

Редакционная колонка – личное мнение

<http://doi.org/10.32864/polymmattech-2024-10-3-5-5>

Структурный и деформационный факторы демпфирования как параметры оценки сопротивления усталости дисперсно-наполненных полимерных композиционных материалов

С. В. Панин⁺, А. А. Богданов

Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, пр-т Академический, 2/4, 634055, г. Томск, Россия

Усталость при циклическом нагружении является одним из наиболее распространенных видов разрушения деталей и конструкций в промышленности. Для дисперсно-наполненных полимерных композиционных материалов (ПКМ) основное время наработки до разрушения занимает стадия накопления рассеянных повреждений на интерфейсе «матрица–наполнитель», которые в силу малого размера сложно выявлять традиционными методами неразрушающего контроля. Для проектирования ПКМ с требуемым сопротивлением усталости актуальным является установление закономерности влияния на него состава и структуры. При усталости в ПКМ происходят микроструктурные изменения в виде зарождения и накопления повреждений, приводящих к локальной пластической (неупругой) деформации, что на диаграмме нагружения проявляется в виде формирования петли механического гистерезиса, отражающей диссипацию (потерю) энергии или, иначе, демпфирование. Оценка энергии демпфирования является распространенным подходом для исследования сопротивления усталости ПКМ, при этом известно [doi: 10.3390/ma14174941, doi: 10.1016/j.ijfatigue.2016.01.014, doi: 10.1299/kikaia.65.1105], что коэффициент демпфирования (КД) может быть более чувствительным к развивающимся изменениям, чем традиционно анализируемое изменение жесткости. Выявление и количественная оценка деформационного (ДФ) и структурного факторов (СФ) демпфирования имеет потенциал для более точного прогнозирования ресурса и разработки методов повышения сопротивления усталости посредством учёта типа наполнителей, их содержания, геометрии, а также распределения в объеме.

Оценку ДФ можно проводить по деформационным характеристикам материала, в первую очередь по модулю упругости, поскольку он определяет величину деформации при заданных условиях нагружения (напряжение в цикле), а КД пропорционален деформации. В свою очередь СФ можно охарактеризовать как КД на единицу деформации, что определяется сформированной

структурой материала. Для повышения усталостной долговечности ПКМ необходимо снижать величину КД, что возможно при снижении совместного влияния СФ и ДФ.

Исследования ПКМ на основе аморфных матриц полиимида и полиэфиримида показали различное влияние на СФ и ДФ степени наполнения и длины коротких углеродных волокон (КУВ): величина СФ пропорциональна количеству КУВ в составе ПКМ, что объясняется увеличением количества границ раздела «матрица–наполнитель», выступающих центрами зарождения и распространения усталостных повреждений. Однако при содержании КУВ около 30% уменьшение ДФ, которое связывается со снижением деформационной подвижности макромолекул полимера вблизи жестких КУВ, является доминирующим, что приводит к снижению совместного влияния СФ и ДФ, а также снижению КД и кратному повышению долговечности [doi: 10.3390/polym16060749]. Напротив, варьирование длины КУВ в ПКМ с равным массовым содержанием показало слабый эффект как на СФ и ДФ, так и на долговечность [doi: 10.3390/polym15051228].

Таким образом, оценка ДФ и СФ демпфирования может успешно использоваться для исследования усталости ПКМ, а также выявления эффективных и рациональных параметров состава и структуры для повышения сопротивления усталости.



Панин С.В. —
д.т.н., профессор РАН,
член редколлегии



Богданов А.А. —
инженер ИФПМ
СО РАН

⁺Автор, с которым вести переписку. E-mail: svp@ispms.ru

Образец цитирования:

Панин С. В., Богданов А. А. Структурный и деформационный факторы демпфирования как параметры оценки сопротивления усталости дисперсно-наполненных полимерных композиционных материалов // Полимерные материалы и технологии. 2024. Т. 10, № 3. С. 5. <http://doi.org/10.32864/polymmattech-2024-10-3-5-5>

Citation sample:

Panin S. V., Bogdanov A. A. Strukturnyy i deformatsionnyy faktory dempfirovaniya kak parametry otsenki soprotivleniya ustalosti dispersno-napolnennykh polimernykh kompozitsionnykh materialov [Structural and strain damping factors as evaluation parameters of fatigue resistance of polymer matrix composites]. *Polimernye materialy i tekhnologii* [Polymer Materials and Technologies], 2024, vol. 10, no. 3, pp. 5. <http://doi.org/10.32864/polymmattech-2024-10-3-5-5>