

3. Kryzhevich D.S., Zolnikov K.P., Korchuganov A.V. Atomic rearrangements at migration of symmetric tilt grain boundaries in vanadium // *Comput. Mater. Sci.* – 2018. – V. 153. – P. 445–448.
4. Li Q., Wang L., Teng J. et.al. In-situ observation of cooperative grain boundary sliding and migration in the nano-twinned nanocrystalline-Au thin-films // *Scr. Mater.* – 2020. – V. 180. – P. 97–102.
5. Ovid'ko I.A. Review on the fracture processes in nanocrystalline materials // *J. Mater. Sci.* – 2007. – V. 42. – I. 5. – P. 1694–1708.
6. Zhu Y.T., Liao X.Z., Wu X.L. Deformation twinning in nanocrystalline materials // *Prog. Mater. Sci.* – 2012. – V. 57. – I. 1. – P. 1-62.
7. Dmitriev A.I., Nikonov A.Yu., Shugurov A.R., Panin A.V. Numerical study of atomic scale deformation mechanisms of Ti grains with different crystallographic orientation subjected to scratch testing // *Appl. Surf. Sci.* – 2019. – V. 471. – P. 318–327.
8. Plimpton S. Fast parallel algorithms for short-range molecular dynamics // *J. Comput. Phys.* – 1995. – V. 117. – P. 1.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СЛОИСТЫХ УГЛЕКОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИЭФИРЭФИРКЕТОНА И ПОЛИИМИДА

Д.В. КОСМАЧЕВ, В.О. АЛЕКСЕНКО, С.В. ПАНИН

Институт физики прочности и материаловедения СО РАН,

E-mail: kosmachev@ispms.ru

Исследования в области создания конструкционных композитов на полимерной основе относятся к числу критических технологий федерального уровня Российской Федерации. Эти исследования поддерживаются и быстро развиваются в передовых странах мира, а соответствующие разработки находят быстрое и широкое использование в технических приложениях. Данная тематика наиболее актуальна для аэрокосмической отрасли, требующей высоких значений удельной прочности (отношение прочности материала к его плотности) применяемых материалов. В настоящее время активно проводятся исследования по армированию термопластичных полимеров непрерывными волокнистыми наполнителями, что приводит к значительному повышению механических характеристик материалов [1-2].

Целью работы являлось исследование механических характеристик образцов полимерных композитов на основе полиэфирэфиркетона (ПЭЭК) и полиимида (ПИ), армированных волокнистым наполнителем (непрерывные волокна углерода) при его различных схемах укладки.

В качестве матриц в работе использовались порошок ПЭЭК фирмы Victrex (PEEK 450 PF, Великобритания), размер частиц 50 мкм, и порошок ПИ фирмы Solver (PI-Powder 1600, КНР) размер частиц 16 мкм. В качестве армирующего наполнителя использовалась однонаправленная углеродная ткань (лента) FibArm 12K-300-230 фирмы UMATEX (поверхностная плотность 230 г/м² и прочность на растяжение более 4,9 ГПа.), а также биаксиальная углеродная ткань 0/90-50K-1270-106 (поверхностная плотность 106 г/м²) от АО «ХК «КОМПОЗИТ». При изготовлении композитов, армированных непрерывными волокнами использовали различные схемы выкладки: [0°/0°], [90°/90°], [0°/90°], слои биаксиальной ткани (плетеной). Композиты получали методом горячего прессования на гидравлическом прессе GT-7014-A (GOTECH Testing Machines Inc., Тайвань), при давлении 10 МПа и температуре 400 °С со скоростью охлаждения 2 °С/мин.

Механические характеристики композитов определяли при испытаниях на трехточечный изгиб образцов в соответствии со стандартом ASTM D790-10 (ГОСТ Р 56810-

2015). Нагружение проводили с использованием испытательной машины Instron 5582 (Instron, США).

