

нок 1а). Распределение потенциала практически однородно по всей измеряемой площади с разбросом значений в диапазоне ± 5 мВ. При этом потенциальный рельеф имеет несколько локальных экстремумов, характеризующих совокупность дефектов в объеме и поверхности образца. При этом наибольший максимум -42 мВ наблюдается у края образца.

Увеличение соотношения массы наполнителя к полимерной матрице приводит к изменению полярности и увеличению среднего значения электростатического потенциала (рисунок 1б, в). Распределение потенциалов менее однородно. Величина экстремумов также возрастает, что характерно для случая скопления дефектов.

На рисунке 2а–в приведены результаты картирования распределения поверхностной фотоЭДС образцов 1–3, соответственно. Поверхностную фотоЭДС определяли, как разность значений КРП до и после оптического зондирования.

Из визуализированных карт видно, что для всей группы образцов характер распределения поверхностной фотоЭДС близок к распределению электростатического потенциала. Так, наиболее однородное распределение имеет образец 1 (рисунок 2а), при этом наблюдается уменьшение фотоЭДС к краю образца, когда значение электропотенциала (рисунок 1а) возрастает. Для образца 2 (рисунок 2б) характерна обратная зависимость: в одной из областей, где значение электропотенциала было минимальным (рисунок 1б), фотоЭДС ступенчато возрастает.

Другим наблюдаемым эффектом является то, что некоторые области с локальными экстремумами электропотенциала и фотоЭДС (рисунки 1 и 2) дублируются, например, значения фотоЭДС 34 мВ (рисунок 2в) и электропотенциала 178 мВ

(рисунок 1в) образца 3. Однако, в случае второго пика, площадь распределения поверхностной фото-ЭДС с максимумом 12 мВ значительно меньше площади распределения электропотенциала с максимумом 160 мВ.

Выводы. Анализ результатов исследования показал, что относительные значения и однородность распределения электростатического потенциала и поверхностной фотоЭДС зависят от компонентного состава и концентрации наполнителя измеряемых образцов. Увеличение значений поверхностной фотоЭДС в отдельных областях свидетельствует о большой плотности заполнения поверхностных состояний, связанными, по всей видимости, с дефектами, объема поверхностного слоя, участвующего в оптическом зондировании. Поэтому использование дополнительного оптического воздействия позволяет не только определять и визуализировать распределение поверхностной фото-ЭДС, но и разделять неоднородности свойств объема материала и его поверхности.

1. Методы зондовой электрометрии для разработки и исследования свойств перспективных материалов / А. Л. Жарин, К. В. Пантелеев, А. К. Тявловский // Перспективные материалы и технологии: монография: в 2 т.; Витебский гос. тех. ун-т; ред. В. В. Клубович. – Витебск, 2015. – Т. 1. – С. 381–394.
2. Ebrahimi, G. Investigation on corrosion protection mechanism of polyaniline nanoparticles doped with phosphoric acid by scanning Kelvin probe and other electrochemical methods / G. Ebrahimi, F. Rezaei, J. Neshati // J. of the Taiwan Inst. of Ch. Eng. – 2016. – No 10. – P. 1–10.
3. Вершина, Г.А. Исследование накопления заряда статического электричества на поверхности изделий из фторопласта-4 методом вибрирующего конденсатора / Г. А. Вершина, А. Л. Жарин, А. К. Тявловский // Наука и техника. – 2012. – № 1. – С. 26–32.

УДК 620.179.14/15

МЕТОДИКА И ОСОБЕННОСТИ УСТАЛОСТНЫХ ИСПЫТАНИЙ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Бусько В.Н.¹, Фисюнов А.Д.², Рубникович С.П.³

¹ГНУ «Институт прикладной физики НАН Беларуси», Минск, Республика Беларусь

²ГУО «Витебский государственный медицинский университет», Витебск, Республика Беларусь

³ГУО «Белорусская медицинская академия последипломного образования», Минск, Республика Беларусь

В технике, авиационно-космической отрасли (АКО), строительстве, медицине и других отраслях все чаще используют композиционные материалы (КМ), обладающие рядом уникальных свойств [1]. Так, в машиностроении КМ используют для изготовления деталей, работающих при повышенных нагрузках и температурах: лопадки компрессоров, лопасти турбин и вентиляторов, поршневые пальцы, вкладыши, втулки, антифрикционные детали и др. В АКО – пластмассовые КМ используются для производства таких несущих конструкций, как крылья, фюзеляжи и поперечные балки, на основе металлов - лопадки

турбин, штоки поршней, трубы теплообменников и др. В строительстве – для изготовления противопожарных панелей на основе алюминия, для усиления несущих конструкций и жесткости зданий арматуры из стеклопластиков и углепластиков (в разы показатели выше, чем у стали) и т.д. В медицине – для изготовления армирующих пластинок для соединения костей при переломах, изготовления сердечных клапанов, имплантации зубов, изготовлении протезов и т.д.

