УДК 658.012

І.Л. СОЛНЦЕВА, канд. техн. наук; ***І.О ХМЕЛЕВСЬКА***, канд. техн. наук;
О.О. ЛУКОВЕНКО, канд. техн. наук; ***Є.І. ЧЕРНОВ***, канд. техн. наук;
Є.К. ГРИШКО, УкрНДИпротезування;
О.В. БЛИЗНЮК, канд. техн. наук; НТУ «ХПІ»

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ РІЗНИХ АРМУЮЧИХ МАТЕРІАЛІВ НА ВЛАСТИВОСТІ ПРЕПРЕГА

У роботі наведені результати дослідження пружно-міцностних властивостей поліефірних препрегів після твердіння, в залежності від застосування різних армуючих матеріалів, таких як склотканини, вуглетканини та поліамідні тканини. Встановлено, що застосування гібридних армуючих систем з чергуванням шарів різної природи дозволяє створювати матеріали з заданим комплексом пружно-міцностних властивостей.

In the article the results of research of elastic strength of hardened polyester prepregs depended on the use of different reinforcing materials, such as glass cloth, carbon cloth and polyamide cloth were presented. It was found, that the use of hybrid reinforcing systems with alternating fibrous fillers of different nature allows to compose materials with the given complex of elastic strength properties.

Одним з найбільш прогресивних напрямків у протезобудуванні є розробка технології виготовлення протезно-ортопедичних виробів (ПОВ) з препрегів [1 – 3]. Використання препрегів в ортопедії дозволяє створювати прості конструкції, які не потребують сполучних елементів, з оптимальним комплексом експлуатаційних властивостей: малою вагою й об’ємом, високими пружно-міцностними характеристиками, що варіюються, у разі потреби, по всій поверхні виробу [4].

Вирішальним фактором при формуванні характеристик композиційних матеріалів (КМ) і, зокрема препрегів, є підбор системи зв’язуючего [5]. У роботі, опублікованої раніше [6], були описані дослідження пружно-міцностних властивостей поліефірного зв’язуючего з різними дисперсійними наповнювачами з метою оптимізації його рецептури. У результаті чого був визначений склад, що забезпечує одержання матеріалу з високими пружно-міцностними характеристиками й ударною в’язкістю.

Однак, крім забезпечення високих пружно-міцностних властивостей, при конструюванні ПОВ, важливою задачею є диференційований розподіл твердості по поверхні виробів. Рішення цієї проблеми можливо шляхом підбора армуючей системи препрега.

У якості зв’язуючего використовували композицію на основі бесстирольної поліефірної смоли ПН-609-21М, наповненої аеросилом, сополімером А-15, окисом

магнію і пастою перекису бензоіла в диоктилфталаті як каталізатор твердіння.

Як армуючи матеріали досліджували тканини, до достоїнств яких відносяться добра їх здатність до драпирування, що забезпечує зручність викладення препрега на позитиві, і стабільність взаємного розташування армуючих ниток [7]. Крім того, перевага тканих матеріалів, на відміну від нетканих скломатів та склохолстів, які широко застосуються в промисловості, є у тому, що при їх використанні можна уникнути основного недоліку нетканих матеріалів – нерівномірності властивостей по ширині й об'єму [8].

Були вивчені склотканини Т-13 полотняного плетива, Т-10 сатинового плетива; вуглетканина Урал Т-2-22 полотняного плетива, а також еластичні трикотажні рукава на основі поліамідних волокон (нейлон) і поліамідних комбінованих (гібридних) зі скловолокнами (нильскло), що широко використовуються в протезобудуванні.

Препрег одержували методом пошарового просочення армуючего матеріалу, а потім витримували при (20 ± 2) ^{o}C протягом 3 – 5 доби для дозрівання. Співвідношення зв'язуюче: армуюча система складало 40 : 60.

Твердіння пакета препрега здійснювали способом формування з еластичною мембраною при температурі 130 ^{o}C, тиску (– 0,6) – (– 0,8) кг/см^2 протягом 60 хвилин.

Ударну в'язкість (а), міцність при вигині ($\sigma_в$), модуль пружності при вигині ($E_в$) і величину прогину (z) визначали по стандартних методиках при швидкості деформації 10 мм/хв.

Зразки для іспитів вирізували з препрега після твердіння за допомогою віброножа у вигляді смужок шириною (10 ± 0,5) мм і довжиною (80 ± 5) мм. Товщина зразків коливалася від необхідної мінімальної для ортезів – 1,5 до 3,0 мм. Подальше збільшення товщини не доцільно, так як спричиняє збільшення ваги й об'єму виробу.

