

Солнцева И.Л., Гришко Е.К., Белевцова Л.О., Хмелевская И.О., Луковенко А.А., Близнюк А.В.

### **ПРИМЕНЕНИЕ ПРЕПРЕГА ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ КОМПЛЕКТУЮЩИХ ДЛЯ ПРОТЕЗНО-ОРТОПЕДИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ**

За последние десятилетия в протезостроении, в том числе в отечественной отрасли, значительно расширился ассортимент изделий из препрега. Это объясняется возможностью создания на базе препрега простых конструкций с оптимальным комплексом эксплуатационных свойств, особенно важных для протезно-ортопедических изделий (ПОИ), а именно: малым весом и объемом, высокими деформационно-прочностными свойствами, дифференцированными, в случае необходимости, по поверхности изделия.

В 2005–2006 годах в УкрНИИ протезирования был разработан полиэфирный препрег, в состав армирующей системы которого входила углеткань на основе графитизированных вискозных волокон производства Белоруси.

Необходимость разработки препрега для отечественного протезирования объяснялась отсутствием на украинском рынке материала на основе компонентов, имеющих разрешение Минздрава, с одной стороны и высокой стоимостью и особыми условиями транспортировки препрегов, разработанных для протезостроения иностранными фирмами, с другой стороны.

В качестве связующего препрега использовали безстирольную смолу ПН-609-2М, наполненную аэросилом, сополимером А-15, окисью магния и перекисью бензоила в качестве отвердителя. Подробное описание рецептуры связующего было приведено в предыдущих публикациях [1].

В качестве армирующего компонента была разработана гибридная система ламинатного типа, состоящая из 3 слоев углеткани на основе графитизированных вискозных волокон марки Урал Т-2-22 (СТБ 995-2011, Беларусь) и стеклоткани марки Т-13 ГОСТ 19170-2001 [2].

Разработанные в последние годы конструкции ортезов повышенной функциональности, для изготовления которых требуется препрег с очень высокими прочностными характеристиками, а также нестабильность рынка отечественных материалов, привели к необходимости улучшения качества разработанного ранее и описанного выше материала.

Как известно [3, 4] основным фактором при формировании характеристик композиционных материалов, и в частности препрега, является подбор армирующего компонента. Выбор связующего для отечественных препрегов, применяющихся при изготовлении ПОИ наиболее распространенным методом «Мальме» ограничен в силу технологической специфики этого метода.

Материалы и методы. С целью улучшения прочностных характеристик полиэфирного препрега были изучены углеткани разной поверхностной плотности на основе графитизированных полиакрилонитрильных волокон производства иностранных, наиболее доступные для отечественного производителя, в качестве составляющего компонента в ламинатной армирующей системе полиэфирного препрега.

Как вариант сравнения использовали разработанный ранее препрег, описанный выше.

Препрег получали методом послойной пропитки армирующей системы ламинатного типа (3 слоя углеткани и 2 слоя стеклоткани), который выдерживали при  $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$ , в течение 3–4 суток для вызревания.

Соотношение связующее : армирующий компонент составляло 40 : 60.

В армирующей системе варьировали угольный компонент отверждение препрега осуществляли методом формования с эластичной мембраной при  $150 ^\circ\text{C}$ , давлении  $(-0,6) - (-0,8) \text{ кг/см}^2$  в течение 60 мин. С предварительной выдержкой под действием вакуума при комнатной температуре для удаления межслойной влаги в течение 30 мин.

Образцы стандартной величины вырезали из отвержденного материала с помощью виброножа. Физико-механические свойства определяли по стандартным методикам при скорости 10 мм/мин.

Результаты и их обсуждение

Данные исследований физико-механических свойств приведены в таблице 1.

Как свидетельствуют табличные данные ткани на основе искусственных волокон различных производителей обладали лучшими армирующими свойствами, чем белорусская ткань, основу которой составляли вискозные волокна. Этот вывод подтверждается более высокими физико-механическими свойствами препрегов, в состав армирующей системы которых входили немецкие и американские углеткани, что не противоречит данным других исследователей [5].

