

І.Л. СОЛНЦЕВА, канд. техн. наук, пров. наук. співроб.,
УкрНДІпротезування,
Є.К. ГРИШКО, наук. співроб., УкрНДІпротезування,
Л.О. БЄЛЄВЦОВА, молод. наук. співроб., УкрНДІпротезування,
О.В. БЛИЗНЮК, канд. техн. наук, доц., НТУ «ХПІ»

ВПЛИВ АРАМІДНИХ ВОЛОКОН В СИСТЕМІ АРМУВАННЯ НА ВЛАСТИВОСТІ «ПРЕПРЕГА»

У роботі наведені результати дослідження пружно-міцностних властивостей отвердженого поліефірного препрега залежно від складу армуючої системи, до якої входить тканина на основі арамідних волокон. Встановлено, що оптимальний комплекс властивостей препрега забезпечує 7-ми шарова гібридна армуюча система з склотканини, вуглетканини та тканини на основі арамідних волокон, що чергуються між собою.

В работе приведенные результаты исследования упруго-прочностных свойств отвердженого полиефирного препрега в зависимости от состава армирующей системы, в которую входит ткань на основе арамидных волокон. Установлено что оптимальный комплекс свойств препрега обеспечивает 7-ми слоевая гибридная армирующая система из стеклоткани, углетканини и ткани на основе арамидных волокон, которые чередуются между собой.

In the work the results of study of elastic - strengthening properties of hardened prepreg depending on the structure of the reinforcement system which contains fabric based on aramide fibers have been presented. It was found out, that the optimum complex of properties of prepreg is provided with the reinforcement hybrid system of 7 layers consisting from alternating among themselves fiber glass fabric, carbon fabric and fabric based on aramide fibers.

Одним з пріоритетних напрямків розвитку протезобудування є розробка технологій виготовлення протезно-ортопедичних виробів (ПОВ) з сучасних матеріалів, а саме препрегів [1]. Застосування цих матеріалів дозволяє забезпечити ПОВ високі міцностні та експлуатаційні властивості, косметичність та комфортність шляхом урахування індивідуальних особливостей кожного пацієнта [2].

Як було зазначено у попередніх публікаціях [3, 4] вирішальним фактором при формуванні міцностних властивостей препрегів, поряд з системою зв'язуючого, є підбір армуючих компонентів.

Розроблений в УкрНДІпротезування препрег на основі поліефірної смоли з гібридною армуючою системою ламінатного типу, що складається зі

склотканини й вуглетканини, по міцностним показникам значно перевершував поліпропілен та його сополімери з поліетиленом марки Термолін, що традиційно використовують у протезобудуванні. Але, як видно з таблиці 1, препрег мав значно меншу гнучкість, ніж термопласти, яка необхідна ортезним системам.

Таблиця 1

Порівняльні властивості полімерних матеріалів

| Матеріали | Руйнуюча напруга при вигині, МПа | Модуль пружності при вигині, МПа | Ударна в'язкість, кДж/м ² | Температура формування, °С |
|----------------|----------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|----------------------------|
| Термолін Т95 | 30,1 | 780,0 | Без руйнування | 160 |
| Термолін Т16 | 26,1 | 734,0 | Без руйнування | 195 |
| Препрег типа А | 200 | 6000,0 | 78 | 140 |

З метою рішення цієї проблеми була розроблена нова армуюча система, до складу якої входила тканина на основі арамідних волокон та вивчався її вплив на властивості препрега.

У якості зв'язуючого препага використовували композицію на основі безстирольної поліефірної смоли ПН-609-21М, наповненої аеросилом, сополімером А-15 і пастою перекису бензоїла у диоктилфталаті як каталізатор твердіння.

Як армуючі матеріали використовували склотканину Т-13 (ГОСТ 19170-2001), вуглетканину Урал Т-2-22 (СТБ 995, Беларусь), а також тканину на основі арамідних волокон СВМ (ТУ 17 РСФСР 62-10540-2005) полотняного плетіння.

Препрег одержували методом пошарового просочення армуючого матеріалу, а потім витримували при (20 ± 2) °С протягом 3 діб для дозрівання.

Зразки для іспитів вирізували з препрега у вигляді смужок шириною $(10 \pm 0,5)$ мм і довжиною (80 ± 5) мм.

Товщина зразків коливалась від необхідної мінімальної для ортезів – 1,5 до 3,0 мм. Подальше збільшення товщини не доцільно, так як сприяє збільшенню ваги та об'єму ПОВ.

Твердіння зразків препрега здійснювали способом формування з еластичною мембраною при температурі 140 °С, тиску $(- 0,6) - (0,8)$ кг/см² протягом 120 хвилин.

Фізико-механічні властивості пререгу, а саме: міцність при вигині, модуль пружності при вигині, величину прогибу при руйнуванні та при навантаженні 200 Н, а також ударну в'язкість визначали за стандарними методиками при швидкості деформації 10 мм/хв.

Результати досліджень наведені у таблиці 2.