Досліджували як моноармовані препреги, тобто армовані одним типом матеріалу, так і гібридні композиційні матеріали (ГКМ) ламинатного типу і типу сендвич відповідно до класифікації, наведеної в роботі [7], у складі яких утримується більш, ніж один тип армуючего компонента.

У зазначеній вище роботі [7] досліджували сендвич-гібриды, у яких один матеріал розташований між двома або більш шарами іншого, і ламинатный тип, у якому шари різних матеріалів чергуються в регулярному порядку.

Метою гібридизації є створення КМ із заданими властивостями, що зберігають позитивні якості кожного з армуючих компонентів.

У таблиці наведені типи армуючих матеріалів і схеми армировки.

Таблиця

Армуючі системи поліефірного препрега

Схема армуючої системи	Тип армуючих матеріалів і кількість їх шарів			
	Скло-тканина Т-13	Скло-тканина Т-10	Вугле-тканина Урал Т-2-22	Нейлоновий рукав
1. (моно)	4	-	-	-
2. (моно)	-	4	-	-
3. (моно)	-	-	6	-
4. (сендвич: 2-1-2)	4	-	-	1
5. (сендвич: 1-4-1)	4	-	-	2
6. (ламинат)	3	-	-	3
7. (ламинат)	3	-	3	-

Використання для армування поліефірного зв'язуючого гібридного нильсклянного трикотажного рукава виявилося нетехнологічним, тому що не вдалося одержати гладку без зморшок поверхню препрега.

КМ із моноармуючею системою на основі 12-ти шарів нейлонового рукава мали дуже низькі пружно-міцносні характеристики (σ_i = 35,0 МПа; $E_и$ = 50,0 МПа) і тому не приведені в таблиці.

Результати досліджень наведені на діаграмі (см. рис.).

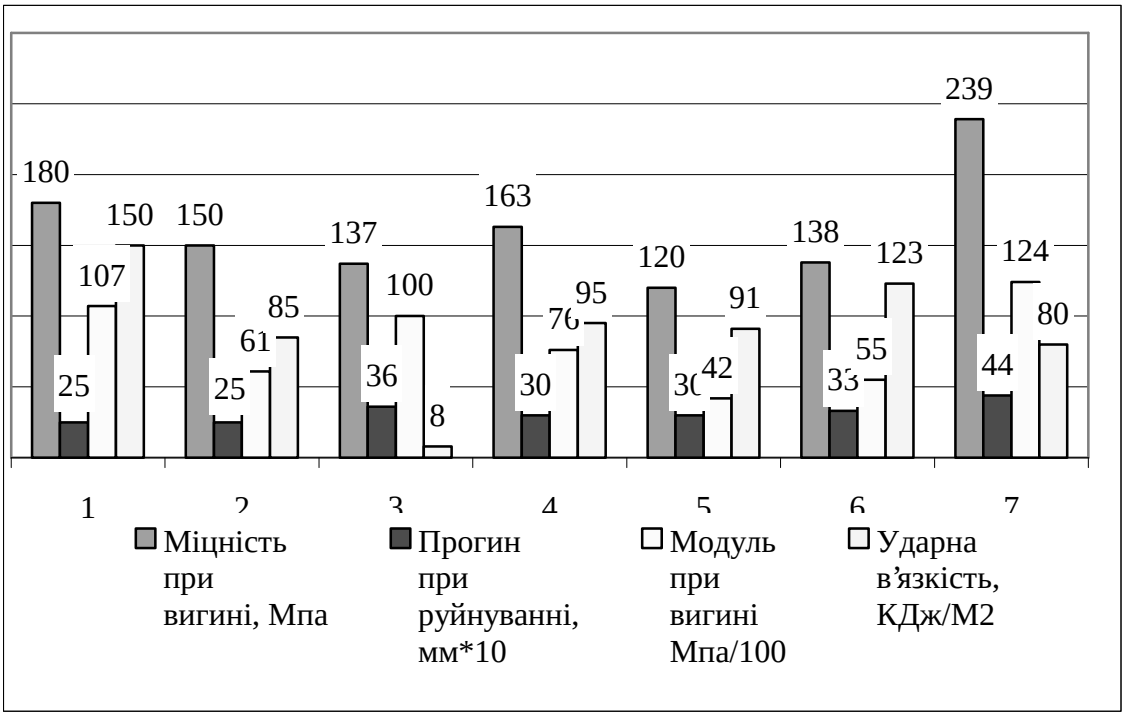

Рисунок – Пружно-міцностні властивості поліефірних препрегів після твердіння з різними армуючими системами;

Як видно з діаграми, пружно-міцностні властивості препрега після твердіння залежать від типу і комбінації армуючих компонентів.

