

УДК 620.22:66.095

Шилина Е. В.¹, Шилин С. А.¹, Хлапонина Л. С.¹, Санин А. Ф.²

¹ Государственное предприятие «Конструкторское бюро «Южное» им. М. К. Янгеля»,
Украина, г. Днепр

² Днепропетровский национальный университет им. О. Гончара. Украина, г. Днепр

ИССЛЕДОВАНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК УГЛЕПЛАСТИКА НА ОСНОВЕ ВЫСОКОПРОЧНОГО УГЛЕРОДНОГО ВОЛОКНА И ЭПОКСИДНОГО СВЯЗУЮЩЕГО

Статья посвящена исследованию реально получаемых физико-механических свойств однонаправленного углепластика изготавливаемого методом «мокрой» намотки для трех видов углеродных волокон. Полученные результаты могут быть использованы для прогнозирования свойств мотанных углепластиковых конструкций на основе рассмотренных волокон.

Ключевые слова: полимерный композиционный материал; углеродное волокно; микропластик; кольцевой образец.

Введение

Развитие техники, особенно ракетно-космической невозможно без применения материалов с высокими физико-механическими и эксплуатационными характеристиками. Важное место среди таких материалов занимают полимерные композиционные углепластики, которые широко используются в различных силовых конструкциях [1]. Примеры таких конструкций из полимерных композиционных материалов (ПКМ) представлены на рисунке 1. Важнейшей особенностью таких материалов является возможность управлять упругопрочностными свойствами конструкций в нужных направлениях в зависимости от характера и величины действующих механических на них нагрузок.

Поэтому, приступая к проектированию конструкции из ПКМ, необходимо понимать условия работы конструкции и иметь достоверные упругопрочностные свойства применяемого углепластика. При проектировании конструкции инженер должен не только оценить ее работоспособность с функциональной точки зрения, но и установить ее запас прочности при расчетном уровне эксплуатационных нагрузок [2].

Композиционный материал (КМ) представляет собой комбинацию двух и более материалов с различными исходными физико-механическими свойствами исходных компонентов, которые могут значительно отличаться друг от друга. При этом реализованные в конструкции из КМ физико-механические характеристики (ФМХ) зависят от целого ряда обстоятельств: технологии изготовления изделия, режима его полимеризации, схемы армирования, способа создания контактного давления формования и другие.

В настоящее время существует несколько десятков различных методик оценки ФМХ композиционного материала в зависимости от его схемы армирования и свойств монослоя (однаправленного) КМ, однако все они применимы для конкретных

условий нагружения конструкции и типа конструкционного материала. При этом можно с уверенностью сказать, что важнейшим условием корректной оценки работоспособности любой конструкции является правильная оценка исходных свойств однонаправленного композиционного материала.

Поэтому одним из важнейших вопросов развития КМ является получение достоверных упругопрочностных свойств на образцах имитирующих реальную технологию изготовления конструкции.

В данной статье рассмотрены вопросы корректного определения предела прочности при растяжения σ_p углепластиков на основе высокопрочных волокон и эпоксидного связующего получаемых методом намотки и с последующей выкладкой в пластину, а также последующего использования полученных характеристик для проектирования изделий из ПКМ.

В статье рассмотрены три основные методики определения прочности однонаправленного углепластика:

- определение прочности и модуля упругости материала на образцах микропластика;
- определение прочности и модуля упругости материала на кольцевых образцах;
- определение прочности и модуля упругости материала на однонаправленных образцах.

Первая, и наиболее простая методика, это оценка свойств материала на образцах жгутового микропластика, представляющих собой единичный жгут линейной плотности 200÷830 текс, пропитанный связующим и отвержденный. Площадь поперечного сечения образцов определяется исходя из линейной плотности жгута по формуле (без учета связующего, ввиду того что предельное удлинение связующего перед разрывом существенно меньше чем углеродного волокна):

$$S = \frac{\lambda}{\rho}, \tag{1}$$

где λ – линейная плотность углеродного волокна, ρ – объемная плотность углеродного волокна [3].