Таблиця 2

Залежність фізико-механічних властивостей пререга від армуючої системи

| № системи | Система армування | Фізико-механічні властивості | | | | |
|-----------|--------------------------|----------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|--------------------------|-----------------------------------|
| | | Руйнуюча напруга при вигині, МПа | Модуль пружності при вигині, МПа | Ударна в'язкість, кДж/м ² | Прогин при руйнуванні мм | Прогин при навантаженні 200 Н, мм |
| 1 | Вуг-ск-вуг-ск-вуг | 205,3 | 6217,3 | 78,6 | 3,9 | 3,5 |
| 2 | Вуг-ар-ск-ар-вуг | 135,3 | 4293,0 | 74,9 | 4,2 | - |
| 3 | Ар-вуг-ск-вуг-ар | 235,5 | 5203,7 | 82,3 | 7,2 | 5,0 |
| 4 | Ар-ск-вуг-ск-ар | 135,3 | 4090,0 | 104,2 | 4,4 | - |
| 5 | Ар-ск-ар-ск-ар | 235,8 | 4856,0 | 82,6 | 3,5 | 3,0 |
| 6 | Вуг-ар-вуг-ар-вуг | 135,6 | 4369,3 | 88,4 | 4,3 | - |
| 7 | Ар-вуг-ар-вуг-ар | 328,6 | 5901,0 | 112,7 | 6,1 | 4,0 |
| 8 | Ар-ск-вуг-ск-вуг | 184,9 | 6243,2 | 87,8 | 4,3 | - |
| 9 | Ар-ар-ар-ар-ар | 227,5 | 3758,9 | 78,2 | 6,1 | - |
| 10 | Вуг-ск-вуг-ск-вуг-ск-вуг | 217,7 | 7436,6 | 65,7 | 4,6 | 3,3 |
| 11 | Ар-вуг-ск-вуг-ск-вуг-ар | 249,3 | 6322,0 | 109,4 | 7,2 | 3,8 |

Примітка: У таблиці 2 використали такі скорочення: вуг – вуглетканина; ск – склотканина; ар – тканина на основі арамідних волокон.

Як видно з наведеної таблиці 2, у якості армуючих систем були обрані гібридні системи ламінатного типу, які, як відомо [5], найбільш повно зберігають позитивні якості кожного з армуючих компонентів.

Як варіант порівняння використовували розроблений раніше пререг (система № 1).

У результаті проведених досліджень встановлено, що при заміні в моносистемі двох шарів арамідної тканини на два шари вуглетканини (система № 7) мав місце позитивний гібридний ефект (ГЕ), тобто збільшувалися міцність, пружність і ударна в'язкість пререга.

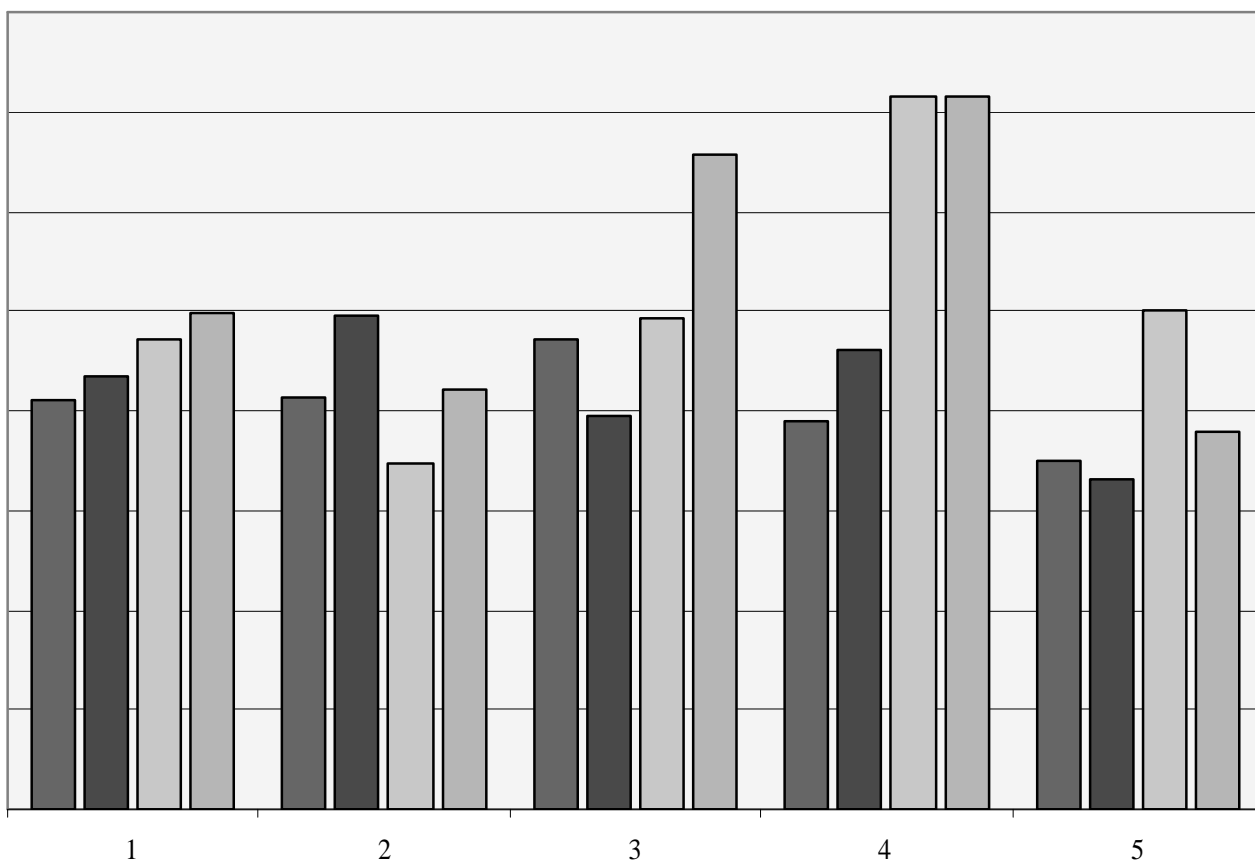
У випадку застосування армуючої системи, у яку, крім арамідної тканини й вуглетканини, вводили один шар склотканини (система № 3), позитив-

