



ТЕРМОХИМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАЗУПРОЧНЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

В данной статье рассмотрены общие подходы к термомеханической модели разупрочнения композиционных материалов, содержатся сведения о возможном поведении материалов под воздействием тепла и полученная экспериментальным путем линейная скорость абляции различных видов полимеров. Данные, приведенные в статье, необходимы для определения силовых возможностей полимерных материалов.

Термомеханическая модель, температурное поле, полимеры, абляция.

В основу теории термомеханической модели разупрочнения положены принципы термической и механической неоднородности свойств композиционных материалов, к которым относятся стеклопластики и армированные полимеры [1–4].

Большой вклад в изучение данного вопроса внесли ученые Хитрин Л.Н., Седов Л.И., Исаханов Г.В., Журавель А.Е., Асиева А.А., Заиков Г.Е., Берлин А.А., Халтуринский Н.А. и др. Вопрос остается актуальным прежде всего потому, что современные возможности применения в качестве сырья отходов полимеров влияют на параметры процессов теоретических и прочностных свойств композиционных материалов. А в связи с принятием в ближайшее время запрета утилизировать отходы полимеров методами захоронения, еще более остро ставится задача исследования влияния структуры вторичных материалов на их физико-механические свойства.

Если композиционный материал с начальной толщиной h_0 подвержен нагреву с потерей массы в соответствии с законом:

$$q_{wt} = \lambda * grad * T_{wt},$$

где λ – теплопроводность;

T_{wt} – температура нагреваемой поверхности;

t – время нагрева,

то распределение температуры по толщине материала в каждый момент времени может быть получено расчетным путем и экспериментально на установках, моделирующих натурные условия нагрева. При этом неоднородное температурное поле, которое влияет на механические характеристики каждого слоя материала, различны. Прочность изменяется от минимального значения нагреваемой поверхности с температурой T_w до максимального при наименьшей температуре T . При неполном прогреве $T = T_0$, T_0 – начальная температура.

Максимально допустимая прочность весь материал условно делит на две зоны: высокотемпературную, где пограничный слой обладает прочностью, которую в конструкционных расчетах возможно не учитывать ($T_w > T(x, t)$), и менее нагретую $T_w < T(x, t)$, т. к. несущая часть толщиной h_t полностью определяет несущую способность материала.

Под несущей способностью образца при нестационарном интенсивном нагреве понимается предельная нагрузка, при которой происходит разрушение.

Толщина несущей части уменьшается вследствие уноса и прогрева материала при выбранной температуре. Температурное поле несущей части материала зависит от начальной температуры T_0 и переменных граничных условий теплообмена на поверхности с температурой T . Граничные условия на поверхности с температурой T определяются динамикой изменения температурного поля всего материала, которая обусловлена особенностями режима тепло- и массопереноса в структурно неоднородном материале. Несущая часть подчиняется условиям непрерывности:

- при теплопередаче без термической деструкции связующего:

$$T(-0, t) = T(+0, t) = T, \quad (1)$$

$$[\lambda(T) \frac{dT}{dx}]_{-0} = [\lambda(T) \frac{dT}{dx}]_{+0}; \quad (2)$$

- при теплопередаче в условиях термической деструкции связующего:

$$[\lambda(T, \eta) \frac{dT}{dx}]_{-0} = [\lambda(T, \eta) \frac{dT}{dx}]_{+0}, \quad (3)$$

где η – степень разложения связующего.

Последовательность прогрева пластины из армированного композиционного материала при интенсивном нагреве начинается с момента, когда температурный фронт достигает поверхности ($x=0$). В результате температура этой поверхности повышается до T , когда $T < T_w$, в то же время по толщине всей несущей части устанавливается температурный профиль, который определяется заданным распределением температуры на нагреваемой поверхности в любой момент времени, т. е. граничным условиям первого рода:

$$T_n(0, t) = T(t). \quad (4)$$

При $T = T_w$ и $x=0$ на поверхности, которая непосредственно подвергается нагреву высокотемпературной средой, рассматривают граничное условие второго рода, которое задает распределение плотности

теплого потока для каждой точки нагреваемой поверхности тела как функции времени, т. е.:

$$g_w(0,t) = g(t). \quad (5)$$

Прогрев и унос материала представляются как продвижение изотермической поверхности $x=0$ с температурой T в глубь материала со скоростью, которая зависит от внешнего нагрева, характера теплообмена в пограничном слое и условий теплоотдачи в высоко-температурной части материала.

Как уже описывалось выше, прогрев армированного композиционного материала рассматривается как двухэтапный:

- прогрев, заканчивающийся при достижении температурного слоя тыльной поверхности;
- повышение температуры тыльной поверхности до критической температуры. Критическая температура $T_{кр}$ задается исходя из следующих условий: несущая способность материала конструкции не ниже допустимой, а внутри изделия соблюдается эксплуатационный тепловой режим работы.

