

**КОЛОСОВ О.Є., д.т.н., проф.**  
**Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»**

## **ОДЕРЖАННЯ ПРЕПРЕГІВ ДЛЯ ЗМІШУВАННЯ, ПРОСОЧУВАННЯ ВОЛОКНИСТИХ НАПОВНЮВАЧІВ ТА НАНЕСЕННЯ НА НИХ ЕПОКСИДНИХ ЗВ'ЯЗУЮЧИХ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ УЛЬТРАЗВУКУ**

*Проаналізовано практичне застосування розроблених енергоефективних технологічних засад одержання препрегів для базових процесів їх одержання, а саме змішування, просочування волокнистих наповнювачів та дозованого нанесення на них епоксидних зв'язуючих, із використанням ультразвуку*

**Ключові слова:** технологія, просочування, склотканина, епоксид, полімер, зв'язуюче, ультразвук, енергозбереження.

© Колосов О. Є., 2014

**Постановка проблеми та аналіз попередніх досліджень.** У світі сучасні композити впевнено витісняють «класичні» матеріали. Нові волокна, тканини і попередньо просочені напівфабрикати (так звані препреги) отримали поширення в авіаційній, космічній, атомній промисловості, у трубопровідному транспорті [1-2]. Так, наприклад, препреги застосовують під час виготовлення корпусів літаків і вертольотів, крил, обтічників, гвинтів. Використання цих матеріалів дозволяє знизити вагу і, як наслідок, витрату палива повітряних суден, підвищити міцність і термін їх служби. На основі препрегів виготовляють сучасні будівельні матеріали, що вирізняються унікальними властивостями, а також використовують для армування бетонних конструкцій. Не менш перспективним ринком застосування препрегів є їхнє використання у вітроенергетиці для виготовлення лопатей вітроенергетичних установок [3].

Крім того, препреги застосовують в автомобіле- і суднобудуванні, для виготовлення суднових корпусів і невідповідальних деталей автомобільних кузовів. У медицині препреги застосовують при виготовленні протезів. Номенклатура виробів товарів народного споживання, що виготовляють із препрегів, також надзвичайно широка: автомобільні бампери особливої міцності, шоломи та інше захисне обладнання для будівельників, прохідників, спортсменів, товари для туризму і відпочинку (рибальські вудки), а також спортивний інвентар (ключки для гольфу, оснастка велосипедів, роликових ковзанів) [3].

Реактопластичні напівфабрикати-препреги на основі полімерних зв'язуючих (ПЗ), а саме епоксидних зв'язуючих (ЕЗ) та орієнтованих волокнистих наповнювачів (ВН) займають чільне місце за обсягом виробництва і сферами застосування серед полімерних композиційних матеріалів (ПКМ).

Було встановлено, що застосування ефективних методів низькочастотної кавітаційної ультразвукової (УЗ) обробки сприяє суттєвому покращенню фізико-механічних властивостей одержуваних препрегів та сформованих на їх основі ПКМ [4]. Тому актуальним є розвиток науково-практичних основ здійснення ефективної УЗ-модифікації для базових процесів одержання препрегів, що дозволяє покращити експлуатаційні властивості ПКМ, одержуваних на їх основі, для розширення сфер застосування технологічних засад УЗ-дії.

**Метою** досліджень є аналіз прикладів практичного застосування розроблених енергоефективних технологічних засад виготовлення препрегів, а також сферопластиків, на основі армованих наповнювачів та епоксидних зв'язуючих із використанням ультразвуку, що використовують при одержанні виробів народного господарського й подвійного призначення, що сприятиме розширенню застосування розроблених технологічних засад.

**Стисла характеристика розроблених енергоефективних технологічних засад.** Базові процеси просочування і дозованого нанесення є найголовнішими ланками при виготовленні препрегів для ПКМ. На якість просочування впливають такі чинники, як наявність чи відсутність повітряних включень (так званого «пляшкового ефекту») у структурі просочуваного ВН під час його просочення, гомогенність і в'язкість ПЗ, добра змочуваність поверхні ВН тощо [1-2].

Забезпечення певного вмісту ПЗ у наповнювачі, що просочився, є не менш важливим, аніж рівномірний його розподіл наповнювача за перерізом і довжиною. Це можна забезпечити точним регулюванням в'язкості (варіюванням вмісту розчинника) просочувального розчину в поєднанні з певною швидкістю проходження наповнювача крізь просочувальний пристрій (швидкістю протягування).

