

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ УГЛЕВОЛОКОН МАРКИ УКН-5000
ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ ЧЕРЕЗ НИТЕТРАКТ НАМОТОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ
И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИХ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ**

Изучено поведение волокнистых наполнителей в процессе изготовления изделий на примере углеродного волокна марки УКН-5000 в состоянии поставки и после нанопрофилирования. Исследовано качество его поверхности, микроструктура, а также взаимосвязь структуры и механических свойств. Показано, что модификация наночастицами деаппретированного углеволокна оказывает влияние на состояние его поверхности, а, следовательно, и на прочностные свойства углепластика. [dx.doi.org/10.29010/082.3]

Ключевые слова: углеродное волокно; композит; микроструктура; наночастицы; разрушающее напряжение; микропластик.

Введение

Углепластики широко применяются в ракетно-космическом производстве при изготовлении различных силовых элементов, термостойких панелей, уплотнителей и многих других деталей, от которых требуется сочетание высокой прочности, легкости, термостойкости и долговечности.

Механические свойства углепластиков в значительной степени зависят от характеристик применяемых волокнистых наполнителей: качества их поверхности и микроструктуры. Свойства углеродных волокон (УВ), в свою очередь, зависят от особенностей их структуры, типов и количества дефектов. В высокомодульных волокнах преобладающее влияние на прочность оказывают внутренние дефекты, тогда как в высокопрочных УВ наибольшее влияние на механические свойства оказывают внешние дефекты [1, 2].

В настоящее время накоплен большой объем информации о свойствах углепластиков на основе различных УВ, их поведении при различных типах нагружения и надежности при воздействии различных эксплуатационных факторов [3–5]. Однако, в литературе очень ограниченно приводятся данные о поведении УВ во время процесса изготовления изделий, а это является одной из важных и актуальных задач, влияющих на механические свойства углекомпозитов.

Постановка задачи

Целью данной работы является изучение поведения УВ марки УКН-5000 аппретированного (в состоянии поставки) и деаппретированного нано-

профилированного при прохождении через нитетракт намоточного оборудования и исследование взаимосвязи структуры и механических свойств углеволокна.

Основная часть

Углеродный жгут марки УКН-5000 в состоянии поставки представляет собой крученную нить, состоящую из 5000 монофиламентов, каждое из которых захлестывается и поджимается соседними. Поверхность волокна покрыта замасливателем, выполняющим роль аппрета. Заводским аппретом углениги УКН-5000 является поливиниловый спирт.

Как известно, аппретирование улучшает смачивание волокна связующим в результате его гидрофобизации. Это не только повышает гидролитическую устойчивость адгезионной связи, но и увеличивает адгезию. Таким образом, роль аппретировочного вещества сводится не только к образованию химической связи связующего с наполнителем, но и к улучшению физического взаимодействия компонентов, что также оказывает влияние на адгезию (в этом важную роль играют водородные связи между поверхностью частиц наполнителя и функциональными группами связующего). Кроме того, на поверхности углеродного волокна могут формироваться функциональные группы (-COOH; -OH; -CON и др.), способные образовывать химические связи с полимерным связующим [6].

Ряд литературных данных показывает, что снятие аппрета (деаппретирование) приводит к распушиванию, охрупчиванию и последующему разру-

шению УВ по его длине [6–7]. Появление таким образом на поверхности углеволокон дополнительных дефектов значительно затрудняет его использование в процессе изготовления углепластиков, негативно сказываясь на адгезионной прочности системы «волокно—связующее», а, следовательно, и на снижении прочностных характеристик.

Одним из способов поверхностной модификации углеволокон является введение наночастиц [8]. В качестве наночастиц для нанопрофилирования УВ были использованы наночастицы графена. Перед нанопрофилированием углеродная нить УКН-5000 была подвергнута деаппретированию термическим способом (протягиванием через нагретую зону трубчатой печи в течении определенного времени перед поступлением в ванну с водным раствором графенов). Непременной операцией нанопрофилирования после прохождения нитью пропиточной ванны является отжиг нанесенных покрытий при температуре не менее 250 °С в течении 5 мин.

Экспериментальная часть

В работе проведена серия экспериментов, позволяющая провести анализ поведения УВ аппретированного (в состоянии поставки), по сравнению с деаппретированным нанопрофилированным волокном.