ний ГЕ, в основному, проявлявся в більшій деформаційності матеріалу, що характеризується більшим прогином як при руйнуванні так і при навантаженні 200 Н, що виникає в період фази заднього поштовху кінцівки.

Збільшення кількості шарів склотканини в армуючій системі (система № 4) приводило до погіршення деформаційно-міцностних властивостей матеріалу.

Оптимальний комплекс властивостей препрега з армуючою системою № 3, особливо міцність і гнучкість, дозволяє використовувати його при виготовленні ПОВ без обмеження вагової категорії пацієнтів.

На діаграмі (рисунок) і в таблиці 2 показано як змінюються властивості препрегів з армуючими системами 1 і 3 при збільшенні кількості шарів.



- Схеми армування:
- вуг-ск-вуг-ск-вуг
 - вуг-ск-вуг-ск-вуг-ск-вуг
 - ар-вуг-ск-вуг-ар
 - ар-вуг-ск-вуг-ск-вуг-ар
- 1 – Руйнуюча напруга при вигині, МПа; 2 – Модуль пружності при вигині, МПа;
 3 – Ударна в'язкість, кДж/м²; 4 – Прогин при руйнуванні, мм;
 5 – Прогин при навантаженні 200 Н, мм

Рисунок – Діаграма залежності фізико-механічних властивостей препрега від кількості шарів армуючої системи

Наведені дані свідчать про те, що збільшення кількості шарів армуючої системи препрега до 7 (система № 10) приводило до збільшення міцності й пружності матеріалу, але знижувало його ударну в'язкість, що пояснюється збільшенням у системі вугільного компонента.

Збільшення ж шарів армуючої системи, що містить тканину на основі арамідних волокон (система № 11), приводило до поліпшення фізико-механічних властивостей препрега, в тому числі, до зниження його крихкості. Препрег із цією системою армування мав найкращий комплекс властивостей із усіх досліджених. Цей матеріал варто використовувати при виготовленні ортезів для пацієнтів з вагою 100 кг і вище.

Висновки.

Таким чином введення в систему армування поліефірного препрега тканини на основі арамідних волокон значно збільшувало його гнучкість, і як слідство, приводило до поліпшення міцностних властивостей.

Розроблена найкраща армуюча система для поліефірного препрега, а саме: гібридна 7-ми шарова система ламінатного типу, до складу якої входять склотканина, вуглетканина та тканина на основі арамідних волокон.

Використання таких систем значно поліпшить фізико-механічні властивості поліефірного препрега, що дозволить розширити його використання при виготовленні ПОВ.

Список літератури: 1. Вюршинг А. Ортезы по технологии препрег / А. Вюршинг, П. Радке, М. Сегл // *Ortopadie Technik*. – 2001. – № 11. – С. 814 – 829. 2. Ластринг Л. Изготовление препрега в ортопедической мастерской / Л. Ластринг // *Ortopadie Technik*. – 2001. – № 11. – С. 810 – 813. 3. Хмелевская И.О. Исследование влияния различных наполнителей на свойства материала препрег на основе полиэфирной смолы / [И.О. Хмелевская, И.Л. Солнцева, А.А. Луковенко и др.] // *Вестник НТУ «ХПИ»*. – 2005. – № 11. – С. 103 – 105. 4. Солнцева И.Л. Дослідження впливу різних армуючих матеріалів на властивості препрега / [И.Л. Солнцева, И.О. Хмелевська, О.О. Луковенко та інші.] // *Вестник НТУ «ХПИ»*. – 2006. – № 43. – С. 169 – 173. 5. Котомин С.В. Гибридные волокнистые наполнители для полимерных композиционных материалов / С.В. Котомин. – М.: НИИТЭХИМ, 1990. – 33 с.

Надійшла до редколегії 22.03.10