У технології одержання препрегів ключовою ланкою є просочувально-сушильні лінії, які за сучасних умов вимагають особливих технологічних підходів, зокрема, підвищення продуктивності й забезпечення енергоресурсозбереження з одночасним підвищенням безпеки виробництва. Адже пара легких розчинників у ПЗ під час сушіння препрегів може накопичуватися у вибухонебезпечних концентраціях [1-2]. Запобігати цьому явищу значною мірою допомагає застосування УЗ на стадіях приготування і гомогенізації ПЗ.

Розроблені енергоефективні технологічні засади базуються на комплексному застосуванні ультразвуку (УЗ) для базових процесів виготовлення препрегів для усунення вищезазначених недоліків під час їхнього одержання. Дослідження, зокрема, свідчать, що ефективна УЗ-дія сприяє покращенню гомогенізації ПЗ, активації поверхні ВН для поліпшення його змочуваності ПЗ, дегазації структури ВН безпосередньо перед просочуванням і збільшенню продуктивності просочування й дозованого нанесення ПЗ завдяки збільшенню швидкості протягування ВН із покращенням властивостей кінцевого затверділого ПКМ [4].

Установлено, що застосування УЗ-впливу на просочування у ванні ВН, а також на ВН, що вже просочився, можна розглядати як ефективний метод автоматичного підтримання потрібного вмісту ПЗ у просоченому ВН [4]. Унаслідок УЗ-дії скорочується тривалість отримання препрегів, що, у підсумку, також сприяє підвищенню енергоощадності їхнього виробництва. Схему розробленого УЗ-пристрою наведено в праці [3].

Таким чином, розроблені технологічні засади та обладнання для одержання виробів із ПКМ на основі препрегів із застосуванням УЗ-кавітаційної модифікації дозволять підвищувати технологічні характеристики ЕЗ та експлуатаційні властивості затверділих ПКМ на їх основі з одночасним забезпеченням енергоощадного формування [3-6]. Результатом цього може бути підвищення на 30...45 % змочувальної спроможності полімерної (епоксидної) матриці і покращення її гомогенізації, що сприяє більш швидкому та якісному просочуванню, а також збільшенню адгезії затверділих ПКМ у середньому на 15...25 % із скороченням тривалості виготовлення щонайменше у 2,0...2,5 раза.

**Приклади ефективного застосування розроблених енергоефективних технологічних засад.** Упровадження розроблених технологічних засад та обладнання для процесів об'ємного озвучування, просочування ВН і дозованого нанесення ПЗ із застосуванням УЗ-модифікації проводили, зокрема, на НВО «Діелектрик» (м. Москва) і Казенному заводі порошкової металургії (КЗПМ; м. Бровари Київської області), на просочувально-сушильній машині МПТ-3М. Її детальний опис і характеристики наведено у статті [3].