Исходный и нанопрофилированный углеродные жгуты в сухом состоянии (не пропитанные связующим) по отдельности пропускали через нитетракт намоточного станка MAW 20FB5/1 без натяжения.

Снимки поведения углежгутов при прохождении через прижимное устройство, направляющие ролики, гребенку и нитераскладчик приведены на рис. 1.

В ходе проведения экспериментов уже в процессе перемотки на расходные шпули намоточного оборудования исходное УВ ломалось, «пушилось», истончалось. Еще больше волокно травмировалось при скручивании, перегибах, прохождении через нитетракт и различные устройства намоточного станка. Как видно из рис. 1 для исходного аппретированного волокна наблюдались следующие дефекты: разрушение отдельных филаментов в углежгуте, сильное распушивание, многочисленные изломы, петли, крошение, однако в целом обрыва жгута не происходило. В тоже время нанопрофилированная нить УКН-5000 при прохождении через узлы намоточного станка имела более гладкую поверхность волокон и незначительное разрушение элементарных волокон. При этом углениль (пучок волокон) имела вид более широкого плоского жгута. Однако при прохождении через гребенку и нитераскладчик наблюдалось счесывание (отделение пучков волокон), происходило вытягивание, утонение нити и увеличение вероятности ее обрыва.

Микроструктурные исследования поверхности образцов исходных и нанопрофилированных углежгутов марки УКН-5000 УВ, проведенные с помощью настольного сканирующего электронного микроскопа Phenom Pro, приведены на рисунке 2.

Микроструктура исходной нити УКН-5000 (рис. 2) свидетельствует о наличии дефектов на волокнах, главным образом, отслоении аппрета, неравномерные его разрывы, единичные волокна, не совпадающие по направлению с другими. В тоже время нанопрофилированные моноволокна отличаются от исходных гладкостью поверхности, большей упорядоченностью расположения в нити и отсутствием значительных видимых дефектов.

Оценивая влияние качества УВ на механические свойства углекомполитов были проведены испытания на растяжение образцов микропластиков, представляющих собой углежгуты, пропитанные трехкомпонентным эпоксидным связующим Huntsman. Связующее при таком виде испытаний обеспечивает одновременную работу волокон в жгуте при воздействии нагрузки. Кроме того, прочность углежгута зависит не только от прочности самих моноволокон, составляющих углежгут, но и от их взаимного сцепления, которое определяется силами трения, действующими между волокнами. Результаты испытаний микропластиков приведены в таблице 1. Пропитка углеволокна проводилась по нестандартной схеме (при отсутствии прижимных роликов) во избежание дополнительного разрушения волокна во время отжима избытка связующего.

