

6. STN 92 0201-1: 2002 Požiarna bezpečnosť stavieb. Spoločné ustanovenia – časť 1: Požiarne riziko, veľkosť požiarneho úseku.

7. STN 92 0201-2: 2002 Požiarna bezpečnosť stavieb. Spoločné ustanovenia – časť 2: Stavebné konštrukcie.

СТРУКТУРНАЯ МОДИФИКАЦИЯ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ ЛАЗЕРНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

Селиванов С.Е., д-р техн. наук, проф., Трегуб С.Н.

Херсонская государственная морская академия

73000, Украина, г. Херсон, пр. Ушакова, 14/1

E-mail: sntrigub@mail.ru

Весьма перспективным способом структурной модификации полимерных материалов (ПМ), с целью достижения в них заданных свойств, является воздействие лазерного излучения на ПМ.

В данной работе в качестве источника излучения используется лазер на углекислом газе типа ИЛГН–709 непрерывного режима работы в инфракрасной части спектра (длина излучения $10,6 \cdot 10^{-6}$ м), выходной мощностью излучения до 100 Вт с ослабителем мощности, измерителем средней мощности излучения (в диапазоне от 1 Вт до 100 Вт) типа РСИСИ “Титан”.

Луч от лазера направлен на “качающееся” зеркало. Отраженное лазерное излучение от зеркала попадает на пластину из исследуемого полимерного материала. Пластина (пленка) – образец крепится в специально сконструированном держателе, подвешенном на – тягах регулировочных. Осуществляется перемещение пластины в горизонтальном направлении. Измеряется температура на поверхности пластины.

Для нужной ориентировки модификации ПМ на применяемой установке необходимо получить расчетные формулы режимов нагревания.

Известно, что эквивалентная толщина прогретого слоя определяется как

$$l = 1/2(\pi a \tau)^{1/2}, \quad (1)$$

где τ – время воздействия; a – температуропроводность.

Определяется пороговая плотность мощности ($q_{порог}$), соответствующая началу разложения и газификации ПМ. Далее облучение проводится при изменяющихся плотностях мощности q воздействующего потока ($20 \div 40$ Вт/см²) и времени экспозиции ($30 \div 80$ с).

Пусть участок пластины (пленки) с малой площадью ΔS в начальный момент времени $\tau = 0$ вступает в зону нагрева и находится в этой зоне на протяжении времени экспозиции

$$\tau_{ЭК} = \frac{l_0}{v}. \quad (2)$$

Величина $\tau_{\text{ЭК}}$ должна быть выбрана из условия обеспечения достаточного для целей модификации нагрева образца, после чего определяется и требуемая скорость перемещения образца v . Из этого же условия подбирается и величина q , а затем и необходимая мощность облучателя W . Вторым характерным временем является время распространения фронта заданной температуры в материале механизмом теплопроводности; оно оценивается по формуле:

$$\tau_x \approx \frac{x^2}{a}, \quad (3)$$

где $a = \frac{\lambda}{c\rho}$ – коэффициент температуропроводности материала (λ – коэффициент теплопроводности; c – удельная теплоемкость; ρ – плотность материала); x – координата, отсчитываемая в исследуемом направлении (вдоль поверхности или в перпендикулярном направлении).

Если $\tau_x \ll \tau_{\text{ЭК}}$, то тепловой расчет процесса существенно упрощается.

Для составления уравнения теплового баланса участка примем некоторые упрощающие допущения. Прежде всего, учитывая малость относительной потери массы образца при лазерной обработке (не более 0,3 % по [1]), пренебрегаем возможными потерями теплоты на эрозию материала. Далее, примем, что время τ_x (3) при подстановке $x = \delta$, где δ – толщина пластины (пленки), будет малым по сравнению с $\tau_{\text{ЭК}}$, т.е. что участок пластины (пленки) после вступления в зону облучения прогревается по толщине практически мгновенно (безинерционно). Наконец, будем считать, что эффектом распространения теплоты по поверхности пластины (пленки) механизмом теплопроводности можно пренебречь ввиду малой теплопроводности материала.

При указанных допущениях уравнение теплового баланса для рассматриваемого участка пластины (пленки) записывается в виде:

$$q\Delta S dt = c\Delta m dt_{\text{п}} + 2\alpha\Delta S(t_{\text{п}} - t_c)d\tau, \quad (4)$$

где $t_{\text{п}}$ и t_c – температуры поверхности и окружающей среды, соответственно; α – коэффициент теплоотдачи от пластины (пленки) в окружающую среду (множитель 2 учитывает теплоотдачу от обеих поверхностей пластины (пленки)).

Учитывая, что масса участка равна $\Delta m = \rho\delta \cdot \Delta S$, после некоторых преобразований, получим:

$$\frac{dt_{\text{п}}}{d\tau} + \frac{2\alpha}{c\rho\delta}(t_{\text{п}} - t_c) = \frac{q}{c\rho\delta}, \quad (5)$$

введя обозначения $t_{\text{п}} - t_c \equiv \Theta$,

$$\frac{c\rho\delta}{2\alpha} \equiv \tau_{\text{п}}, \quad (6)$$

где τ_H – характерное время нагрева пластины (пленки), является основным параметром теплового режима процесса, перепишем (5) в виде:

$$\frac{d\Theta}{d\tau} + \frac{\Theta}{\tau_H} = \frac{q}{c\rho\delta}. \quad (7)$$

Решение этого дифференциального уравнения при начальном условии $\Theta(\tau = 0) = 0$ имеет вид:

$$\Theta = \frac{q}{2\alpha} \left(1 - e^{-\frac{\tau}{\tau_H}}\right) \quad (8)$$

или окончательно:

$$t_{II} = t_c + \frac{q}{2\alpha} \left(1 - e^{-\frac{\tau}{\tau_H}}\right). \quad (9)$$

При $\tau \gg \tau_H$, например, при $\tau \gg 3\tau_H$, величина t_{II} достигает предельного значения

$$t_{II}^{\text{пред}} = t_c + \frac{q}{2\alpha}, \quad (10)$$

после чего дальнейшее пребывание материала в зоне нагрева становится нецелесообразным; это дает базу для оценки времени экспозиции $\tau_{ЭК}$. При выбранном из дополнительных соображений значении $t_{II}^{\text{пред}}$ из (10) можно оценить необходимую величину q при известном α . Значение α можно с достаточной точностью оценить по известной формуле для коэффициента конвективной теплоотдачи в воздухе [2]:

$$\alpha \approx 1,33 \left(\frac{\bar{\Theta}}{L}\right)^{0,25}, \quad (11)$$

где $\bar{\Theta}$ – усредненное значение Θ за весь период нагрева, L – характерный размер поверхности теплоотдачи (в данном случае $L = \delta$). Зная α , можно определить q , а затем и W с помощью формулы (1), а также оценить значение основного параметра $\tau_{ЭК}$ как

$$\tau_{ЭК} \approx 3\tau_H = 3 \frac{c\rho\delta}{2\alpha}. \quad (12)$$

Проведя количественные оценки по полученным формулам можно получить достаточную ориентировку для последующих экспериментальных и технологических исследований по реализации данного метода структурной модификации ПМ.

1. Богатырева Н.А., Тимошкин А. М., Бычков С.Г., Ксандопуло Г.И. Оптимизация условий лазерной обработки эпоксидного полимера с целью снижения его горючести // Тез. докл. I Междунар. конф. по полимерным материалам пониженной горючести. – Алма-Ата: Изд. АН СССР, 1990. – С. 200–202.

2. Залесский А.М. Основы теории электрических аппаратов. – М.: Высшая школа, 1974. – 184с.