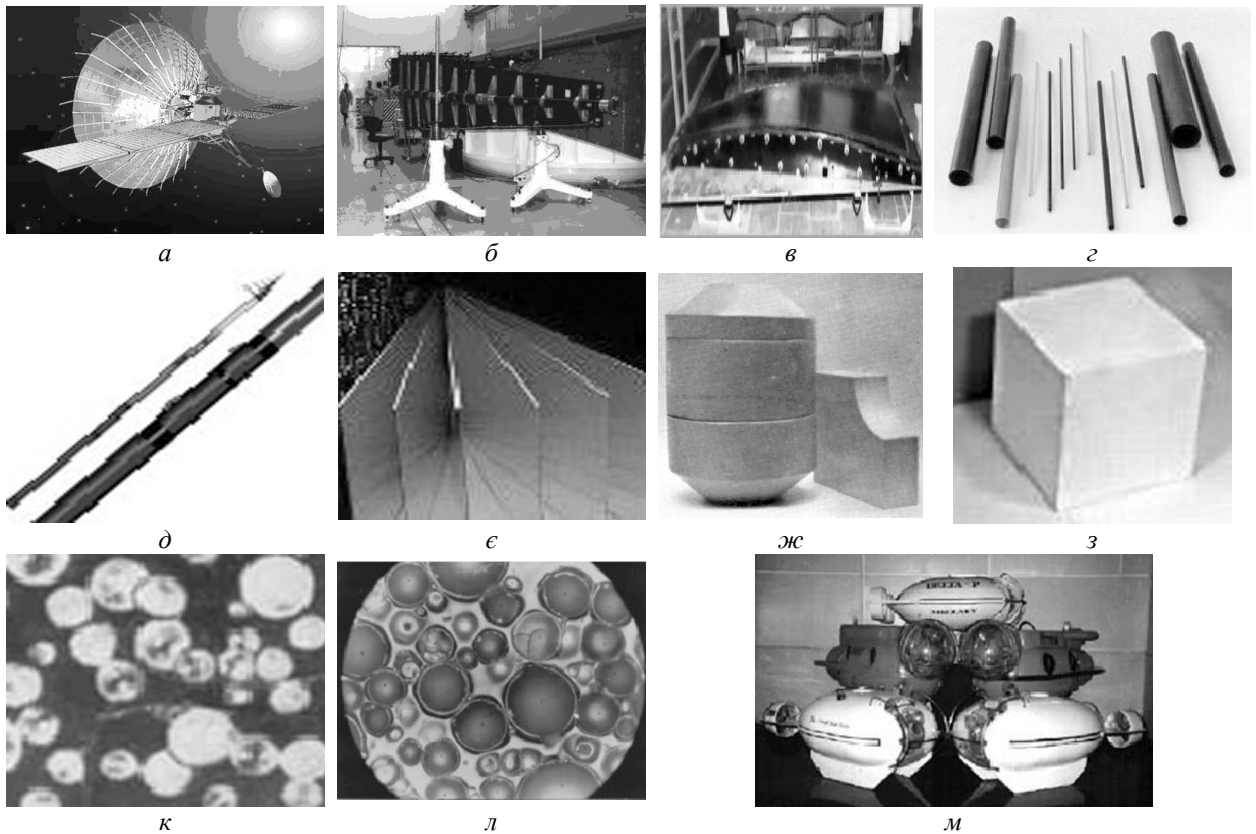
Засади впроваджували в одержанні склотекстоліту електроізоляційного марки СТЕФ на базі склотканих матеріалів марок ЕЗ-200, ЕЗ-200П завширшки 1000 мм. Останні просочували ЕЗ марки ЕДТ-10 на базі епоксидного олігомера (ЕО) марки ЕД-20 (ЕД-20У), а також ЕД-16 за температури просочування 30 °С. Для СТЕФ завтовшки понад 5 мм як ВН використовували склотканину марки Т-13.

Габарити випромінювальної УЗ-пластини становили 1100×200×10 мм, частота УЗ – 18...22 кГц, амплітуда коливань – 3...5 мкм, інтенсивність УЗК – 3...5 Вт/см<sup>2</sup>, вихідна потужність – 8 кВт, частота – 18...22 кГц, зусилля притискання – 5...15 Н. Кути нахилу випромінювальних пластин до поверхні матеріалу становили 10...15°. Швидкість протягування склотканини варіювали в межах 0,01...0,035 м/с. Величина нанесення зв'язуючого становила 35...38 %. При цьому також проводили попередню УЗ-оброблення ЕО з такими параметрами озвучування олігомерів і зв'язуючих на їх основі марки ЕДТ-10: частота – 16...24 кГц; амплітуда – 10...30 мкм; температура – 50...80 °С; тривалість – 25...35 хв. [4].

Установлено, що під час використання на підприємстві КЗПМ традиційної технології за способом аналога [1] нанесення зв'язуючого 35 % досягали за швидкості протягування 0,010...0,012 м/с і коефіцієнті варіації нанесення 16...18 %. При реалізації же розроблених технологічних засад та обладнання це нанесення зв'язуючого досягали за швидкості протягування 0,030...0,035 м/с і коефіцієнті варіації нанесення 4...5 %. При цьому в'язкість просочувальних складів, що використовували, зросла у 1,2...1,4 раза, а коефіцієнт однорідності просоченого матеріалу збільшився у 1,5...2,0 раза порівняно з традиційною технологією. Отримані результати дозволяють рекомендувати розроблені нові технологічні засади тристадійної УЗ-обробки і відповідне обладнання як надійний засіб підтримання наперед заданого значення величини (стабілізації) вмісту ЕЗ у просоченому тканому наповнювачі.

