу. Taskifier застосовують як рідину або двосторонню липку стрічку. Нанесення рідкого taskifier’у можливе контактним або аерозольним методами. Використання стрічки-сітки зі склотканини, липкої з обох сторін (наприклад, Тас-Strip фірми Airtech), або звичайної малярної стрічки є дуже простим, але не надійним способом фіксації армувального наповнювача.

У країнах СНД існує обмежений вибір спеціалізованих taskifier’ів (далі по тексту – клеїв). Проте на ринку є велика номенклатура клеїв для тимчасової фіксації господарсько-побутового призначення.

Відомо [1], що розпилення аерозольних клеїв побутового призначення може призвести до створення занадто товстого або нерівномірного липкого шару, який буде вповільнювати або повністю блокувати просування зв’язуючого між шарами. В результаті пластик стає високопористим або з великою кількістю непросочених зон, що призводить до зменшення міцності виробу і підвищує ризик роз-

шарування під дією навантаження. Тому для фіксації армувального наповнювача під час вакуумного просочення рекомендовано використовувати лише спеціальні липкі аерозольні клеї, а саме: InfuZene фірми Westech Aerosol; Airtac2, EconoTac2, FusionTac фірми Airtech; ContactS фірми Carbon Studio.

Виробники вищезгаданих клеїв наголошують на тому, що вони розроблені для фіксації сухих армувальних матеріалів між собою і на оснастці під час інфузії смоли, вакуумного формування або RTM (Resin Transfer Moulding). І, що найважливіше, клеї не впливають на затвердіння вінілефірних, поліефірних та епоксидних смол. Проте виробники рекомендують додатково дослідити якість затвердіння через велике різноманіття епоксидних смол.

Зважаючи на рекомендації щодо додаткових досліджень та правильного застосування липких аерозолів, вибрали дві товарні одиниці: EconoTac2 фірми Airtech – недорогий контактний аерозольний клей, розроблений для тимчасового закріплення, який можна використовувати для фіксації сухих армувальних наповнювачів, вкладишів і допоміжних матеріалів під час інфузії смоли [2] та ContactS фірми Carbon Studio – розроблений для тимчасового закріплення сухих армувальних матеріалів (тканин, матів, вуалей, жертвних тканин) на місці безпосередньо до та під час інфузії смоли, вакуумного формування або RTM [3].

Оскільки виробники дають доволі загальні рекомендації щодо застосування клеїв, то головна мета дослідження – розробити чіткі рекомендації щодо кількості клею та часу витримки перед вкладанням армувального наповнювача, а також описати наслідки порушення технології їх використання.

Метод дослідження. За основу експерименту взято методику, яка полягає у вимірюванні зусилля відриву алюмінієвого грибка $\varnothing 30$ mm від зразка матеріалу після їх контакту впродовж 5 min під тиском 3,0 kPa. Зусилля відриву вимірювали цифровим динамометром. Експериментували на склотканині T-10-80 [4].

Результати та їх обговорення. Щоб визначити залежність якості склеювання шарів сухої склотканини між собою від кількості клею, на склотканину T-10-80 розпилили клеї EconoTac2 і ContactS в малій, помірній та рясній кількостях. Безпосередньо після розпилення склотканину розміщували між грибками і витримували під навантаженням 5 min. Залежність зусилля відриву склотканини від кількості клею наведено в табл. 1.

Таблиця 1. Залежність зусилля відриву склотканини від кількості клею

Рівень нанесення	Зусилля відриву (середнє), N	
	EconoTac2	ContactS
Мало	6,6	Клей на склотканину лягає нерівномірним шаром. Зразки за будь-якого рівня розпилення сковзають по грибках, що не дає можливість виконати вимірювання. Після довгого просушування вони тверді і не липкі.
Помірно	7,3	
Рясно	5,5 Склотканина слизька	

Оскільки зразки з розпиленням клеєм ContactS без просушування не придатні для дослідження, а зразки EconoTac2 показали найвищі результати за помірного розпилення, то дослідили залежність зусилля відриву від часу просушування клею саме за такого розпилення.

Для цього на склотканину T-10-80 наносили клеї EconoTac2 і ContactS у помірній кількості та просушували за кімнатної температури впродовж 1, 3 і 6 min. Після витримки склотканину розмістили між грибками і витримували під навантаженням 5 min. Результати експерименту наведені в табл. 2.

Тактильно EconoTac2 липкіший, склотканина після розпилення клею залишається гнучкою та м'якою, легше драпірується. Максимальне зусилля відриву спостерігали за витримки 3 min. Всі зразки після просушування більше 15 min стають сухими та твердими. Липкість ContactS майже не змінюється з часом витримки від 1 до 6 min і залишається стабільно низькою. Підвищення зусилля відриву за надмірно рясного розпилення свідчить про те, що товстому шару клею необхідно більше часу для підсихання. Якщо після нанесення просушити і розпилити ще один шар клею, то склотканина стає занадто липкою.

