

плівки при більш високих температурах (зниження усадки). Для отримання зшитих плівок краще використовувати технологічну схему на основі черв'ячно-дискового екструдеру, а для ефективного завершення процесу зшивання готові вироби обробляти пароводяною сумішшю як через кільце 4 (рис.1) зовнішнього охолодження, так і через систему внутрішнього охолодження або зануренням у підігріту воду [4].

1. Кикель В.А. Производство труб из сшитого полиэтилена с повышенной долговечностью при высоких температурах эксплуатации: Дисс. ... канд. техн. наук / В.А. Кикель. – М., 2006. – 118 с.

2. Композиции на основе полиэтилена, сшиваемые под действием влаги, для кабельно-проводниковой продукции [Электронный ресурс]. – Дата доступа: 20 трав. 2011 р. – Режим доступа: <http://www.padanaplast.com/Polidan ES 100/>.

3. Марков А.В. Ориентационная вытяжка силанольно-сшитых полиэтиленовых пленок / А.В. Марков, В.Н. Кулезнёв, В.Г. Персиц // Пластические массы. – 2007. – № 11. – С.5-7.

4. Лукач Ю.Е. Оборудование для производства полимерных пленок / Ю.Е. Лукач, А.Д. Петухов, В.А. Сенатос. – М.: Машиностроение, 1981. – 224 с.

Отримано 13.01.2012

УДК 621.869

С.Е.СЕЛИВАНОВ, д-р техн. наук, С.Н.ТРИГУБ

Херсонская государственная морская академия

СТРУКТУРНАЯ МОДИФИКАЦИЯ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ ЛАЗЕРНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

Получены аналитические выражения, позволяющие ориентировочно оценить рациональные значения кинематических и термодинамических параметров процесса модификации, которые в дальнейшем могут быть положены в основу конструктивной проработки технологической схемы структурной модификации и установки для ее реализации.

Отримано аналітичні формули, що дозволяють орієнтовно оцінити раціональні значення кінематичних і термодинамічних параметрів процесу модифікації, які надалі можуть бути покладені в основу конструктивного пророблення технологічної схеми структурної модифікації й установки для її реалізації.

Received analytical expressions, that approximately allow to estimate the rational values of kinematics and thermodynamics parameters of process modifications which in future can be fixed in basis of the structural working of flowchart of structural modification and setting for its realization.

Ключевые слова: структурная модификация, полимерные материалы, лазерное излучение.

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 ла-

зер 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 тросах 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.

Пластинка (пленка) модифицируемого ПМ проходит с некоторой постоянной скоростью V через зону нагрева длиной l_0 и шириной ν , созданную источниками лучистого нагрева с мощностью W . При этом создается радиационный поток на поверхности пластинки (пленки) с плотностью мощности

$$q = \eta \frac{W}{S_0}, \quad (2)$$

где η – КПД облучения; $S_0 = \nu \cdot l_0$ – площадь зоны нагрева.

Определяется пороговая плотность мощности ($q_{\text{порог}}$), 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

$$\tau_{\text{эк}} = l_0 / \nu. \quad (3)$$

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 облу-

чателя W . Вторым характерным временем является время распространения фронта заданной температуры в материале механизмом теплопроводности; оно оценивается по формуле

$$\tau_x \approx x^2 / a, \quad (4)$$

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

Если $\tau_x \ll \tau_{эк}$, 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 (4) при подстановке $x = \delta$, где δ – толщина пластины (пленки), будет малым по сравнению с $\tau_{эк}$, т.е. 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:

$$q\Delta S dt = c\Delta m dt_{п} + 2\alpha\Delta S(t_{п} - t_c)d\tau, \quad (5)$$

где $t_{п}$ 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:

$$\frac{dt_{п}}{d\tau} + \frac{2\alpha}{c\rho\delta}(t_{п} - t_c) = \frac{q}{c\rho\delta}, \quad (6)$$

введя обозначения

$$t_{п} - t_c \equiv \Theta, \quad \frac{c\rho\delta}{2\alpha} \equiv \tau_{п}, \quad (7)$$

где τ_n – характерное время нагрева пластины (пленки), является основным параметром теплового режима процесса, перепишем (6) в виде:

$$\frac{d\Theta}{d\tau} + \frac{\Theta}{\tau_n} = \frac{q}{c\rho\delta}. \quad (8)$$

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

$$\Theta = \frac{q}{2\alpha} \left(1 - e^{-\frac{\tau}{\tau_n}} \right) \quad (9)$$

или окончательно:

$$t_{\text{п}} = t_c + \frac{q}{2\alpha} \left(1 - e^{-\frac{\tau}{\tau_n}} \right). \quad (10)$$

При $\tau \gg \tau_n$, например, при $\tau \gg 3\tau_n$, величина $t_{\text{п}}$ достигает предельного значения

$$t_{\text{п}}^{\text{пред}} = t_c + \frac{q}{2\alpha}, \quad (11)$$

после чего дальнейшее пребывание материала в зоне нагрева становится нецелесообразным; это дает базу для оценки времени экспозиции $\tau_{\text{эк}}$.