Наибольшими прочностью при изгобе ( $\sigma = 370,0 \text{ МПа}$ ) и модулем упругости ( $E = 13900 \text{ МПа}$ ) обладал препрег, в состав армирующей системы которого входила углеткань немецкой фирмы Saertex с поверхностной плотностью  $300 \text{ г/м}^2$  полотняного плетения. Эта ткань может быть рекомендована для пре-

прегов, применяющихся для несущих деталей изделий, где требуются высокие прочность и жесткость. Уменьшение поверхностной плотности приводило к снижению прочностных и упругих свойств, в том числе к уменьшению прогиба при разрушении. Именно этот показатель важен для препрегов, которые используются при изготовлении стопной части протезно-ортопедических изделий для нижних конечностей. Снижение прогиба при разрушении свидетельствует об ухудшении эксплуатационных свойств изделий.

Таблица 1 – Зависимость физико-механических свойств препрегов от используемого угольного компонента армирующей системы

Угольный компонент				Физико-механические свойства			
Страна производитель	Поверхностная плотность, г/м <sup>2</sup>	Количество филаментов	Характер плетения	Разрушающее напряжение при изгибе, МПа	Модуль упругости при изгибе, МПа	Ударная вязкость, кДж/м <sup>2</sup>	Прогиб при разрушении, мм
Беларусь (вариант сравнения)	300	2	Полотняное	169,2	6500	47,0	2,9
Германия (фирма Saertex)	300	3	Полотняное	370,0	13900	62,0	2,6
Германия (фирма Saertex)	200	3	Полотняное	260,4	10900	58,0	2,3
Германия (фирма Saertex)	350	3	Однонаправленное	210,0	5800	50,0	4,0
Германия (фирма Otto Bock)	200	3	Полотняное	235,3	7863	55,0	2,0
США (фирма Zoltek group)	200	3	Полотняное	330,0	13800	60,0	2,0

Примечание. В таблице приведены средние значения показателей. Увеличение количества филаментов и поверхностной плотности угольного компонента усложняют технологический процесс изготовления ПОИ.

Для препрегов, в состав армирующей системы которых входила американская углеткань фирмы Zoltek group, плотностью 200 кг/м<sup>2</sup> также наблюдалось снижение прогиба, но при этом прочность при изгибе и модуль упругости уменьшались очень незначительно. Эту ткань также можно рекомендовать для применения в препрегах, используемых для изготовления несущих конструкций.

Наибольшим прогибом характеризовался препрег, в качестве армирующего угольного компонента которого использовали однонаправленную углеткань с поверхностной плотностью 350 кг/м<sup>2</sup> производства немецкой фирмы Saertex. Однако, у этого препрега были самые низкие из всех испытанных материалов упруго-прочностные свойства ( $\sigma = 210,0$  МПа;  $E = 5800$  МПа), но все же не ниже, чем у варианта сравнения. Благодаря своей гибкости препрег с армирующей системой, содержащей однонаправленную углеткань, может использоваться для стопной части ортопедических изделий.

### Выводы

Таким образом, замена угольного компонента на основе вискозных волокон в армирующей ламинатной системе полиэфирного препрега на углеткань на основе полиакрилонитрильных волокон производства немецких и американских фирм, представленных на украинском рынке, значительно увеличивает его физико-механические свойства а, тем самым, и долговечность ортопедических изделий. Применение в качестве армирующего угольного компонента углетканей полотняного плетения позволяет получить более прочный и жесткий материал, а углетканей однонаправленных – более гибкий.

Использование таких препрегов позволит изготавливать комфортные и функциональные конструкции за счет дифференцирования поверхностных свойств.

## Литература

1. Хмелевская И.О., Солнцева И.Л., Луковенко А.А. и др. Исследование влияния различных наполнителей на свойства материала препрега на основе полиэфирной смолы / Вестник НТУ «ХПИ». – 2005. – №11 – С. 103–105.
2. Солнцева И.Л., Хмелевська І.О., Луковенко О.О. та ін. Дослідження впливу різних армуючих матеріалів на властивості препрега / Вестник НТУ «ХПИ» – 2006. – №43 – С. 169–173.
3. Седов Л.Н. Технология изготовления изделий из полиэфирных премиксов и препрегов / – М.: МДНТП – 1975. – 65 с.
4. Справочник по композиционным материалам / под редакцией Дж. Любина. Перевод с английского А.Б. Геллера, М.М. Гельмонта. Под редакцией Б.Э. Геллера. / – М.: Машиностроение – 1988. – 446 с.
5. Мищенко С.В., Ткачѳв А.Г. Углеродные Наноматериалы. Производство, Свойства, Применение. / – М.: Машиностроение – 1988. – 320 с.