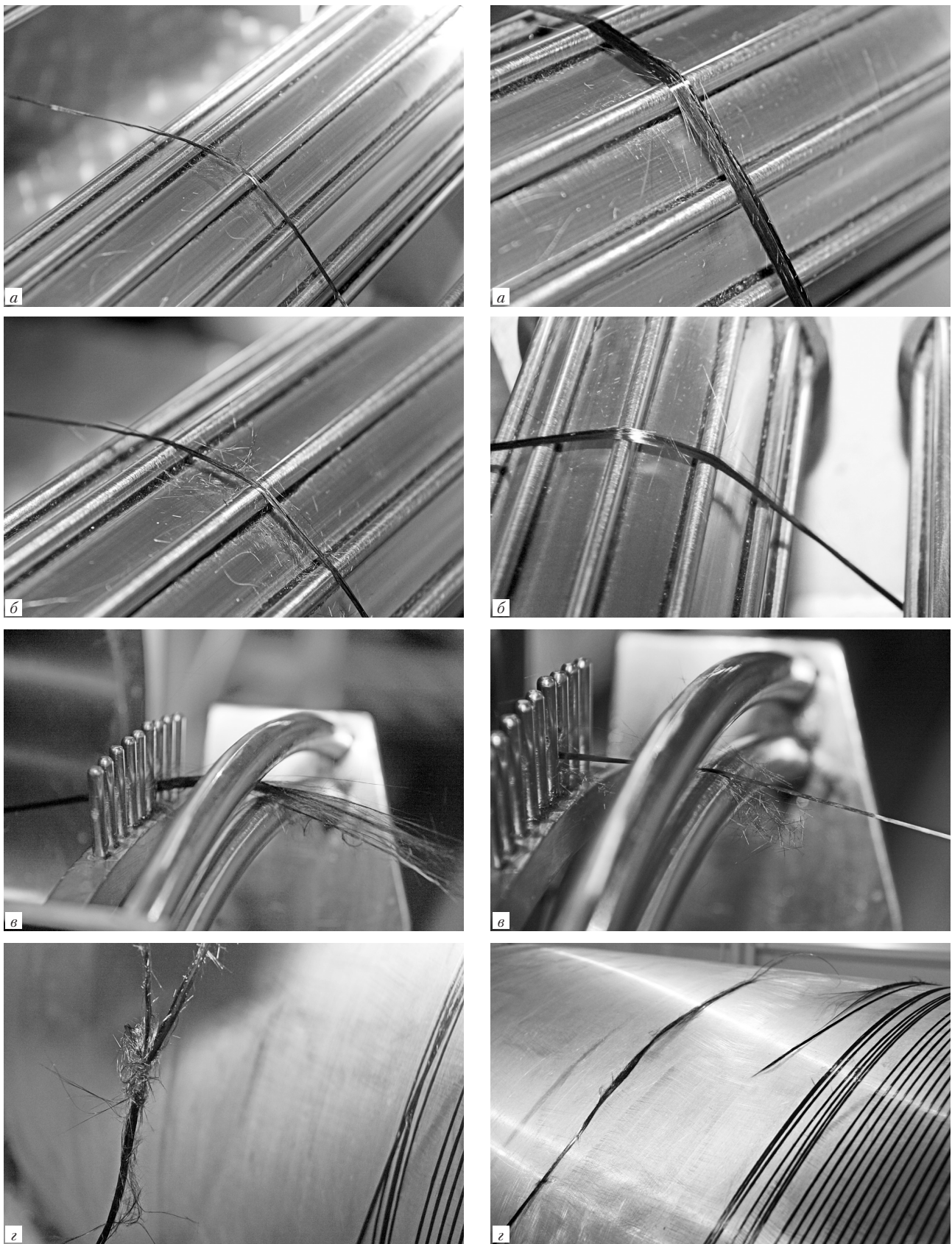
Анализ данных таблицы 1 показал, что при испытаниях жгутов, пропитанных связующим, для нанопрофилированного УВ марки УКН-5000, прочность в микропластике выше на 2%, чем у исходного, что подтверждает влияние графенового покрытия на смачиваемость компонентами эпоксидного связующего Huntsman благодаря наличию свободных химических связей. Увеличение наноса связующего при этом достигает 53%.

Анализ данных таблицы 1 показал, что при испытаниях жгутов, пропитанных связующим, для нанопрофилированного УВ марки УКН-5000, прочность в микропластике выше на 2%, чем у исходного, что подтверждает влияние графенового покрытия на смачиваемость компонентами эпоксидного связующего Huntsman благодаря наличию свободных химических связей. Увеличение наноса связующего при этом достигает 53%.

Таблица 1

Результаты определения разрушающего напряжения на растяжение микропластиков

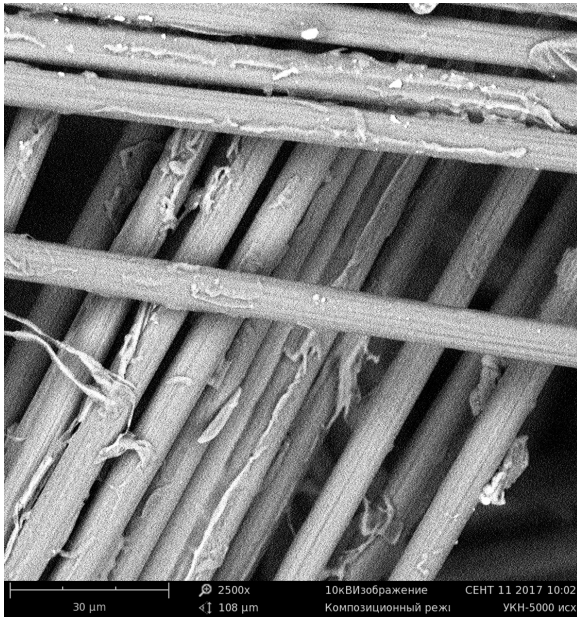
Плотность линейная, текс	Плотность объемная, г/см ³	Разрушающее напряжение при растяжении, МПа	
		УКН-5000 (исходное) + Huntsman (32%)	УКН-5000 (нанопроф.) + Huntsman (53%)
410	1,75	2280,41	2322,93