На рис. 1 наведено елементи виробів, що виготовляли на просочувально-сушильному, намотувальному і формувальному обладнанні із застосуванням розроблених технічних засобів УЗ-модифікації. Це, зокрема, відповідальні елементи несучих конструкційних ПКМ для ракетно-космічної галузі (рис. 1, а-в), пултрузійні вироби (рис. 1, г), вудки із склопластику (рис. 1, д), фольговані діелектрики (рис. 1, е), сферопластики (рис. 1, ж-з), що використовували як блоки плавучості для глибоководних технічних засобів (рис. 1, м).

Розміростабільні параболічні оболонки й сегменти оболонок радіотелескопа (рис. 1, б, в) – це тришарові конструкції із стільникового заповнювача та обшивок з епоксидного вуглепластика на основі синтетичної тканини з нанесеним на робочі поверхні металізованим шаром, що відбиває радіохвилі. Розміростабільні параболічні оболонки мають такі конструктивні характеристики: граничне відхилення параболічної поверхні від теоретичної – не більше 0,4 мм; коефіцієнт лінійного термічного розширення обшивок – не більше  $0,7 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ ; діаметр оболонок – до 2800 мм; розміри сегментів – до 2800×7800 мм; товщина конструкцій – 5...50 мм; маса 1 м<sup>2</sup> конструкції – від 2,5 кг.



*а – загальний вигляд радіотелескопа; б – розміростабільні параболічні вуглепластикові оболонки радіотелескопа у виготовленні; в – сегмент цих оболонок у виготовленні; г – пултрузійні вироби із ПКМ; д – склопластикові вудки; е – склотекстоліт фольгований марки СТЕФ; ж, з – блоки плавучості із сферопластика СДП-1 для глибоководних технічних засобів, одержані з використанням УЗ-обробки; к – алюмосилікатні порожнисті мікросфери під мікроскопом (відбите світло) для сферопластиків; л – структура сферопластика СДП-1 після УЗ-обробки; м – прив'язний глибоководний апарат*

**Рис. 1 – Елементи виробів із тканих волокнистих полімерних композиційних матеріалів**

Пултрузійну технологію (див. рис. 1, г) призначено для виробництва виробів із ПКМ (профільних і площинних) із використанням установки модульного типу. Установку обладнано пристроєм із тягучим зусиллям до 5 т, а також допоміжним оснащенням. Універсальна, екологічно чиста пултрузійна технологія забезпечує поєднання в одному процесі просочування армівного матеріалу ЕЗ, модифікованим УЗ, неперервну подачу проактивованого УЗ наповнювача, формування з одночасною полімеризацією зв'язуючого, і наступне розмірне різання готового профілю.

За допомогою цієї технології можливо виготовлення будь-яких профілів із ПКМ: суцільних і полегшених стільниковими наповнювачами, площиннопаралельних, трикутного чи круглого перерізу, із декількома несиметричними внутрішніми порожнинами, трубчастих, стрингерних із замкнутими чи відкритими поверхнями, площею перерізу до 3000 мм<sup>2</sup>, три- й п'ятишарових панелей із наповнювачем для інтер'єрів і підлоги транспортних засобів. Матеріали, що використовують при пултрузійній технології – скло-, вугле-, органоволокно чи ровінги, спеціальні швидкотверднучі зв'язуючі; фарбники, антипіренові добавки, еластomers.

Під час проведення спільних досліджень із кафедрою конструювання та виробництва виробів із композиційних матеріалів Національного університету кораблебудування (м. Миколаїв) розроблені композиційні блоки плавучості (сферопластики) поліпшеної якості для підводних технічних засобів освоєння мінеральних і біологічних ресурсів Чорного моря і Світового океану із застосуванням розроблених режимів УЗ-модифікації за підвищеного робочого тиску.