Таблиця 2. Залежність зусилля відриву склотканини від часу просушування клею

Час просушування, min	Зусилля відриву (середнє), N	
	EconoTac2	ContactS
1	8,3	2,6
3	13,0	2,2
6	7,8	1,6 за помірного розпилення 3,6 за надмірно рясного розпилення

У світовій практиці багато виробників для виготовлення деталей з ПКМ використовують препрег з подальшим вакуум-автоклавним або вакуум-пічним формуванням. Внаслідок порушення технології виготовлення або необхідних умов зберігання препрег стає сухим і втрачає технологічну липкість. Він погано драпірується, не тримається на вертикальних стінках та погано вкладається в радіусних зонах. Щоб перевірити можливість і доцільність застосування аерозольних клеїв, використали склотканину T-10-80, зв'язуюче Toolfusion® 1A/1B фірми Airtech та клей EconoTac2.

Зв'язуюче Toolfusion® 1A/1B – це двокомпонентне епоксидне низьков'язке високотемпературне зв'язуюче, розроблене для виготовлення оснастки, подібної за якістю до виготовленої з препрегу. Вказане зв'язуюче готується змішуванням смоли 1A з твердником 1B у ваговому співвідношенні 100:20.

Щоб дослідити вплив клею на технологічну липкість препрегів, виготовили зразки препрегу зі склотканини T-10-14, просоченої зв'язуючим Toolfusion® 1A/1B. Вивчали згідно з методикою, описаною вище. Результати дослідження наведені в табл. 3.

Таблиця 3. Залежність зусилля відриву препрегу від кількості клею

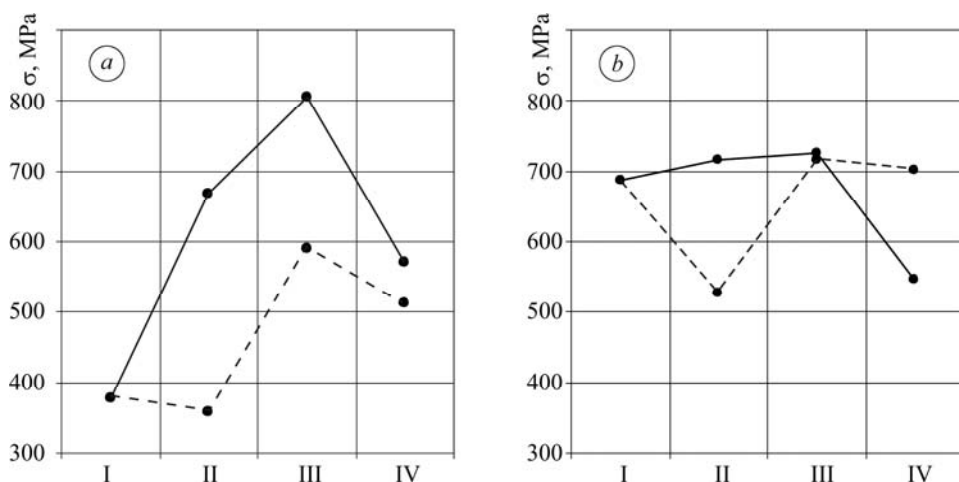
№ зразка	Опис зразка	Зусилля відриву (середнє), N
1	Препрег без аерозольного клею EconoTac2	7,75
2	3 помірним нанесенням аерозольного клею EconoTac2 на одну сторону препрегу	12,9
3	3 рясним нанесенням аерозольного клею EconoTac2 на одну сторону препрегу	10,1
4	3 помірним нанесенням аерозольного клею EconoTac2 на дві сторони препрегу	14,9
5	3 рясним нанесенням аерозольного клею EconoTac2 на дві сторони препрегу	7,7

За результатами експерименту зробили висновок про можливість використання аерозольних клеїв для покращення технологічної липкості препрегів. Клеї

слід помірно розпилювати на одну чи обидві поверхні препрегу. Рясне розпилювання клею на обидві поверхні препрегу не лише знижує його початкову технологічну липкість, але й призводить до ускладнення механічної обробки готового пластику і погіршення зовнішнього вигляду обрізаних торців.

Вказано [1], що використання аерозольних клеїв може вповільнювати або повністю блокувати просочення зв'язуючого між шарами за інфузійного просочення, вплинути на повноту затвердіння як під час інфузії, так і під час традиційного формування з препрегу, і в результаті знизити міцність пластику. Оскільки інформацію про хімічний склад клею продавець не розкриває, то, виходячи з адгезійних тимчасових характеристик клеїв і деяких інших параметрів (жорсткість речовини, тип розчинника тощо), припустили, що клей ContactS створений на основі полімерів акрилового типу, а клей EconoTac2 – на синтетичних каучуках. Досліджували вплив клею на характеристики отриманого після затвердіння пластику за формування з препрегу. Для цього використали склотканину T-10-80, просочену зв'язуючим ЕДТ-69Н (ТУ 1-595-12-584-000). На препрег розпилили клеї EconoTac2 і ContactS в малій, помірній і рясній кількостях та виготовили восьмишарові зразки з подальшим вакуум-автоклавним формуванням.