Рис. 1. Конструкции из углепластика используемые в ракетно-космической отрасли

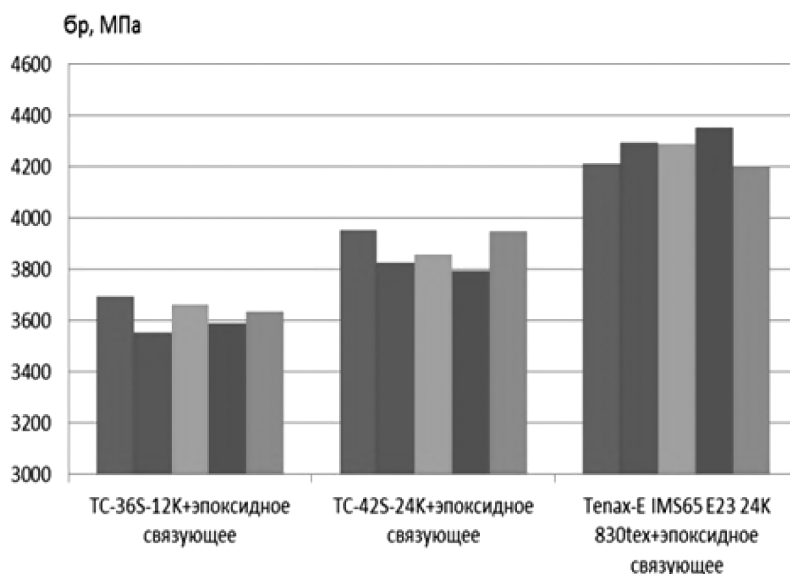


Рис. 2. Результаты испытаний микропластиков

Такая методика испытаний образцов микропластика не требует больших трудозатрат и позволяет получить достаточно корректные значения реализуемой в однонаправленном образце прочности.

Образцы микропластика изготавливают методом «мокрой» намотки на рамку минимальной кривизны. В процессе намотки образцов регламентируется ряд технологических параметров их изготовления – такие как нанос связующего на жгут, натяжение жгута, скорость намотки. После отверждения образцы микропластика срезают с рамки и подвергают разрушению при растяжении.

В настоящей работе рассмотрены результаты испытаний микропластиков:

- на основе углеродного волокна TC-36S-12K (Formosa plastics corporation, Тайвань);
- на основе углеродного волокна TC-42S-24K (Formosa plastics corporation, Тайвань);
- на основе углеродного волокна Tenax-E IMS65 E23 24K 830tex (TEIJIN Limited, Германия).

Для каждого типа углеродного волокна было изготовлено и испытано более 500 образцов микропластика.

Измерения производились по показаниям датчика силоизмерителя модернизированной машины TiraTest-2300. Результаты испытаний микропластиков приведены на рисунке 2.

Методика испытаний кольцевых образцов также характеризуется достаточной простотой и реальными результатами. Кольцевые образцы изготавливают методом намотки на цилиндрическую разборную оправку (рис. 3). В процессе намотки регламентируется нанос связующего, натяжение, скорость. После отверждения оправку разбирают и извлекают заготовки кольцевых образцов. После проведения механической обработки кольцевые

образцы испытывают на растяжение. Нагружение кольцевых образцов осуществляют жесткими полудисками [4, 5].

В данной работе рассмотрены результаты испытаний кольцевых образцов на основе:

- углеродного волокна TC-36S-12K (Formosa plastics corporation, Тайвань);
- углеродного волокна TC-42S-24K (Formosa plastics corporation, Тайвань);
- углеродного волокна Tenax-E IMS65 E23 24K 830tex (TEIJIN Limited, Германия).

Для каждого типа углеродного волокна было изготовлено и испытано более 500 образцов.

Измерения производились по показаниям испытательной машины P-20. Результаты испытаний кольцевых образцов приведены на рисунке 4.

На основании изложенных в работе методик по определению предела прочности на растяжение, а также соответствующих методик по определению иных упруго-прочностных свойств на однонаправленных образцах (будут подробно рассмотрены в последующих работах) был получен комплекс ФМХ монослоя углепластика на основе углеродного волокна TC-36S-12K, представленный в таблице 1.

Методика испытаний однонаправленных углепластиков получаемых выкладкой в пластины требует несколько больших трудозатрат в сравнении с вышеприведенными методиками, однако позволяет определить более широкий спектр характеристик (предел прочности на растяжение, сжатие, изгиб). Однонаправленные образцы получают из пластин изготовленных выкладкой. На цилиндрическую оправку производится намотка препрега из углеродного волокна, пропитанного эпоксидным связующим. Препрег разрезается на заготовки и вы-

