

Лабораторная работа №3

Зависимость механических свойств композиционного материала от объемного содержания наполнителя

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Исследовать влияние объемной доли наполнителя на механические свойства композита при испытаниях на сжатие.

Задачи:

- 1) приготовить образцы композита с различным содержанием наполнителя;
- 2) провести испытание образцов на осадку;
- 3) обработать полученные данные.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Композиционные материалы представляют собой гетерофазные системы, полученные из двух или более компонентов с сохранением индивидуальных особенностей каждого из них. Для композитов характерны следующие признаки [1, 2]:

- состав и форма компонентов материала определены заранее;
- компоненты присутствуют в количествах, обеспечивающих заданные свойства материала;
- материал является однородным в макромасштабе и неоднородным в микромасштабе (компоненты различаются по свойствам, между ними существует явная граница раздела).

В большинстве случаев компоненты композиции различны по геометрическому признаку. Один из компонентов, обладающий непрерывностью по всему объему, является матрицей, компонент, имеющий замкнутую границу раздела, считается наполнителем или армирующим компонентом. Матричными материалами могут быть металлы и их сплавы, органические и неорганические полимеры, керамика и другие вещества. Наполнителями или армирующими компонентами чаще всего являются тонкодисперсные порошкообразные частицы или волокнистые материалы различной природы.

Привлекательность композитов еще и в том, что их свойства сильно отличаются от свойств исходных компонентов. Это можно увидеть на примере смеси льда с древесными опилками, известной

под названием «пайкерит» – материал в 4–5 раз прочнее льда, обладает значительной ковкостью и оказывает сопротивление взрывам на уровне бетона. Благодаря низкой теплопроводности тает намного медленнее чистого льда.

Назван в честь британского инженера, журналиста и разведчика Джеффри Пайка, предложившего в начале 1940-х годов построить из этого материала авианосец (проект «Хабаккук»).

Таблица 3.1

Сравнительные свойства материалов

Механические свойства	Лёд	Бетон	Пайкерит
Прочность на сжатие, МПа[3]	3,45	17,24	7,58
Прочность на изгиб, МПа[3]	1,1	1,72	4,83
Плотность, г/см ³ [3]	0,91	2,5	0,98
Удельная прочность на сжатие, км	3,8	6,9	7,73

Как видно из табл. 3.1, удельная прочность (отношение прочности к плотности) пайкерита может превышать аналогичное свойство бетона. Однако свойства композитов не являются конкретной справочной величиной, т.к. зависят от процентного содержания наполнителя, формы, размеров и пространственной ориентировки его частиц или волокон. Существует такое понятие, что композитный материал изготавливается одновременно с изготовлением изделия. В этом и заключаются преимущества композита – можно создать специфические направления расположения волокон в изделии, обеспечивающие его максимальную работоспособность.

Армирование волокнистыми материалами эффективно сказывается как в случае пластичной, так и в случае хрупкой матрицы.

В случае пластичной матрицы (рис. 3.1) неоднородные напряжения, возникающие в волокнах, перераспределяются однородно по объему композита за счет связи волокон с матрицей и релаксационных способностей матрицы. Напряжение сначала ложится на прямое волокно $b_1 > b_2$ и оно может разорваться, так как оно хрупкое, но тогда эта деформация разрушения перераспределится за счет пластичности матрицы на другие волокна

и они выпрямятся (рис. 3.1, а). Обрыв одного волокна (рис. 3.1, б) не приводит к потере прочности композиционного материала, если соблюдается условие критической длины волокон: $l > l_{кр}$,

$$l_{кр} = \frac{\sigma_B d}{2\tau}, \quad (3.1)$$

где τ – прочность на сдвиг связи матрицы с волокном, σ_B – прочность волокна, d – диаметр волокна, $l_{кр}$ – критическое значение длины волокна l .

В случае хрупкой матрицы при нагружении образуется в ней трещина, которая упирается в волокна и может перераспределиться, следовательно, волокна удерживают берега трещины в матрице (рис. 3.2).