При выбранном из дополнительных соображений значении $t_{\text{п}}^{\text{пред}}$ из (11) 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]:

$$\alpha \approx 1,33 \left(\frac{\bar{\Theta}}{L} \right)^{0,25}, \quad (12)$$

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

$$\tau_{\text{эк}} \approx 3\tau_n = 3 \frac{c\rho\delta}{2\alpha}. \quad (13)$$

Рассмотрим иллюстративный пример расчетов по полученным вы-

ше формулам для модифікації епоксидної композиції со следующими типичными теплофизическими характеристиками [3]

$$\lambda \approx 0,2 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}, \quad \rho \approx 1,1 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3, \quad c \approx 1,1 \cdot 10^3 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}, \\ a \approx 1,7 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$$

(для других полимерных материалов значения этих характеристик мало отличаются от указанных [4]). Примем также $\delta = 0,2 \cdot 10^{-3}$ м, поскольку при такой толщине пленки гарантирована ее модификация при односторонней схеме нагрева; при применении двухстороннего нагрева можно в принципе обрабатывать более толстые пленки. Далее, выберем $t_{\text{п}}^{\text{пред}}$ по литературным данным как температуру, при которой начинаются процессы, приводящие, в конечном счете к модификации поверхностного слоя полимерного материала. Согласно данным [5], для эпоксидных композиций такая температура лежит в интервале 180...200°C. Поэтому при температуре среды $t_c = 20$ °C примем $t_{\text{п}}^{\text{пред}} - t_c = 180$ К. Тогда $\bar{\Theta} \approx 180/2 = 90$ К; полагая ширину пленки равной $\epsilon = 0,1$ м, по формуле (12) при $L = \epsilon = 0,1$ м получим оценку: $\alpha \approx 7,3 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$.

Теперь находим значение τ_n : $\tau_n \approx 16$; в соответствии с (13), получим оценку основного технологического параметра процесса модификации: $\tau_{\text{эк}} \approx 50$ с.

Полагая также ширину зоны облучения равной $l_o = 0,5$ м, находим значение скорости перемещения пленки: $\nu = 0,01$ м/с = 1 см/с. Принимая далее $d_o = 0,01$ м, по формуле скорости сканирования $\nu_c = \nu \frac{2b}{d_o}$ находим: $\nu_c = 0,2$ м/с. При рациональном значении $l_c = 0,2$ м для необходимой угловой скорости “качаний” зеркала с помощью формулы для угловой скорости “качаний” зеркала ($\omega_3 = \frac{\nu_c}{2l_c}$) получим: $\omega_3 = 0,5$ рад/с ≈ 28 град/с. Период качаний равен $2 \frac{0,1}{0,2} = 1$ с (частота 1 Гц), угол поворота 14°.

При указанных выше значениях $t_{\text{п}}^{\text{пред}} - t_c$ и α с помощью формулы (11) находим: $q \approx 2600 \text{ Вт/м}^2$. Такое значение q при площади зоны облучения $S_o = \epsilon \cdot l_o = 0,05$ м и КПД облучения $\eta = 0,5$ может быть обеспечено при суммарной мощности облучения $W = 260$ Вт.

При найденном значении v_c по формуле времени воздействия лазерного излучения: $\tau_l = 2 \frac{d_o}{v_c}$ получим: $\tau_l = 0,1$ с.