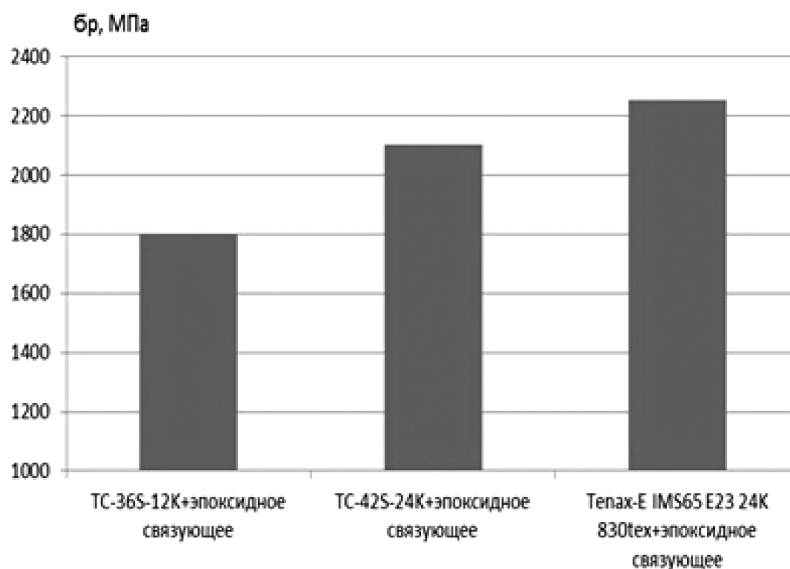


Рис. 3. Нагружение кольцевых образцов при испытаниях на растяжение жесткими полудисками

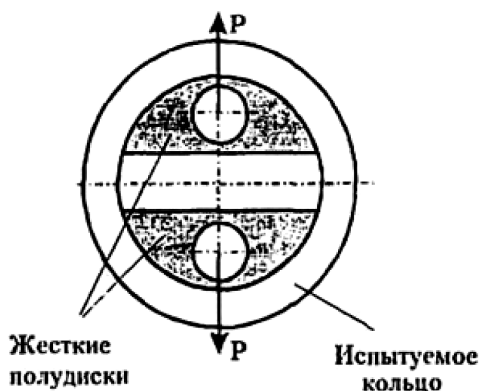


Рис. 4. Результаты испытаний кольцевых образцов

кладывается в заготовку пластины. После отверждения пластины производится механическая обработка и разрезка на образцы.

В настоящей работе рассмотрены результаты испытаний однонаправленных образцов:

- на основе углеродного волокна TC-36S-12K (Formosa plastics corporation, Тайвань);
- на основе углеродного волокна TC-42S-24K (Formosa plastics corporation, Тайвань);
- на основе углеродного волокна Tenax-E IMS65 E23 24K 830tex (TEIJIN Limited, Германия).

Для каждого типа углеродного волокна было изготовлено и испытано более 50 однонаправленных образцов.

Измерения производились по показаниям датчика силоизмерителя модернизированной машины