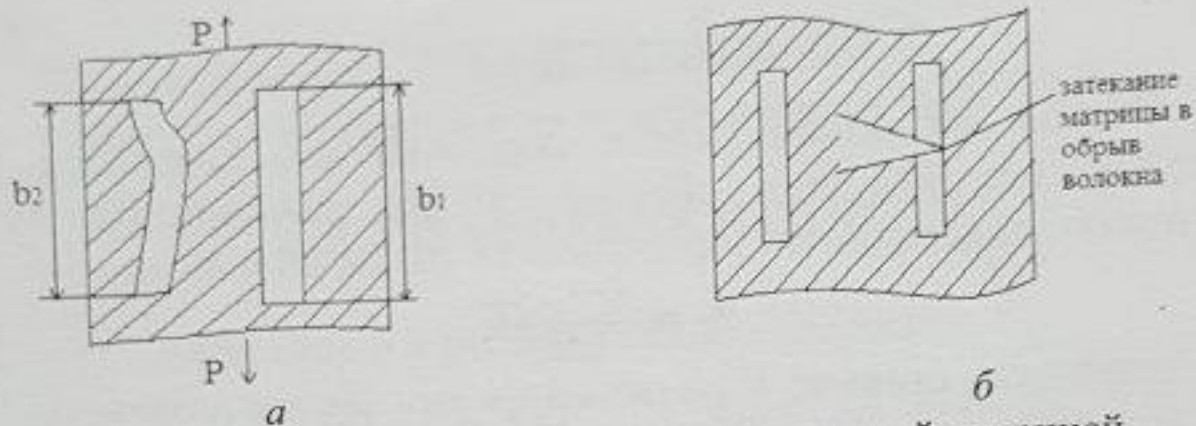


Рис. 3.1. Композиционные материалы с жесткой матрицей

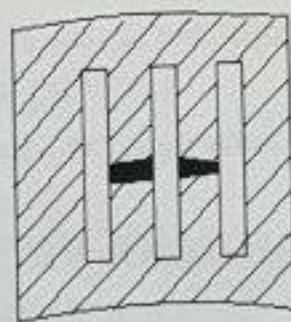


Рис. 3.2. Образование трещины в композиционном материале с хрупкой матрицей

В нашем случае лед – хрупкий материал, опилки – гасители для трещин. Критическая длина трещины в этом случае будет соответствовать среднему расстоянию между волокнами, следовательно, будет уменьшаться с увеличением объемной доли волокон. Чем больше волокон, тем меньше размер трещины.

Материал и методики исследования. Материалом исследования является смесь опилок и льда – пайкерит с разным по весу содержанием наполнителя. Он выбран из соображений идеальной доступности и безвредности компонентов. Опилки должны быть влажными для улучшения смешивания с водой. Их насыпную плотность можно принять как $0,6 \text{ г/см}^3$.

Образцы в виде кубиков изготавливаются путем заморозки в формочках для приготовления льда с помощью бытового морозильника.

Испытания образцов на сжатие проводятся на универсальной машине *Instron 5982*. Используются плоские бойки предварительно охлажденные до температуры $T < 0 \text{ }^\circ\text{C}$, лабораторные весы и линейка в качестве измерительных инструментов.

3. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

1. Исходя из объема ячеек формочки для заморозки льда, рассчитайте вес будущих образцов и вес наполнителя P_f для получения его содержания C_f в композите 10, 20, 30 и 40 %:

$$P_f = \frac{d_f \cdot V_{об} \cdot C_f}{100\%}, \quad (3.2)$$

где, d_f – плотность опилок; $V_{об}$ – объем ячейки формы (образца).

2. Сделайте навески опилок (по три каждого содержания) и разложите их в формочки для заморозки льда, залейте водой, тщательно перемешайте и уплотните смесь, если она выступает за пределы формы.

3. Поместите форму в морозильную камеру с температурой $-18 \dots -15 \text{ }^\circ\text{C}$ на 2 часа.

4. Выставьте ограничитель хода испытательной машины на 5 мм до смыкания бойков. Снимите бойки и охладите их до отрицательной температуры.

5. Полученные образцы испытайте на сжатие со скоростью перемещения траверсы 50 мм/мин. действуйте оперативно, не позволяя образцам растаять. Образцы, ожидающие своей очереди, сохраняйте в морозильнике, или в теплозащитном контейнере.

6. Постройте диаграммы деформации в координатах напряжение – перемещение, найдите средние значения предела прочности и относительной деформации до разрушения образцов.

7. Сделайте письменное обсуждение результатов.
8. Сделайте выводы по проделанной работе.

4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В каких единицах измеряется величина удельной прочности и почему?
2. Какой принцип дизайна структуры обеспечивает максимальную прочность композитной детали?
3. В чем недостатки хаотичного армирования по сравнению с направленным?
4. Почему прочность пайкерита намного выше прочности льда?
5. Почему пайкерит обладает пластичностью, а лед разрушается хрупко?
6. Почему пайкерит тает медленнее чем лед?
7. К какому типу композитов можно отнести пайкерит?

5. ТРЕБОВАНИЕ К ОТЧЕТУ

Отчет о лабораторной работе должен содержать:

1. Название, номер и цель работы
2. ФИО студента, номер группы
3. Краткую теоретическую часть
4. Используемые материалы и оборудование
5. Порядок выполнения работы
6. Экспериментальные данные и их объяснение

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Петросян А. Порошковая металлургия и технология композиционных материалов: учебник для вузов. Ереван, 2007. 240 с.
2. Астанин В.В. Микроструктурный дизайн перспективных материалов и композитов на их основе: учебное пособие. Уфа: УГАТУ, 2008. 82 с.
3. Википедия. Свободная энциклопедия: Пайкерит. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org/wiki/Пайкерит>.