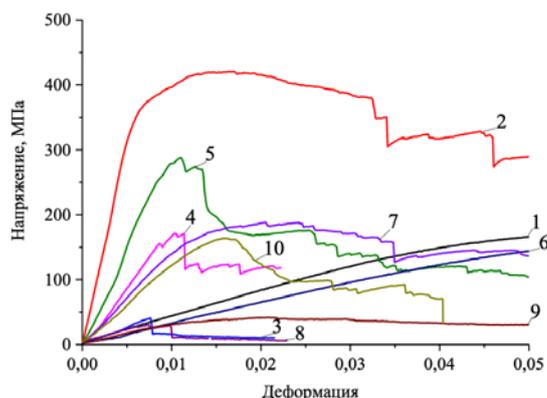


Рисунок 1 – Зависимость изгибающего напряжения от относительной деформации изгиба: 1) ПЭЭК, 2) ПЭЭК/УВ [0°/0°]; 3) ПЭЭК/УВ [90°/90°]; 4) ПЭЭК/УВ [0°/90°]; 5) ПЭЭК/УВ [плетен.] ; 6) ПИ; 7) ПИ/УВ [0°/0°]; 8) ПИ/УВ [90°/90°]; 9) ПИ/УВ [0°/90°] ; 10) ПИ/УВ [плетен.]

На рисунке 1 представлены кривые зависимости изгибающего напряжения от относительной деформации изгиба. Ненаполненные ПЭЭК и ПИ имеют сопоставимые механические свойства (кривые 1, 6). При нагружении вдоль волокна (3, 8), а также при перекрестной укладке армирующих слоев (4, 9) механические свойства резко снижаются. Композиты, армированные плетеной углеродной тканью (5, 10), обладают механическими свойствами на 15-20 % ниже, чем при однонаправленном армировании. При однонаправленном армировании, в случае нагружения поперек волокна, композиты имеют наиболее высокие механические свойства при значительной деформации. Композит ПЭЭК/УВ [0°/0°] (2) обладает модулем упругости при поперечном изгибе 61,7 ГПа. Композит ПИ/УВ [0°/0°] (7) –и 15,6 ГПа.

Для аналитики разрушенных образцов использовали оптический микроскоп Neophot 2 (Carl Zeiss, Германия). На рисунке 2 представлены фотографии разрушенных образцов после испытания на изгиб. Фотографии образцов ненаполненных ПЭЭК и ПИ не приводятся по причине отсутствия трещин (разрушения не происходит).

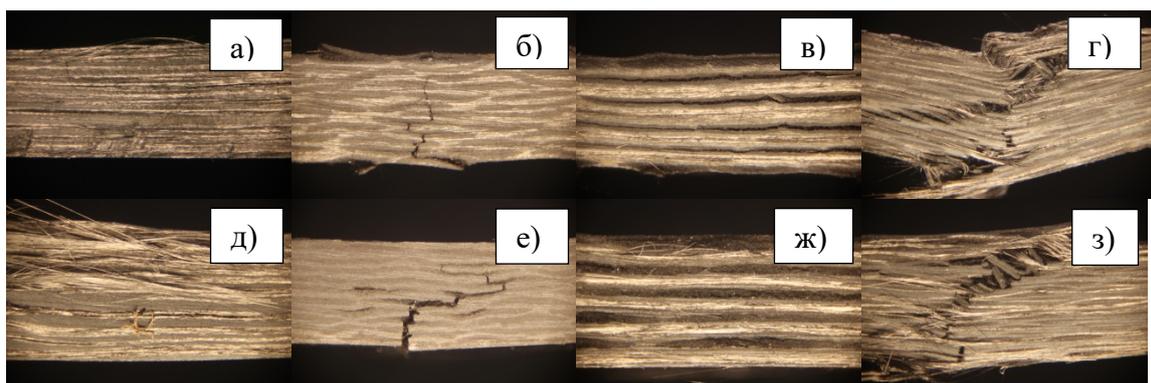


Рисунок 2 – Фотографии разрушенных образцов: а) ПЭЭК/УВ [0°/0°]; б) ПЭЭК/УВ [90°/90°]; в) ПЭЭК/УВ [0°/90°]; г) ПЭЭК/УВ [плетен.] ; д) ПИ/УВ [0°/0°]; е) ПИ/УВ [90°/90°]; ж) ПИ/УВ [0°/90°] ; з) ПИ/УВ [плетен.]