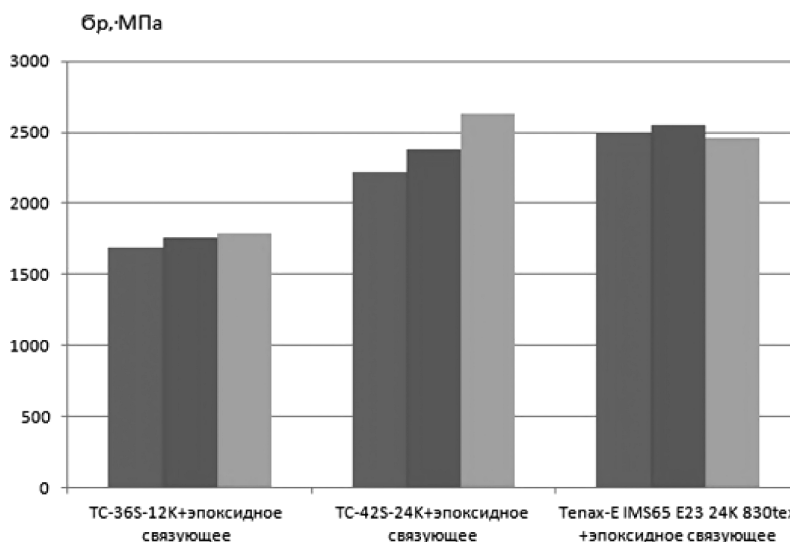


Рис. 5. Результаты испытаний однонаправленных образцов на растяжение

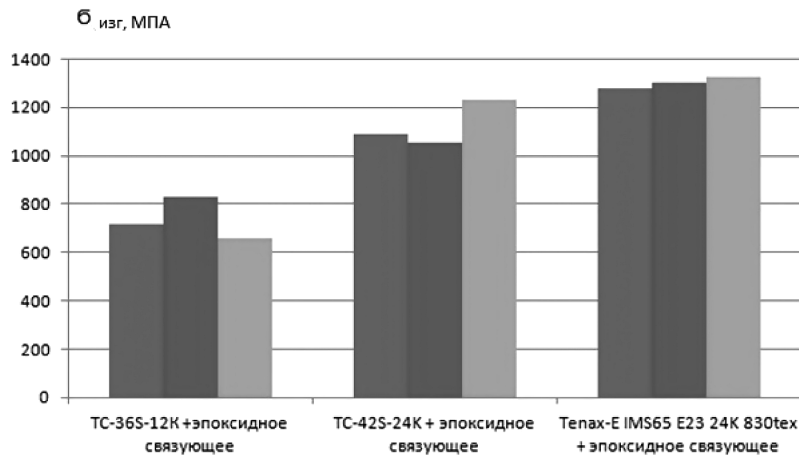


Рис. 6. Результаты испытаний однонаправленных образцов на изгиб



Рис. 7. Общий вид желобов

TiraTest-2300. Результаты испытаний однонаправленных образцов на растяжение и изгиб приведены на рисунках 5, 6.

На основании полученных физико-механических свойств однонаправленного материала и действующих на изделие полетных нагрузок, с использованием критерия максимальных напряжений были спроектированы тонкостенные желоба бортовой кабельной сети и термостатирования для ракетносителя среднего класса.

Выводы

Предложена корректная методика определения предела прочности на растяжение углепластиков на однонаправленных образцах.

Данная методика, опробованная при проектировании и изготовлении тонкостенных желобов кабельной сети.

Проведенные испытания образцов-свидетелей, вырезанных из технологических припусков натуральных изделий, показали хорошую сходимость характеристик однонаправленных образцов, использованных при проектировании изделий со свойства-

ми образцов-свидетелей, изготовленных из штатных желобов.

Литература

- [1] Джур Є. О. Полімерні композиційні матеріали в ракетно-космічній техніці: Підручник/ Є. О. Джур, Л. Д. Кучма, Т. А. Манько та ін. – К.: Вища освіта, 2003. – 399 с.
- [2] Карпов Я. С. Проектирование деталей и агрегатов из композитов: учебник / Я. С. Карпов. –Х.: Нац. Аэрокосм. Ун-т «Харьк. Авиаци. Ун-т», 2010. – 768 с.
- [3] Фитцер Э. Углеродные волокна и углекомпози́ты: перевод с английского/ Э. Фитцер, Р. Дифендорф, И. Калнин, Х. Ягер и др. – М.: Мир, 1988. – 336 с.
- [4] Батаев А. А. Композиционные материалы: строение, получение, применение: Учебник / А. А. Батаев, В. А. Батаев. – Новосибирск. Изд-во НГТУ, 2002. – 384 с.
- [5] Справочник по композиционным материалам: В 2-х кн. Кн. 2/ Под ред. Дж. Любина; Пер. с англ. А. Б. Геллера и др.; Под ред. Б. Э. Геллера – М.: Машиностроение, 1988. – 584 с.

Shylna K. V.¹, Shylin S. A.¹, Khlaponina L. S.¹, Sanin A. F.²

¹ Yuzhnoye State-owned Design Office named after M. K. Yangel. Ukraine, Dnepr

² Oles Honchar Dnipro National University. Ukraine, Dnepr

INVESTIGATION OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF CFRP BASED HIGH-CARBON FIBER AND EPOXY BINDER

Analysis of the actually received physical and mechanical properties of unidirectional carbon fiber manufactured by the “wet” winding method for the three types of carbon fibers is presented in this article. The obtained results may be used to predict the properties of carbon fiber winding structures on the basis of the considered fibers.

Keywords: polymer composite material; carbon fiber; microplastic; circular pattern.

References

- [1] Jur E. Polymeric composites in aerospace engineering: Textbook / E. Jur, L. Kuchma, T. Manko and others. – K.: Higher Education, 2003. – 399 p.
- [2] Karpov Y. Design of parts and assemblies made of composite materials: the textbook / Y. Karpov. – H.: Nat. Aerokosm. Un-t “Kharkiv. Aviation. Un-t”, 2010. – 768 p.
- [3] Pfitzer E. Carbon fiber and uglekompozity: English / E. Pfitzer, Difendorf R., J. Kalnin, H. Jager et al – M.: Mir, 1988. – 336 p.
- [4] Bataev A. Composite material: structure, obtaining, application: Textbook / A. Bataev, V. Bataev. – Novosibirsk. Publishing House of Novosibirsk State Technical University, 2002. – 384 p.
- [5] Guide to Composite Materials: In 2 kn. Bk. 2 / Ed. . J. Lubin; Trans. from English. A. Geller et al.; Ed. B. Geller – M.: Engineering, 1988. – 584 p.