Относительная толщина прогретого слоя материала на первом этапе при толщине несущей части определяется условием:

$$x_t/h_t < 1, \quad (6)$$

где x_t – текущая глубина прогрева на первом этапе;

t – время, в течение которого поверхность $x=0$ нагревается до температуры T .

Если в начальный период нагрева толщина прогретого слоя значительно меньше единицы, то несущая способность материала в целом определяется прочностью исходного материала и его начальной температурой.

На втором этапе при толщине несущей части материала выполняется неравенство:

$$x_{t1}/h_t > 1, \quad (7)$$

где x_{t1} – условная текущая глубина прогрева на втором этапе.

Если тыльная сторона элемента из армированного композиционного материала теплоизолирована, можно предположить, что на втором этапе температурное поле в несущей части материала соответствует нагреву полупространства со свойствами данного материала, т. е. на поверхности $x=h_t$ соблюдаются условия

$$T_0 < T(h_t, t) < T_{кр}, \quad (8)$$

$$g(h_t, t) = -\lambda dt(h_t, t)/dx, \quad (9)$$

где $g(h_t, t)$ – плотность теплового потока, проходящего через тыльную поверхность.

Зависимость прочности от температуры для композиционных материалов разделяются на классы.

1 класс – это материалы (стекло, некоксобразующие пластики), прочность которых при температуре, близкой температуре абляции – результата суммарного воздействия механических сил, тепла и агрессивных сред потока, – падает до нуля;

2 класс – это материалы (стеклопластики, углепластики), имеющие конечное значение прочности вплоть до температуры абляции.

Температура абляции полимерных материалов, широко применяемых в строительстве, не превышает 900°C , а их низкая абляционная стойкость определя-

ется, как правило, устойчивостью к деструкции как механической, так и термической. Это объясняется тем, что полимеры с линейным строением легко деполимеризуются с разрывом основной цепи макромолекул и образованием низкомолекулярных осколков.

Абляционно стойкие полимерные материалы широко применяются для тепловой защиты конструктивных элементов различных конструкций. Эффективность применения обусловлена их высокой прочностью, низкой теплопроводностью, низкой плотностью, высокой удельной теплоемкостью, легкостью изготовления изделий заданных размеров и конфигурации, относительной дешевизной и доступностью.

Основным параметром абляционных свойств полимеров является линейная скорость абляции. Для полимеров, являющихся основными для производства строительных материалов, линейная скорость абляции полимеров (мм/сек) приведена в таблице [1].

Таблица

Линейная скорость абляции полимеров

Полимеры	Линейная скорость абляции, мм/сек
Фенольная смола	0,157
Кремнийорганический полимер	0,378
Полиметилметакрилат	0,446
Поликарбонат	0,487
Политетрафторэтилен	0,523
Полипропилен	0,597
Полистирол	0,645
Полиэтилен	0,673

Предельная температура выбирается по результатам испытаний материалов на растяжении или сжатии. Обоснованный выбор более высокой температуры позволяет полнее учесть силовые возможности материала. Термомеханическая модель разрушения композиционных материалов, обладающих неоднородностью, при правильном выборе предельных температур позволяет более полно оценить максимальные прочностные и термо-механические характеристики армированных композиционных материалов.

Литература

1. Исаханов, Г. В. Прочность армированных пластиков и ситаллов / Г. В. Исаханов, А. Е. Журавель. – Москва: Машиностроение, 1981. – 234 с.
2. Асеева, Р. М. Горение полимерных материалов / Р. М. Асеева, Г. Е. Заиков. – Москва: Наука, 1981. – 280 с.
3. Халтуринский, Н. А. Горение полимеров и механизмы действия антипиренов / Н. А. Халтуринский, А. А. Берлин, Т. В. Попова // Успехи химии. – 1884. – Т. 53, № 2. – С. 326.
4. Берлин, А. А. Горение полимеров и полимерные материалы пониженной горючестью / А. А. Берлин // Соросовский образовательный журнал. Химия. – 1996. – Т. 2, № 9. – С. 57.
5. Материалы из вторичного ПВХ пониженной горючести / Н. А. Халтуринский, А. В. Голованов, М.Н. Попова, Е. В. Соловьева, Ю. А. Пелевин // Известия ЮФУ. Тематический выпуск: Полимерные материалы пониженной горючести. – 2013. – № 8 (145). – С. 120–124.

E.V. Solovyeva
Vologda State University

THERMOCHEMICAL MODEL OF WEAKENING IN COMPOSITE MATERIALS

This article describes the General approaches to the thermomechanical model of softening of composite materials. The article contains information about the possible behavior of materials under the influence of heat and experimentally obtained linear ablation rate of different types of polymers. The data given in the article are necessary to determine the power capabilities of polymer materials.

Thermomechanical model, temperature field, polymers, ablation.