Для КМ, армованих вуглетканиною, (система 3) була характерна відносно невелика міцність і дуже висока крихкість, про що свідчить низька ударна в'язкість, зі збереженням високого модуля пружності. Для цього матеріалу була визначена також досить висока, у порівнянні з іншими моноармованими КМ, величина прогину.

З досліджених КМ з моноармуючими системами, (системи 1 – 3), кращими пружно-міцностними властивостями володів матеріал, армований склотканиною Т–13 полотняного плетива (система 1).

Трохи гірші пружні властивості мав матеріал, армований склотканиною Т–10 сатинового плетива (система 2).

Однак ці КМ були мало деформативні (мали самий маленький прогин), а також погану межшарову адгезію, що приводило до розшаровування їх при вигині.

Введення в армуючу систему на основі 4-х шарів склотканини Т–13 одного серединного шару нейлонового трикотажного рукава (система 4, сендвич) незначно знижувало пружно-міцностні характеристики КМ, але збільшувало його прогин.

Матеріал, до складу армуючей системи якого входило вже 2 шари нейлонового трикотажного рукава (перший і останній шари в пакеті) (система 5), мав значно менші міцність і пружність, однак ударна в'язкість залишилася без зміни, отже, порядок чергування армуючих шарів впливає на ударну міцність.

Цей висновок підтвердився при використанні в поліефірному препрезі гібридної армуючеї системи 6, ламинатного типу з 3-мя шарами склотканини і 3-мя шарами нейлонового рукава.

Для вище названого КМ спостерігався навіть ріст величини прогину й особливо ударної міцності, що була найбільший із усіх досліджених ГКМ, тобто мав місце позитивний гібридний ефект (ГЭ).

Тому з метою усунення основного недоліку вуглепластиків – низької ударної міцністі, була використана армуюча гібридна система 7 ламинатного типу на основі склотканини й вуглетканини полотняного плетива.

Цей КМ мав добру здатність до вигину і межшарову адгезію, на відміну від високоміцного і високомодульного КМ з моноармуючею системою на основі склотканини Т-13, а також найбільшої з усіх досліджених матеріалів міцністю і модулем пружності, тобто виявлявся позитивний ГЭ.

Крім того, такий спосіб армировки дозволив підвищити ударну міцність поліефірного препрега після твердіння з армуючею системою на основі однієї вуглетканини.

Висновки. У результаті проведених досліджень встановлено, що ефективним засобом регулювання властивостей препрегів є використання гібридних армуючих систем, у яких застосовуються компоненти різної природи. Особливо ефективно для збільшення міцностних характеристик матеріалів використання гібридних армуючих систем, ламинатного типу, у яких поперемінно чергуються вуглетканини зі склотканинами полотняного плетива. Для створення матеріалів з меншою міцністю, однак з більшим опором до ударних навантажень, тобто з більшою ударною в'язкістю, необхідно використовувати ламинатні армуючі системи з чергуванням склотканини і поліамідного (нейлонового) волокна.

Застосування описаних армуючих систем допоможе істотно поліпшити якість препрегів за рахунок забезпечення стабільності властивостей по всьому об'єму, і розширити їх асортимент шляхом створення матеріалів з різними, у залежності від необхідності, пружно-міцностними характеристиками.

Список літератури: 1. *Вюршинг А., Радке П, Сегл М*. Ортезы по технологии препег // Ortopadie–Technik. 2001. №11 С. 814–829. **2.** *Павлик И*. Опыт в технологии «Мальмё»// Ortopadie–Technik. 2001. №11 С. 824–829. **3.** *Ластринг Л*. Изготовление препрега в ортопедической мастерской// Ortopadie–Technik. 2001. №11 С. 810–813. **4.** *Билефельд Т.* Препрег в протезировании // Ortopadie–Technik. 2003. №5 С. *346–349.* **5**. *Седов Л.Н.* Технология изделий из полиэфирных премиксов и препрегов. М.: МДНТП, 1975. 65 с. **6**. *Хмелевская И.О., Солнцева И.Л., Луковенко А.А. и др.* Исследование влияния различных наполнителей на свойства материала препрег на основе полиэфирной смолы//Вестник Национального технического университета «Харьковский политехнический университет» 2005 № 11 С. 103-105. **7.** *Котомин С.В.* Гибридные волокнистые наполнители для полимерных композиционных материалов. М.: НИИТЭХИМ, 1990. 33 с. **8**. *Альперин В.И., Корольков Н.В., Мотавкин А.В. и др.* Конструкционные стеклопластики. М.: Химия, 1979. 357 с.

Поступила в редколегію 11.10.06