Також досліджували вплив клею на якість проникнення та міцність пластику за інфузійного просочення. На склотканину T-10-80 розпилили клеї EconoTac2 і ContactS в малій, помірній і рясній кількостях та виготовили восьмишарові зразки з подальшим просоченням методом VARTM зв'язуючим Toolfusion® 1A/1B та вакуум-пічним формуванням. Також для повноти дослідження одночасно виготовляли зразки з тих самих матеріалів і за тією ж технологією без використання аерозольних клеїв. Візуальні спостереження під час і після інфузійного просочення свідчать про те, що використання клеїв не впливає на швидкість та глибину проникнення, зразки просочуються рівномірно без сухих зон. Щоб визначити межі міцності на згин, використовували зразки довжиною 47 mm, шириною 25 mm, товщиною 2 mm. Випробовували на універсальній машині Instron серії 5582. Залежність межі міцності на згин від кількості клею наведена (див. рисунок) для T-10-80/ЕДТ-69Н та T-10-80/Toolfusion® 1A/1B.



Залежність межі міцності на згин σ від кількості аерозольного клею для T-10-80/ЕДТ-69Н (a) та T-10-80/Toolfusion® 1A/1B (b). Суцільна лінія – EconoTac2; штрихова – ContactS; I – без клею; II – мале нанесення; III – помірне; IV – рясне.

Dependence of bending ultimate strength σ on the amount of aerosol glue for T-10-80/ЕДТ-69Н (a) and T-10-80/Toolfusion® of 1A/1B (b). Solid line – EconoTac2; dashed – ContactS; I – without glue; II – small amount; III – moderate; IV – abundant.

Під час випробовування на згин спостерігали поступове розшарування зразків безпосередньо перед досягненням максимального руйнівного зусилля. Зробили висновок, що склопластикові зразки, виготовлені зі застосуванням розпилення малої та помірної кількості клею EconoTac2, мають більшу межу міцності, ніж зразки, виготовлені без нього. Використання клею ContactS у малій кількості через нерівномірність розпилення сприяє зменшенню міцності, проте його помірне розпилення призводить до суттєвого зростання межі міцності на згин. Також спостерігали різну інтенсивність впливу клеїв на механічні показники зразків, виготовлених з різних зв'язуючих, що можна пояснити неоднаковим складом останніх. Ці відмінності ще раз підтверджують рекомендації виробників щодо необхідності дослідження сумісного використання різних клеїв і зв'язуючих.

ВИСНОВКИ

Аерозольний клей EconoTac2, ймовірно, має в своєму складі розріджений еластомер, тому потребує просушування і стає липкіший з підвищенням в'язкості. Розпиливши клей, рекомендують просушування впродовж 3 min перед вкладанням наступного шару армувального наповнювача. За витримки клею більше 10 min його липкість поступово знижується до певного значення, яке відповідає липкості сухого еластомеру, але не є нульове. Армувальний наповнювач після просушування клею залишається м'яким та драпірується. Аерозольний клей ContactS, ймовірно, має в основі розріджений твердий акриловий полімер, тому його рекомендовано використовувати з витримкою 1 min. Після витримки більше 10 min він стає твердим і сухим. Під час вкладання в оснастку як склотканини, так і препрегу рекомендовано помірне розпилення клеїв на одну чи обидві поверхні армувального наповнювача. Використання аерозольних клеїв під час вкладання шарів армувального наповнювача може поліпшувати механічні властивості пластику і не впливає на якість інфузійного просочення. Оскільки за випробувань на згин зразки безпосередньо перед досягненням максимального руйнівного зусилля поступово розшаровуються, а також невідома поведінка пластиків під час експлуатації, рекомендовані кліматичні дослідження.

РЕЗЮМЕ. Получены наивысшие значения усилия отрыва при умеренном распылении аэрозольных клеев и их выдержке в течение 3...6 min для клея EconoTac2 и 1 min для клея ContactS. Поданы технологические рекомендации относительно использования аэрозольных клеев. Доказано, что распыление клея EconoTac2 в малом и умеренном количествах и клея ContactS в умеренном количестве приводит к значительному росту границы прочности на изгиб.

SUMMARY. The highest values of ultimate strength of moderate aerosol glues spraying and their holding for 3...6 min for EconoTac2 and 1 min for ContactS glues are received. The technological recommendations for using the aerosol glues are presented. It is proved that EconoTac2 glue spraying in small and moderate quantity and ContactS glue in moderate quantity cause the considerable increase of the sample ultimate strength values under bending.

1. *Application:* Third-party tests support claims for crosslinking spray adhesive // High Performance Composites. – 2010. – P. 42.
2. www.composite.ru/tehnologii/ftp_technology/infusion/inf_process/ [Електронний ресурс].
3. www.carbonstudio.ru [Електронний ресурс].
4. *ГОСТ 19170-2001.* Стекловолокно. Ткань конструкционного назначения. Технические условия. – Введ. в экспл. 01.10.2002.

Одержано 09.12.2013