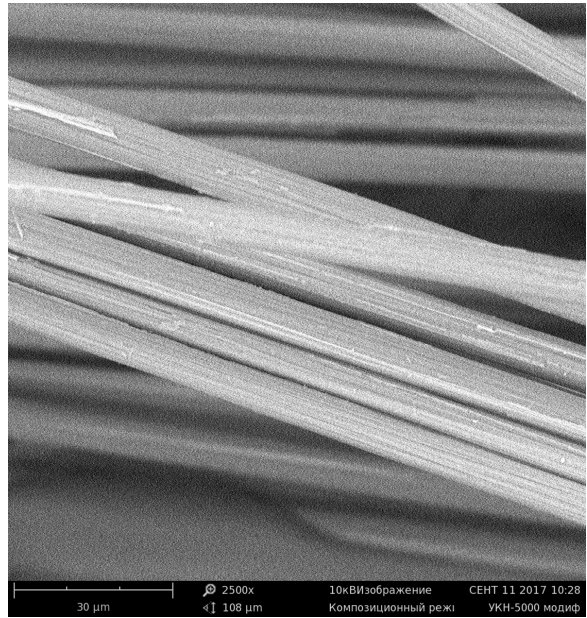
A

B

Рис. 1. Поведение сухого углеволокна марки UKH-5000 при прохождении через нитетракт намоточного станка MAW 20FB5/1 (без натяжения): *A* – исходное апреитированное; *B* – деапреитированное, нанопрофилированное



а)



б)

Рис. 2. Снимки микроструктуры образцов исходных и нанопрофилированных углеволокон марки УКН-5000 в жгуте:
а – исходное с ашпретом; б – нанопрофилированное, деашпретированное

Микроструктура образцов микропластиков на основе исходной и нанопрофилированной углениги УКН-5000 (рис. 3) показывает, что для двух видов микропластика наблюдается неравномерное по объему содержание матрицы, при этом участки чистого полимера, неармированного волокнами, более заметны для микропластиков с нанопрофилированным волокном. Матрица в непрерывно-армированных пластиках служит для передачи и перерас-

пределения нагрузки волокнам. Ввиду начального неравномерного распределения волокон и матрицы в объеме микропластика наблюдается продольное расслоение с распространением трещин вдоль волокон. Это связано с неравномерностью распространения напряжений по объему волокнистого композита. Вместе с тем как видно на фотографиях изломов, в пакетах волокон, скрепленных достаточным количеством матрицы, волокна хорошо удерживаются



а)



б)

Рис. 3. Снимки микроструктуры образцов микропластиков на основе исходной и нанопрофилированной углениги УКН-5000:
а – исходное ашпретированное волокно + Huntsman; б – нанопрофилированное, деашпретированное волокно + Huntsman

матрицей, и некоторые волокна отделены от матрицы или выдернуты из нее. Поверхность выдернутых нанопрофилированных волокон является гладкой со следами прилипшего связующего, что свидетельствует о наличии адгезии между углеродными нанопрофилированными волокнами и эпоксидной матрицей. Также для углепластиков из нанопрофилированного волокна заметно когезионное разрушение пучков волокон, скрепленных матрицей в объеме полимерного композита, где снижено влияние поверхности раздела фаз волокно-матрица. Это также может свидетельствовать об улучшении адгезии на поверхности волокно-матрица.

Выводы

Проведенный анализ позволил выявить дефекты, которые вызывают трудности при работе с исследуемым углеволокном марки УКН-5000. Экспериментально подтверждено, что армирующие волокна в значительной степени склонны к травмированию в процессе изготовления изделий. Установлено, что удаление аппрета с поверхности УВ и последующая его модификация наночастицами способна оказывать влияние на состояние его поверхности, а следовательно, и на прочностные свойства углепластика. Однако, во избежание дополнительного негативного фактора, влияющего на технологический процесс изготовления углекомпозиатов, а также с целью получения УВ с высоким качеством нанопрофилированной поверхности, необходимо проводить дальнейшую отработку режимов обработки УВ.

Работа выполнена на основании соглашения № 604248 о предоставлении гранта между ГП «КБ «Южное» и National Technical University of Athens (Греция), 7-я рамочная программа, шифр «Fibralspec».