Для оценки перегрева пленки лазерным облучением с такой длительностью воздействия учтем, что согласно данным [3], коэффициент поглощения излучения CO_2 – лазера с $\lambda = 10,6$ мкм для эпоксидной композиции составляет $\mu \approx 4,2 \cdot 10^3 \text{ м}^{-1}$, что соответствует глубине проникновения излучения $\Delta = \mu^{-1} \approx 2,4 \cdot 10^{-4}$ м. При толщине обрабатываемой пленки $\delta \leq \Delta$ (выше было принято $\delta = 2 \cdot 10^{-4}$ м) тепловое воздействие лазерного излучения на эпоксидный полимер носит объемный характер и соответствующий эффект нагрева можно оценить по формуле

$\Delta t = \frac{I}{\delta \rho c} \tau_l$. При $I = 2,5 \cdot 10^5 \text{ Вт/м}^2$ (нижний предел интенсивности

лазерного облучения в [3]) и найденном выше значении τ_l получим:

$\Delta t \approx 100 \text{ К}$. При этом температура в зоне лазерного “пятна” достигнет $180+100=280 \text{ }^\circ\text{C}$ ($\approx 550 \text{ К}$), что заведомо недостаточно для воспламенения эпоксидных композиций. Мощность лазера при $d_o = 0,01$ м должна

составлять $I \frac{1}{4} \pi d_o^2 \approx 20 \text{ Вт}$; при $\tau_l = 0,1$ с доза облучения составит

$D = 2 \text{ Дж}$, что значительно ниже значений, которые могли бы привести к нежелательным изменениям механических свойств модифицируемого материала [6]. Такой “щадящий” режим лазерного облучения, применяемого здесь исключительно в целях инициирования благоприятных фотохимических реакций без излишнего теплового воздействия на материал, является главным преимуществом предлагаемого метода модификации ПМ.

Как уже упоминалось выше, проведенное рассмотрение является достаточно точным при условии $\tau_x \ll \tau_{эж}$, где τ_x определяется формулой (4). Полагая вначале $x = \delta = 2 \cdot 10^{-4}$ м, получим $\tau_x \approx 0,23$ с, что значительно меньше $\tau_{эж} = 50$ с. Далее из формулы (4) следует, что за 1 с теплота распространится вдоль поверхности пластины (пленки) на $x = \sqrt{a \cdot \tau_x} \approx 4 \cdot 10^{-4}$ м, что значительно меньше перемещения пластины (пленки) (1 см) за это же время. Таким образом, все допущения, принятые в начале рассмотрения, должны определяться при принятых пара-

метрах исходного материала.

Проведенные количественные оценки, несмотря на их приближенный характер, дают достаточную ориентировку для последующих экспериментальных и технологических исследований и были положены в основу конструктивной проработки установки для реализации данного метода лазерной модификации ПМ.

1. Богатырева Н.А., Тимошкин А. М., Бычков С.Г., Ксандопуло Г.И. Оптимизация условий лазерной обработки оксидного 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.: Высш. шк., 1974. – 184 с.

3. Бычков О.Г. Микрокинетика лазерного разрушения оксидных композиций: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – Тбилиси, 1986. – 24 с.

4. Шленский О.Ф. Тепловые свойства стеклопластиков. – М.: Химия, 1973. – 222 с.

5. Нечволодова Е.М., Гальченко А.Г., Роговина С.З., Пруг Э.В., Бельговский И.М., Халтуринский Н.А. Влияние термообработки на процесс горения эпоксиаминных полимеров // Химическая физика. – 1987. – Т.6. – №5. – С.696-701

6. Богатырева Н.А., Тимошкин А.М., Бычков С. Г. Влияние модификации поверхности полимера на его огнестойкость // Тез. докл. обл. науч.-техн. семинара "Применение лазеров в науке и технике". – Тольятти, 1989. – С.11.

Получено 13.01.2012

УДК 69.059.25 : 624.024

П.П.БИЧЕВИЙ, канд. техн. наук, К.М.КОЗИРСЬВА

Запорізька державна інженерна академія

ТЕХНОЛОГІЯ ВІДНОВЛЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ ПРИДАТНОСТІ БІТУМНО-РУБЕРОЙДНОГО ПОКРИТТЯ

Аналіз існуючих технологій відновлення експлуатаційної придатності бітумно-руберойдного покриття дозволив виявити їх недоліки. Запропоновано шляхи вирішення проблем і висвітлено результати проведених досліджень.

Анализ существующих технологий возобновления эксплуатационной пригодности битумно-руберойдного покрытия позволил обнаружить их недостатки. Предложены пути решения проблем и освещены результаты проведенных исследований.

The analysis of existing technologies as for restoring bitumen – polymeric roofs was made, its results having shown the disadvantages of the technologies mentioned. The ways of solving technological problems as for roofs were presented. The results of the research made were shown.

Ключові слова: бітумно-руберойдне покриття, мастика, емульсії, гідрофобна композиція, адгезія, пневморозпилювання, бітумно-полімерний шар, безрулонний ремонт.

Технології ремонту м'якого бітумно-руберойдного покриття можуть бути виділені в дві основні групи – так звані рулонні і безрулонні