

УДК 539.4: 670.17: 678

## ХАРАКТЕР ПОВРЕЖДЕНИЯ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ОЦЕНКА СНИЖЕНИЯ ИХ ПРОЧНОСТИ ПРИ ЦИКЛИЧЕСКОМ ДЕФОРМИРОВАНИИ

Саркисян Н.Е., Саркисян Н.Н.

Ն. Ե. Սարգսյան, Ն. Ն. Սարգսյան

Կոմպոզիտային նյութերի վնասվածության բնույթը և նրանց ամրության իջեցման գնահատումը ցիկլիկ դեֆորմացիայի դեպքում

Հետազոտված է ապակեպլաստների վնասվածության բնույթը և ամրության իջեցումը նրանց ցիկլիկ դեֆորմացիայի (ձևախախտման) դեպքում ռեզոնանսային ռեժիմի բեռնավորման պայմաններում: Առաջադրված է վնասվածության չափանիշ, որը կարող է օգտագործվել նյութի երկարակեցության գնահատման համար պատահական բեռնավորման դեպքում:

N. E. Sargsyan, N. N. Sargsyan

Character of damage of composite materials and evaluation of their strength decrease while cyclic deformation

Исследован характер трещинообразования и снижение прочности пластиков при их статическом и циклическом деформировании в режиме резонансного нагружения. Предложен критерий повреждения, который может быть использован для оценки долговечности материала в условиях случайного нагружения.

Исследование механизма возникновения и накопления повреждений композитных материалов при нагружении представляет большой интерес для оценки реальной несущей способности конструкции из этих материалов в различных режимах эксплуатации [1, 2]. Указанная проблема находится в центре внимания многих исследователей [3 и др.].

В настоящей работе исследован характер повреждений слоистых (для краткости — стеклопластик) и тканых (стеклотекстолит) волокнистых композитных материалов при кратковременном статическом и длительном циклическом деформировании в режимах синусоидального симметричного цикла нагружения.

Для установления характера повреждения стеклопластика и стеклотекстолита были проведены испытания образцов при плоском симметричном изгибе. Основные исследования проведены на стеклотекстолите, так как этот материал позволяет разделять после испытаний слои стеклоткани и производить их дефектацию.

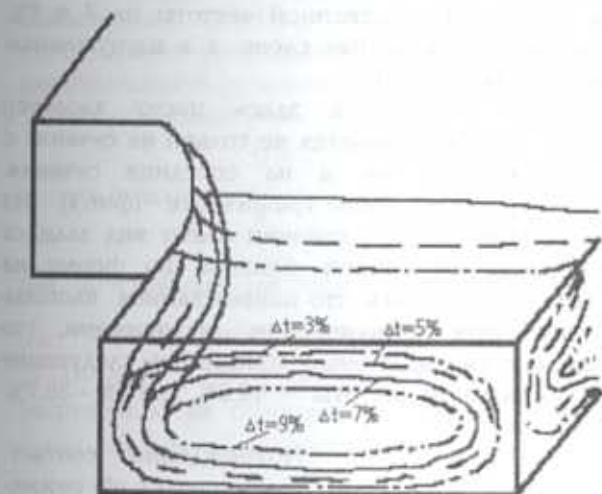
Приведем основные характеристики исследуемых материалов. Образцы из стеклопластика были изготовлены путем вакуумирования плит, состоящих из 6 слоев стеклоткани марки Т-10-80 и чередующихся с ней 6 слоев стеклонити марки БС6-13х1х8. Пропитка плит производилась эпоксифенольным связующим. Вырезка образцов производилась с продольным и поперечным расположением нитей. Среднее значение предела прочности при растяжении образца с поперечным расположением нитей  $\langle \sigma_b \rangle = 268$  МПа, для образца с продольным расположением нитей  $\langle \sigma_b \rangle = 534$  МПа.

Предел прочности тканевого стеклопластика с толщиной образца 3 мм составил 242 МПа.

Испытания проводились с применением резонансного метода контроля повреждения. Поскольку подобный метод может быть использован для систем с острым резонансом, была снята амплитудно-частотная характеристика образца (фиг.1),

которая показывает, что образец, как колебательная система, обладает высокой добротностью. Это позволяет поддерживать постоянную амплитуду образцов в ходе испытаний.

Каждая партия по 6 образцов подвергалась циклическому нагружению с частотой 30 Гц и напряжением 122 МПа. Испытания первой партии образцов проводились до снижения собственной частоты на 0.5%, второй — на 1%, третий — на 2% и т.д.