## Bibliography (transliterated)

1. Hmelevskaya I.O., Solntseva I.L., Lukovenko A.A. i dr. Issledovanie vliyaniya razlichnyh napolniteley na svoystva materiala prepreg na osnove poliefirnoy smole (Investigation of the effect of various fillers on the properties of the prepreg material based on polyester resin). Vestnyk NTU "KPI" – 2005. № 11 – P. 103–105.
2. Solntseva I.L., Hmelevska I.O., Lukovenko O.O. etc. Doslidgenya vplyvu riznyh armuyuchih materialiv na vlastivosti prepregu (Study the effects of different reinforcing materials on the properties of the prepreg). Vestnyk NTU "KPI" – 2006. № 43 – P. 169–173.
3. Sedov L.N. Tehnologiya izgotovleniya izdeliy iz poliefirnyh premiksov i prepregov (Technology manufacture of polyester premixes and prepregs) – Moscow: MDNTP – 1975. – 65 p. (in Russian).
4. Spravochnik po kompozicionnym materialam (Handbook of composites). pod red. Dj. Lyubina. Perevod s angl. A.B. Gellera, M.M. Gelmonta. Pod red. B.E.Gellera. – Moscow: Engineering – 1988. – 446 p.
5. Mishenko S.V., Tkachov A.G. Uglerodnye nanomaterialy. Proizvodstvo. Svoystva. Primeneniye. – Moscow: Engineering – 1988. – 320 p.

УДК 658.012

Солнцева И.Л., Гришко Е.К., Белевцова Л.О., Хмелевская И.О., Луковенко О.О., Близнюк О.В.

**ЗАСТОСУВАННЯ ПРЕПРЕГУ ПРИ ВИГОТОВЛЕННІ КОМПЛЕКТУЮЧИХ  
ДЛЯ ПРОТЕЗНО-ОРТОПЕДИЧНИХ ВИРОБІВ**

У роботі наведені результати дослідження фізико-механічних властивостей отвердженого поліефірного препрега, що застосовується у протезно-ортопедичній галузі, в залежності від армуючої системи ламінатного типу, до складу якої входять вуглетканини на основі віскозних або поліакрилонітрильних волокон різних фірм виробників, що є на ринку України. Встановлено, що оптимальні фізико-механічні властивості препрега забезпечує вуглетканина полотняного плетіння на основі волокон виробництва Німетчини фірми Saertex.

Solnceva I.L., Gryshko E.K., Belevcova L.O., Hmelevska I.O., Lukovenko O.O., Blyznyuk O.O.

**THE APPLICATION OF THE PREPREG IN THE MANUFACTURE  
OF COMPONENTS FOR PROSTHETIC AND ORTHOPEDIC PRODUCTS**

In the article the results of research of physical-mechanical properties of hardened polyester prepreg used in prosthetic and orthotic branch, depending on reinforcing system of laminate type, composition of which is made of carbon fabrics on the basis of viscose or polyacrylonitrile fibers of different producers present in the market of Ukraine. It was established, that weaving carbon fabrics ensure optimal physical-mechanical properties to prepreg on the basis of polyacrylonitrile fibers of production of German Saertex Company. Decreasing the surface density resulted in a decrease in strength and elastic properties, including a decrease of deflection at break. This indicator is important for prepregs, which are used in the manufacture of the iambic prosthetic and orthopedic products for lower extremities. Reduced deflection at failure indicates a deterioration in performance of the article. The use of coal fiber as a reinforcing component of plain weave carbon fabric provides a more durable and rigid material, and the carbon fabric unidirectional – more flexible. The use of such prepregs will allow to make a comfortable and functional design for the differentiation of the surface properties.