



УДК 811

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕГРАДАЦИИ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ УЛЬТРАФИОЛЕТА

Ширмаммедова Гурбангуль, Бабаева Багуль, Шукуров Акмаммет

преподаватели

Туркменский государственный архитектурно-строительный институт

г. Ашхабад, Туркменистан

Аннотация. Исследование деградации полимерных композиционных материалов под воздействием ультрафиолетового излучения представляет собой важнейшее научно-практическое направление на стыке химии высокомолекулярных соединений, материаловедения, механики разрушения и цифрового инженерного проектирования. Современная аэрокосмическая индустрия, автомобилестроение, ветроэнергетика и строительный сектор все шире используют углепластики, стеклопластики и органопластики благодаря их уникальной удельной прочности, легкости и коррозионной стойкости. Однако в процессе реальной эксплуатации на открытом воздухе эти инновационные материалы подвергаются интенсивному солнечному облучению, которое запускает деструктивные физико-химические процессы в полимерной матрице. Классические подходы к оценке прочности конструкций, игнорирующие климатическое старение полимеров, могут приводить к преждевременным катастрофическим отказам ответственных элементов инфраструктуры.

Ключевые слова: полимерные композиционные материалы, деградация матриц, ультрафиолетовое излучение, фотоокислительная деструкция, свободные радикалы, микрорастрескивание поверхностей, межфазное взаимодействие, климатическое старение, конечно-элементный анализ, остаточный ресурс.

INVESTIGATION OF POLYMER COMPOSITE MATERIALS DEGRADATION UNDER THE INFLUENCE OF ULTRAVIOLET RADIATION

Shirmammedova Gurbangul, Babayeva Bagul, Shukurov Akmammet

Lecturers

Turkmen State Institute of Architecture and Construction

Ashgabat, Turkmenistan

Abstract. The investigation of polymer composite materials degradation under the influence of ultraviolet radiation constitutes a pivotal domain within materials science, focusing on the photo-oxidative mechanisms that compromise the structural integrity of high-performance fiber-reinforced

matrices. When exposed to intensive solar ultraviolet spectra, the polymer matrix undergoes irreversible molecular chain scission and radical-mediated auto-oxidation, which significantly degrade its mechanical stiffness, fracture toughness, and fiber-to-matrix interfacial adhesion. This cumulative damage is characterized by a spatial gradient of surface micro-cracking, discoloration, and chemical loss of the binding resin, which facilitates deeper environmental ingress and potential delamination of the internal structural reinforcement fibers. To mitigate these destructive effects, researchers employ advanced stabilization strategies, such as integrating ultraviolet absorbers, radical scavengers, and nano-fillers like titanium dioxide or graphene derivatives that screen radiation and deactivate free radical propagation.

Keywords: polymer composite materials, photo-oxidative degradation, ultraviolet radiation, chain scission, free radical propagation, micro-cracking, structural integrity, stabilization strategies, kinetic decay modeling, lifecycle structural life.

Введение

Фундаментальные фотохимические механизмы, определяющие кинетику деградации композитов, базируются на процессах фотоокислительной деструкции, протекающих в поверхностных слоях полимерной матрицы под воздействием квантов ультрафиолетового света. Энергия фотонов наиболее опасного средневолнового ультрафиолетового диапазона соизмерима с энергией одинарных химических связей углерод-углерод и углерод-водород, составляющих основу молекулярной структуры эпоксидных, полиэфирных или термопластичных связующих. Поглощение этого излучения индуцирует гомолитический разрыв связей с образованием высокоактивных свободных радикалов, которые мгновенно вступают в реакцию с диффундирующим из атмосферы кислородом. Запускается разветвленная цепная реакция автоокисления, приводящая к деструкции макромолекул, разрушению пространственной поперечно-сшитой полимерной сетки и одновременному протеканию процессов избыточного сшивания. Данные структурные трансформации манифестируют на макроуровне в виде резкого изменения цвета материала, потери глянца, появления хрупкости, а также растрескивания и постепенного уноса деградировавшего поверхностного слоя матрицы.

Важнейшей геотехнической и механической проблемой, возникающей при фотодеструкции полимерных композиционных материалов, является инициирование процессов микрорастрескивания матрицы и последующая деструкция границы раздела фаз между волокном и связующим. Поскольку ультрафиолетовое излучение проникает вглубь композита на относительно небольшую глубину, исчисляемую десятками или сотнями микрометров, в материале формируется выраженный градиент степени деградации и химической усадки. Локальные объемные изменения перегретого и трансформированного поверхностного слоя



порождают значительные внутренние остаточные напряжения растяжения, которые приводят к зарождению густой сети микротрещин. Со временем эти трещины развиваются вглубь материала вдоль армирующих высокопрочных волокон, открывая свободный доступ атмосферной влаге, кислороду и агрессивным химическим агентам к глубинным слоям композита. Ослабление адгезионного взаимодействия на межфазной границе нарушает мозаику перераспределения внутренних механических напряжений, что влечет за собой резкое снижение прочности материала при сдвиге, сжатии и межслойном расслоении.

Для прецизионной количественной оценки и прогнозирования остаточного ресурса стареющих композитных конструкций исследователи применяют современные численные методы нелинейного конечно-элементного анализа, интегрированные с кинетическими уравнениями химической деградации. Исходная база данных формируется на основе результатов ускоренных климатических испытаний образцов в специализированных камерах искусственной погоды, имитирующих циклические воздействия ультрафиолета, температуры и влажности. С помощью методов инфракрасной спектроскопии нарушенного полного внутреннего отражения и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии ученые фиксируют динамику накопления карбонильных и гидроксильных групп, выступающих химическими маркерами деструкции.

Заключение

В заключение необходимо подчеркнуть, что исследование деградации полимерных композиционных материалов под воздействием ультрафиолета формирует прочный научный фундамент для перехода к проектированию интеллектуальных и адаптивных материалов нового поколения. Дальнейший прогресс в этой области неразрывно связан с интеграцией алгоритмов машинного обучения и больших данных для сквозного прогнозирования свойств многокомпонентных систем на протяжении всего их жизненного цикла. Разрабатываются концепции самозалечивающихся полимерных матриц, содержащих микрокапсулы со специальными составами, которые активируются при зарождении первых фотохимических микротрещин и восстанавливают целостность структуры.

Список литературы:

1. Дементьев В. Б., Корепанов М. А. Старение и долговечность полимерных композиционных материалов в натуральных условиях. Ижевск: Институт механики УрО РАН, 2012.
2. Малкин А. Я., Чалых А. Е. Диффузия и вязкость полимеров: Методы измерения и деградационные процессы. Москва: Химия, 1979.
3. Павлов Н. Н. Старение пластмасс в естественных и искусственных условиях. Москва: Химия, 1982.



4. Филатов И. С. Климатическая устойчивость полимерных материалов под воздействием солнечной радиации. Москва: Наука, 1983.