Фиг. 1 Диаграмма повреждения стеклопластика

до 9%. Предварительно была установлена зависимость изменения температуры разогрева образцов от амплитуды. Температура стабилизировалась при заданном напряжении в течении 5-10 минут.

При измерении температуры циклического разогрева, в основном, пользовались методикой, указанной в работе [4].

После циклического нагружения из каждой партии выбирались образцы и разделялись по слоям для определения характера и объема разрушения. Наблюдения повреждения проводились визуально, с помощью микроскопа МИМ-7 или с помощью увеличительных линз.

Для образцов, имеющих снижение собственной частоты на 0.5%, внешних изменений в слоях не наблюдалось, что позволяет предположить, что повреждение начинается между слоями.

На фиг.1 в качестве иллюстрации в графическом виде показаны зоны повреждения рабочего участка образца из стеклопластика.

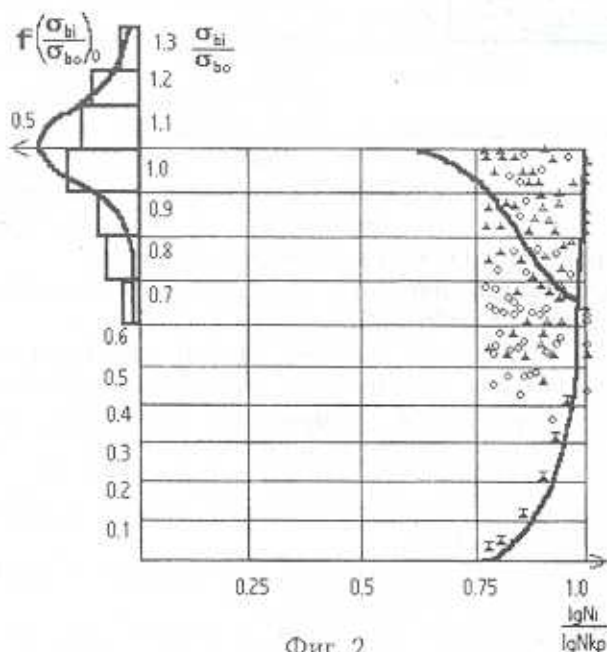
Для образцов, имеющих снижение собственной частоты на 1%, наблюдалось растрескивание связующего в поверхностном слое, в местах перекрещивания волокон и частичное отслаивание его от стеклоткани. Трещины ориентировались перпендикулярно оси образца на ширину 8 мм в опасном сечении.

Для образцов, имеющих снижение собственной частоты на 3%, в первом слое стеклоткани наблюдалось разрушение связующего и отслаивание его от нитей стеклоткани. Подобное повреждение охватывает все опасное сечение образца. Нити, перпендикулярные главной оси образца, увеличивались в объеме и наблюдалось их рыхление. На втором слое ткани наблюдалось частичное выкрашивание связующего, мелкое растрескивание его и обнажение нитей стеклоткани.

Для образцов, имеющих снижение собственной частоты на 5%, для первого и второго слоев наблюдалось сплошное поражение всей опасной зоны, отслаивание и растрескивание слоя связующего. В узлах пересечения нитей стеклоткани наблюдалось их разрыхление. В некоторых местах лопнули волокна тканей. Третий слой стеклоткани имел малую зону поражения, которая начинала переходить на четвертый слой.

Для образцов, имеющих снижение собственной частоты на 7 и 9%, собственно увеличивалось число поврежденных слоев, а в нагруженном первом слое наблюдался разрыв стеклонитей.

Таким образом, разрушение композитов здесь носит характер объемного повреждения слоев и распространяется не только на сечение с максимальным значением напряжений, но и на соседние сечения. Картина повреждения может быть представлена графически (фиг.1). Из фигуры следует, что повреждение в опасном сечении имеет вид эллипса и распространяется вдоль образца по кривой, близкой по форме на начальном участке к параболе. Если принять, что поврежденная площадь не оказывает сопротивления при циклическом нагружении, то поврежденная площадь в опасном сечении будет принимать следующие значения: для 3% снижения собственной частоты - 19.8%, для 5% - 36.7%, для 7% - 49.2%, для 9% - 57.5%.



Фиг. 2

Повреждение, соответствующее 4%-6% снижению собственной частоты, занимает от 20% до 40% площади критического сечения образца (фиг.2), поэтому в качестве критерия повреждения может быть принят определенный процент отклонения частоты образца от собственной. Величина отклонения собственной частоты может быть определена по изменению механических характеристик материала, возникшего за счет циклического накопления повреждений.