Такие характеристики КМ как удельная прочность, сопротивление усталостному разрушению, температуре и воздействию среды, жесткость,

износостойкость, наличие низкой плотности и др. обуславливают их широкое внедрение и необходимость всестороннего изучения. Учитывая вышесказанное, исследование физико-механических характеристик КМ можно отнести к приоритетным задачам. Например, в связи с набором уникальных свойств в настоящее время полиармированные КМ, состоящие из светоотверждаемого композиционного материала и упрочнителей (стекловолокно и т.д.) интенсивно применяются в стоматологии. Применение композитно-армированных культевых штифтовых вкладок является эффективной альтернативой стандартным металлическим штифтам и литым штифтовым вкладкам при восстановлении дефектов твердых тканей зубов [2].

Цель работы – доработка и адаптация экспериментальной установки для исследования и контроля усталостной долговечности КМ с неметаллической матрицей, используемых в стоматологии, установление влияния степени армируемости на прочность составной конструкции из КМ.

Механические испытания полимерных КМ вследствие ряда особенностей (высокая хрупкость, малые напряжения и др.), в отличие от испытаний образцов металлических материалов, имеют свои методические и прикладные сложности и особенности.

Усталостные испытания композиционных материалов проводили на малогабаритной лабораторной установке [3], разработанной и изготовленной в ИПФ НАН Беларуси и предназначенной для механических испытаний плоских образцов из ферромагнитных материалов. Принцип работы установки основан на циклическом нагружении свободного конца консольно защемленного образца специальным силовым элементом в виде подшипника качения.

Для фиксации и крепления испытуемого составного образца из КМ предложено использовать специальные фиксаторы, изготовленные из стали в виде параллелепипеда длиной 40 и шириной 12 мм с просверленными по центру торцевой поверхности отверстиями глубиной 5 мм и диаметром, соответствующим диаметру образца.

Конструкция фиксатора, схема крепления и фиксации образца в узле защемления установки показаны на рис. 1.

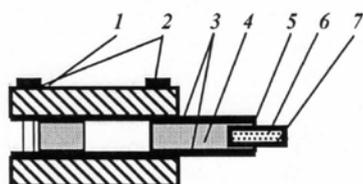


Рисунок 1 – Схема фиксации и крепления образца из КМ в узле защемления установки для исследования усталостной долговечности: 1- узел защемления; 2-болты; 3-прижимные пластины; 4-фиксатор; 5-цемент; 6-основная матрица; 7-армирующий элемент

Для соблюдения условий по прочности соединения, демпфирования и снижения влияния ударных воздействий силовозбудителя на испытуемый объект все исследуемые образцы в фиксаторах крепились композиционным цементом двойного отверждения RelayX U200 (3M ESPE). Количество изготовленных стальных фиксаторов соответствовало количеству исследуемых в эксперименте образцов.

На рис. 2 приведена фотография внешнего вида стальных фиксаторов с закрепленными в них образцами для исследований сложного КМ.



Рисунок 2 – Внешний вид фиксаторов-держателей с закрепленными образцами из КМ

Для оценки степени применимости установки, а также для исследования усталостной долговечности сложных КМ было изготовлено 8 образцов в виде цилиндров с различными механическими свойствами, определяемыми разным количеством (от 0 до 6) и диаметром (1 и 1,5 мм) армирующих стекловолоконных штифтов для повышения прочности. Композитные цилиндры имели диаметр 4,6 и высоту 17 мм. В качестве основного материала использовали светоотверждаемый композиционный материал Gradia direct posterior P-A3 (GC). Армирующие волоконные штифты были представлены стекловолоконными штифтами D.T. Light Post (Эстейд Сервис Групп).

В результате нагружения свободного конца образца с постоянной амплитудой напряжений σ в зоне образования максимальных изгибных напряжений с увеличением количества циклов нагружения N происходит накопление усталостной повреждаемости, образуются вначале невидимые, затем видимые усталостные трещины, вследствие чего снижается механическая прочность цельной конструкции из КМ и происходит разрушение. В данном случае параметр N являлся количественной мерой усталостной долговечности конструкции из КМ. Предварительные испытания материалов из КМ показали работоспособность и эффективность предложенного подхода при экспериментальном исследовании различных типов штифтовых конструкций на усталость [4].