Литература

- [1] Александров И.А., Муранов А.Н., Малышева Г.В. Изучение влияния деформационных свойств связующих на процессы разрушения углепластиков // Все материалы. Энциклопедический справочник. — 2012, № 7. — С. 40—45.
- [2] Техническая справка № 927-7-7231 «Результаты исследования свойств композитов (углепластиков), полученных на линии ГП КБ «Южное» по теме «Fibralspec». — 2017. — С. 16.
- [3] Баженов С.Л., Берлин А.А., Кульков А.А., Ошмян В.Г. Полимерные композиционные материалы: — Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2010. — 352 с.
- [4] Александров И.А., Малышева Г.В., Нелюб В.А. и др. Исследование поверхностей разрушения углепластиков, изготовленных по расплавной и растворной технологиям // Все материалы. Энциклопедический справочник. — 2012, № 3. — С. 7—12.
- [5] Мелешко А.И., Половников С.П. Углерод, углеродные волокна, углеродные композиты. — М.: «САЙНС-ПРЕСС», 2007. — 192 с.
- [6] Энциклопедия по машиностроению XXL «Оборудование, материаловедение, механика, Тома 3, 4, 7, 8 // <http://mash-xxl.info>.
- [7] А.Р. Гарифуллин. Современное состояние проблемы поверхностной обработки углеродных волокон для последующего их применения в полимерных композитах в качестве армирующего элемента / А.Р. Гарифуллин, И.Ш. Абдуллин // Вестник Казанского технологического университета. — 2014. — №7. — С. 80—85.
- [8] Гуняев Г.М. Технология и эффективность модифицирования углепластиков углеродными наночастицами / Гуняев Г.М., Ильченко С.И., Комарова О.А., Деев И.С., Алексахкин В.М. // Конструкции из композиционных материалов. — 2004, №4. — С. 77—79.

Prontsevych O. O., Husarova I. O., Potapov O. M.

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

INVESTIGATION OF BEHAVIOR OF CARBON FIBER UKH-5000 AT THE PASSWORD THROUGH NITHERAPT ENGINE EQUIPMENT AND DEFINITION THEIR STRENGTH PROPERTIES

The behavior of fibrous fillers in the process of manufacturing articles was studied using the example of carbon fiber of UKN-5000 brand in the state of delivery and after nanoprofilng. The quality of its surface, microstructure, as well as the interrelation of structure and mechanical properties are studied. It is shown that modification of nanoparticles of de-impregnated carbon fiber affects the state of its surface, and, consequently, on the strength properties of carbon plastic. [dx.doi.org/10.29010/082.3]

Keywords: carbon fiber; composite; microstructure; nanoparticles; tensile strength; microplastic.

References

- [1] Aleksandrov I.A, Muranov A.N., Malysheva G.V. Study of the influence of deformation properties of binders on the processes of destruction of carbon plastics // All materials. Encyclopedic reference book. – 2012, No.7. – P. 40–45.
- [2] Technical Reference No.927-7-7231 "Results of the study of the properties of composites (carbon plastics) obtained on the line of the Yuzhnoye SDO under the theme" Fibralspec ". – 2017. – P. 16.
- [3] Bazhenov S.L., Berlin A.A., Kulkov A.A., Oshmyanyan V.G. Polymer composite materials: – Dolgoprudny: Publishing House "Intellect", 2010. – 352 p.
- [4] Alexandrov IA, Malysheva GV, Nelyub VA et al. Investigation of fracture surfaces of carbon plastics produced by melt and solution technologies // All materials. Encyclopedic reference book. – 2012, No.3. – P. 7–12.
- [5] A.I. Meleshko, S.P. Polovnikov. Carbon, carbon fibers, carbon composites. – Moscow: "SAINS-PRESS", 2007. – 192 with.
- [6] Encyclopedia of Mechanical Engineering XXL "Equipment, Materials Science, Mechanics, T. 3, 4, 7, 8 // <http://mash-xxl.info>.
- [7] A.R. Garifullin. The current state of the problem of surface treatment of carbon fibers for their subsequent use in polymer composites as a reinforcing element / A.R. Garifullin, I.Sh. Abdullin // Bulletin of the Kazan Technological University. – 2014. – № 7. – P. 80–85.
- [8] G.M. Gunyaev. Technology and efficiency of carbon plastics modification by carbon nanoparticles / Gunyaev G.M., Ilchenko S.I., Komarova O.A., Deev I.S., Aleksashkin V.M. // Constructions from composite materials. – 2004, №4. – P. 77–79.