Установлено, что в случае изготовления образцов по схеме выкладки [0°/0°] трещинообразование проходит наименее выражено. Присутствуют продольные

расслоения и начальные трещины на 1/5 толщины образца. Сквозное прямое трещинообразование происходит при выкладке [90°/90°]. Выраженное расслоение «через слой» происходит при схеме [0°/90°]. При схеме [плетен.] наблюдаются растягивающие, сдвигающие и сжимающие составляющие трещинообразования.

На основании полученных результатов можно сделать вывод, что полимерная матрица на основе используемого порошка ПИ малоприспособна для изготовления слоистых композиционных материалов по причине низких (в сравнении с композитами на основе ПЭЭК) механических свойств. Вероятной причиной этой разницы может являться низкая текучесть расплава ПИ.

Благодарности. Работа выполнена в рамках государственного задания ИФПМ СО РАН, проект III.23.1.3., и при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-38-60064\19.

Список литературы

1. Hassan A.M., Ge D., Yang L., et al. Highly boosting the interlaminar shear strength of CF/PEEK composites via introduction of PEKK onto activated CF // Composites Part A: Applied Science and Manufacturing. – 2018. – Vol. 112. – P. 155–160.
2. Wang X., Huang Zh., Lai M., et al. Highly enhancing the interfacial strength of CF/PEEK composites by introducing PAIK onto diazonium functionalized carbon fibers // Applied Surface Science. – 2020. – Vol. 510. – P. 145400.

РАЗРАБОТКА МЕТОДИЧЕСКИХ ПОДХОДОВ К НЕРАЗРУШАЮЩЕМУ КОНТРОЛЮ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ СТАЛЬНЫХ ОРЕБРЁННЫХ ПАНЕЛЕЙ МЕТОДОМ АКТИВНОЙ ТЕРМОГРАФИИ

И.О. КОТОВЩИКОВ^{1,2}, Ю.О. ЯКОВЛЕВ^{3,4}, В.Е. ПРОХОРОВИЧ¹

¹ Университет ИТМО

² Общество с ограниченной ответственностью «Локус»

³ Научно-технический центр «Эталон»

⁴ Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова
E-mail: Kotovshchikov.ilya@mail.ru

Актуальность задачи разработки методических подходов и методики неразрушающего контроля (НК) обусловлена особенностями технологии производства оребренных панелей и изделий из них, описанными в данной работе.[1] Исследуемые оребренные панели используются для изготовления систем с разделением воздушных и жидкостных потоков (рекуператоров), из чего следуют следующие основные выводы:

- 1) Особенности эксплуатации объекта контроля (ОК) не допускают наличие сквозных дефектов.
- 2) В процессе эксплуатации, рёбра оребренных панелей подвержены неоднородной тангенциальной нагрузке.
- 3) Нагрузка на ребро оребренной панели может привести к излому таврового сварного соединения и сокращению срока службы изделия.

На сегодняшний день, контроль качества сварных соединений оребренных панелей проводится методом капиллярного контроля (проникающими веществами), и только после окончания изготовления теплообменного изделия. С помощью данного метода надёжно выявляются выходящие на поверхность сквозные дефекты с характеристическим размером от 0,1 мм, возникшие при ручной сварке. Данный метод обладает такими недостатками, как низкая производительность контроля, необходимость работы с токсичными веществами, невозможность выявления внутренних дефектов.