Таким образом, получены следующие результаты:

– разработана и реализована методика усталостных испытаний композитно-армированных культевых штифтовых вкладок с разным количеством армирующих элементов с использованием малогабаритной лабораторной установки для испытания образцов на усталость;

– с использованием специальных фиксаторов для исследования образцов из КМ круглого сечения показана возможность экспериментального исследования и оценки влияния параметров неметаллических композиционных штифтов (диаметра и их количества) на усталость конструкции из КМ;

– показано, что методика и технология испытания образцов сложных КМ с помощью регулирования режимов нагружения (амплитуды, напряжений, формы цикла, направления изгибающего момента) и параметров образцов позволяет моделировать реальное состояние исследуемого объекта для оптимизации конфигурации (габаритов и состава) матрицы и схемы армирования (количества, материала и диаметра штифтов).

1. Арзамасов В.Б., Черепяхин А.А. *Материаловедение: учебник для ВУЗов* – М.: Экзамен, 2009. – 350 с.
2. D’Arcangelo, C. Fracture resistance and deflection of pulpless anterior teeth restored with composite or porcelain veneers / C. D’Arcangelo, F. De Angelis, M. Vadini, M. D’Amario, S. Caputi // *J Endod.* – 2010. – №36. – P. 153-156.
3. Бусько, В.Н. Лабораторная установка для исследования усталостной повреждаемости плоских ферромагнитных образцов / В.Н. Бусько // *Приборы и техника эксперимента.* – 2011. – № 1. – С. 165–167.
4. Рубникович, С.П. Методика усталостных испытаний композитно-армируемых культевых штифтовых вкладок с армирующими элементами/С.П. Рубникович, А.Д. Фисюнов, В.Н. Бусько // *Стоматолог*, 2017. – №2. – С. 14–18.

УДК 681

СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ГОРИЗОНТИРОВАНИЯ ПЛАТФОРМЫ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СТАНЦИИ

Гладкий А.В., Жарин А.Л.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Ряд мобильных устройств, техники, вооружения при подготовке их к эксплуатации, а также в процессе эксплуатации, требуют горизонтирования платформ, на которых они установлены. Система горизонтирования предназначена для проведения прецизионных операций выставки установок платформы, проведения операций подъема, горизонтирования и опускания самоходных пусковых установок, горизонтирования платформ транспортных установок [1].

Объектом разработки является система автоматизированного горизонтирования платформы радиолокационной станции (РЛС), состоящая из нескольких отдельных блоков, собранных на одной платформе.

Решение задачи горизонтирования складывается из решения следующих подзадач:

- обеспечение требуемой точности выравнивания несущего основания;
- обеспечение требуемой оперативности процесса горизонтирования;
- сохранение максимально устойчивого положения после горизонтирования;
- распределение нагрузки на опоры.

Реализация системы автоматизированного горизонтирования на базе микроконтроллера позволяет выполнять полностью как в автоматическом режиме, так и в ручном вывешивание платформы на выносных электромеханических цилиндрах и ее горизонтирование. При этом предотвращаются ситуации отрыва опор от грунта [2].

Электроцилиндры конструктивно выполнены на базе механической планетарной роликвинтовой передачи, преобразующей вращательное движение в поступательное, которая интегрирована

непосредственно в ротор сервомотора с постоянными магнитами. Сервомотор оснащается датчиков обратной связи – прецизионный абсолютный многооборотный датчик с интерфейсом связи *EnDat Heidenhain*, которые используются для линейного позиционирования. Разрешение датчика составляет от 4096 импульсов до 8 млн. импульсов, что дает линейное разрешение до одного микрона. Обмотки статора электромотора выполнены по специальной технологии T-LAM, ламинированные сегменты которых не имеют лобовых частей, что увеличивает крутящий момент и уменьшает габариты. Обмотки залиты специальным компаундом и впрессованы в корпус электроцилиндра. Это обеспечивает полную герметичность и нечувствительность к окружающей среде.

Алгоритм горизонтирования платформы основан на применении системы координат, привязанной к диагоналям основания (рисунок 1).

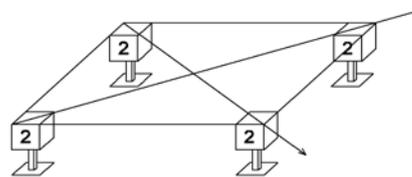


Рисунок 1 – Схема расположения электроцилиндров

Осями координат будут являться прямые, проходящие через расположенные на концах одной диагонали электроцилиндры. Это позволит обеспечить независимое регулирование по двум диагоналям. Таким образом, гарантируется возможность одновременной работы всех четырех электроцилиндров. Электроцилиндры, расположенные на концах одной диагонали объединяются в пары и