Нами исследовалось изменение статистических характеристик прочности (предела прочности на разрыв  $\sigma_b$ ) предварительно циклически деформированных образцов из стеклопластика и стеклотекстолита, которые подвергались плоскому симметричному изгибу резонансным способом. Для стеклопластика одна группа образцов выполнялась с поперечным, а вторая - с продольным расположением стеклотканей относительно оси образца. Для стеклотекстолита одна группа образцов выполнялась с продольным расположением нитей стеклоткани, другая - с расположением нитей под  $45^\circ$  по отношению к продольной оси образца.

Циклические испытания проводились на трех уровнях напряжений для стеклопластика  $\sigma=105, 117, 130.6$  МПа, для стеклотекстолита на уровне  $\sigma=132$  МПа и  $\sigma=90$  МПа для второй группы с расположением нитей под  $45^\circ$ . Частота нагружения 30 Гц.

На каждом уровне напряжений испытывалось по 6 групп образцов (по 10 образцов в группе) до выполнения заданных критериев повреждения. Под критерием повреждения здесь понималось определенное уменьшение частоты собственных колебаний образцов от первоначальной резонансной, которое выбиралось:

для стеклопластика

$$(1 - f_i / f_0) 100\% = 0.5, 1, 2, 3, 6, 9\%$$

для стеклотекстолита

$$(1 - f_i / f_0) 100\% = 0.5, 1, 2, 3, 6, 9\%$$

где  $f_i$  — текущее значение частоты собственных колебаний образца;

$f_0$  — первоначальное значение резонансной частоты образца.

После этапа циклических испытаний образцы подвергались разрушению на разрывной машине. Из каждой группы образцов один использовался для визуального осмотра при определении степени повреждения.

На фиг.2 приведена зависимость снижения пределов прочности стеклопластика на всех трех уровнях напряжений 1 и кривая кинетики 2. Из анализа кривой 1 и расположения поля точек относительных пределов прочности  $\Delta\sigma_b$  для трех уровней напряжений следует, что на характер снижения  $\Delta\sigma_b$  действующее напряжение влияния не оказывает.

В результате статистической обработки были построены гистограммы значений пределов прочности в относительных единицах (фиг.2). Гистограммы были аппроксимированы нормальным законом распределения случайных величин. Проверка сходимости экспериментального и теоретического распределений производилась с использованием критерия согласия  $\chi^2$  Пирсона (для стеклотекстолита  $\chi^2=0.5242$ , для стеклопластика  $\chi^2=0.572$ ). Среднее квадратичное отклонение, характеризующее разброс значений предела прочности для стеклопластика  $\sqrt{\langle \sigma_b \rangle} = 31.4$  МПа и стеклотекстолита  $\sqrt{\langle \sigma_b \rangle} = 42$  МПа. Максимальные отклонения предела прочности с вероятностью  $q=0.997$  для стеклопластика от нормального значения составляет 94 МПа (или 35%), для стеклотекстолита — 126 МПа (или 50%).

Из фиг.2 видно, что снижение предела прочности наблюдается уже при малых повреждениях ( $D=0.5\%$ ) и прогрессивно снижается при больших повреждениях.

Анализируя кривые снижения предела прочности в связи с циклическим нагружением, приходим к выводу, что в качестве критерия повреждения можно выбрать такое снижение собственной частоты образца от первоначальной, когда начинает уменьшаться предел

прочности материала. Результаты настоящей работы показывают, что для проведения эксперимента по выбору параметров программ усталостных испытаний не имеет существенного значения строгость в назначении критерия повреждения. Однако, при использовании резонансного метода контроля повреждаемости следует выбирать такое повреждение, которое вызвало бы устойчивое снижение частоты собственных колебаний образца и прочностных характеристик материала.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Абибов А.Л., Бойцов Б.В., Молодцов Г.А., Шейдеман И.Ю. Применение конструкционных пластмасс в производстве летательных аппаратов.- М.: Машиностроение, 1971. 190 с.
2. Малмейстер А.К., Тамуж В.П., Тетерс Г.А. Сопротивление полимерных и композитных материалов.- Рига: Зинатне, 1980. 572 с.
3. Гарф М.Э., Крамаренко О.Ю., Филатов М.Я., Филатов Э.Я. Развитие усталостных трещин в материалах и конструкциях.- Киев: Наукова думка, 1980. 152 с.
4. Саркисян Н.Е. Выносливость и деформативность ориентированного стеклопластика при высокой частоте нагружения.- Изв. АН Арм. ССР, Механика, 1974, т.27, No.6, с.84-82.

Ереванский архитектурно-  
строительный институт

Поступила в редакцию  
11.12.1998