Сферопластики мають низьку позірну густину і використовуються у конструкціях підводних технічних засобів як елементи додаткової плавучості. Сферопластики марки СДП-1 виготовлені на основі порожнистих скляних мікросфер діаметром 30 мкм груп А2 чи Б2 та Е3 на основі ЕО марки ЕД-16. При цьому об'ємна частка сферичних включень перевищувала 50 %. Технічні характеристики сферопластиків СДП-1 є такими: позірна густина – 440...550 кг/м<sup>3</sup>; гідростатична міцність за густини 440 кг/м<sup>3</sup> – 25 МПа, 500 кг/м<sup>3</sup> – 41 МПа, 550 кг/м<sup>3</sup> – 81 МПа; робоча глибина за густини 440 кг/м<sup>3</sup> – 1500 м, 500 кг/м<sup>3</sup> – 3000 м;

температура експлуатації – від мінус 70 до плюс 70 °С. Завдяки УЗ-обробці досягали підвищення гідростатичної міцності сферопластиків у середньому на 14...18 %.

Спеціалістам Феодосійського виробничого об'єднання «Море» передано проект дослідних технологічних засад виготовлення відповідальних конструктивних елементів із склопластиків для суден із динамічними принципами підтримки (підводні і надводні крила, елементи повітряної подушки тощо).

При цьому апробацією розроблених технологічних засад та обладнання для їх реалізації із застосуванням УЗ-модифікації встановлено, що вони дозволяють не лише підвищувати продуктивність базових процесів, але й використовувати більш в'язкі суміші з меншим вмістом розчинників. Крім того, використання розроблених технологічних засад та обладнання дає можливість економити електроенергію, що витрачається на випаровування розчинників і твердіння композиту, поліпшувати екологічну ситуацію на виробництві, а також створювати ПКМ із новими властивостями.

#### **Висновки**

Розглянуто приклади впровадження (у тому числі із застосуванням просочувально-сушильної машини МПТ-3М) розроблених технологічних засад і обладнання, що забезпечують енергоощадність для процесів приготування ЕЗ, просочування ВН і дозованого нанесення на них ЕЗ із застосуванням УЗ. Завдяки використанню розроблених технологічних засад та обладнання досягається можливість використання високов'язких і висококонцентрованих просочувальних складів, а також складів із дисперсним наповнювачем.

Результатом використання розроблених технологічних засад і обладнання є збільшення продуктивності процесів просочування й дозованого нанесення ЕЗ, тобто швидкості протягування матеріалу і швидкості видалення надлишків ЕЗ під час одержання однорідного матеріалу, що просочився, майже без повітряних включень. Це дозволяє рекомендувати розроблені нові технологічні засади тристадійної УЗ-обробки та відповідне обладнання як надійний засіб підтримання наперед заданого значення величини (стабілізації) вмісту ЕЗ у просоченому тканому наповнювачі, а також ефективний метод підвищення гідростатичної міцності сферопластиків.

#### **Список використаної літератури**

1. *Цыплаков О. Г.* Научные основы технологии композиционно-волокнистых материалов / О. Г. Цыплаков. – Пермь, 1974. – Ч. 1. – 317 с.
- Кербер М. Л.* Полимерные композиционные материалы. Структура. Свойства. Технологии / М. Л. Кербер, В. М. Виноградов, Г. С. Головкин и др. ; под ред. А. А. Берлина. – СПб : Профессия, 2008. – 560 с.
- Колосов О. С.* Аналіз особливостей просочувально-сушильного обладнання для виготовлення препрегів, а також перспективності використання ультразвуку для їх енергоощадного одержання / О. С. Колосов // Наук. вісн. Нац. техн. ун-ту України «Київ. політехн. ін-т» ; сер. «Хім. інженерія, екологія та ресурсозбереження». – 2013. – №1 (11). – С. 5–16.
- Колосов О. С.* Формування полімерних композиційних матеріалів із застосуванням фізико-хімічної модифікації. Частина 2. Ефективні режими та обладнання для здійснення фізико-хімічної модифікації / О. С. Колосов, В. І. Сівецький. – К. : НТУУ КПІ, 2006. – 196 с.
- Колосов О. С.* Технологія одержання багатокомпонентних епоксиполімерів із застосуванням направленої фізико-хімічної модифікації / О. С. Колосов, В. І. Сівецький, Є. М. Панов. – К. : НТУУ КПІ, 2010. – 220 с.
- Колосов О. С.* Математичне моделювання базових процесів виготовлення полімерних композиційних матеріалів із застосуванням ультразвукової модифікації / О. С. Колосов, В. І. Сівецький, Є. М. Панов та ін. – К. : ВД «Едельвейс», 2012. – 268 с.

Надійшла до редакції 07.02.2014.