

Монолитные покрытия полов на основе реакционноспособных олигомеров

О.Л. Фиговский

Polymate Ltd. - International Nanotechnology Research Center

Аннотация: Развитие новых производств, особенно в химической, нефтехимической, электронной, машиностроительной отраслях промышленности и атомной энергетике, выдвинуло необходимость в разработке покрытий полов со специфической химической стойкостью, с минимальной сорбцией при легкой дезактивации; значительно возросли потребности в беспыльных покрытиях полов. В статье определены требования к материалам для монолитных покрытий полов, учитывающие специфику работы полимерных мастик и растворов в конструкции пола, а также перечислены разработанные после этого различные составы для покрытий полов.

Ключевые слова: монолитные покрытия полов, реакционноспособные олигомеры, напряжение, деформация, состав для покрытий полов.

Монолитные покрытия полов достаточно широко применяются в строительной практике. Наибольшее распространение получили бетонные монолитные покрытия полов, однако в условиях воздействия агрессивных сред основным видом покрытия до середины восьмидесятых годов оставались покрытия из штучных кислотоупорных материалов (керамика, шлакоситаллы), укладываемые на химически стойких замазках и растворах [1]. В связи с этим наблюдается разрыв между индустриальными методами возведения промышленных зданий и трудоемкими процессами производства работ по устройству полов. Развитие новых производств, особенно в химической, нефтехимической, электронной, машиностроительной отраслях промышленности и атомной энергетике, выдвинуло необходимость в разработке покрытий полов со специфической химической стойкостью, с минимальной сорбцией при легкой дезактивации; значительно возросли потребности в беспыльных покрытиях полов.

Специфика работы слоя полимерной мастики, раствора либо бетона в покрытиях различной толщины, адгезионносвязанного с основаниями из бетона или гипсового раствора, требует создания материалов, существенно

отличных от традиционных, что решается не всегда только за счет варьирования известных компонентов связующих на основе реакционноспособных олигомеров, но и за счет использования компонентов, специально синтезированных для использования в составах для монолитных покрытий полов.

Рассматривая работу слоя полимерного покрытия в конструкции пола, необходимо отметить, что покрытие пола в процессе эксплуатации подвергается комплексным воздействиям среды (внешние воздействия) и собственным (внутренним) воздействиям [2]. Для удобства анализа комплексные воздействия представляется целесообразным рассматривать в виде отдельных механических, физических и химических явлений.

Основным видом внутренних воздействий являются усадочные явления, сопровождающие фазовый переход материала покрытия из жидкого в твердое состояние. Нами установлено, что механизм протекания усадки в условиях адгезионного контакта существенно отличается от усадки в материале, не связанном адгезионно с высокомодульным материалом основания. Результаты расчетных и экспериментальных величин усадочных напряжений в эпоксидной мастике показывают, что в начале процесса отверждения напряжения интенсивно возрастают во времени, причем, чем больше температура отверждения, тем выше величина усадочных напряжений. Через 3 и 12 часов при температурах 20 и 30°C имеет место значительный спад напряжений, обусловленный их релаксацией. При температуре 30°C через 35 часов напряжения уменьшаются от 7.8 до 1.2 МПа. Как и следовало ожидать, чем выше температура отверждения, тем меньше величина квазиравновесных напряжений, вызванных усадкой при структурообразовании сетчатого полимера.

С учетом специфики работы покрытия в конструкции пола была разработана автоматизированная установка по определению внутренних

напряжений при плоском напряженном состоянии, что позволило определить не только усадочные и температурные напряжения в покрытии, но и их изменение в процессе химического и радиационного воздействия.

В процессе усадки в покрытии пола возникает трехосное напряженное состояние, однако, с определенными допущениями, можно считать, что в центральной части, где существует максимальное нормальное напряжение, материал покрытия находится в состоянии растяжения. Рассмотрим процесс усадки материала покрытия как растяжение полимерного стержня по закону $\xi = \xi(t)$ до величины ξ_{∞} (где ξ и ξ_{∞} - текущая и предельная относительная деформация свободной усадки; t - время). Свойства полимерного материала можно описать параметрами среды Максвелла, модуль упругости и вязкость которой изменяются при отверждении. Уравнение, описывающее деформацию среды Максвелла, с учетом того, что по времени дифференцируются все параметры модели, имеет следующий вид:

$$d\sigma/dt + \sigma(1/T + 1/E \cdot dE/dt) = E \cdot d\xi/dt \quad (1),$$

где: $\sigma = \sigma(t)$; $\xi = \xi(t)$; $E = E(t)$; $T = \mu/E = T(t)$ и $\mu = \mu(t)$ - функции параметров от времени t .

Решение линейного дифференциального уравнения первого порядка (1) выражается формулой:

$$\sigma = \exp \left[- \int_{t_0}^t \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{E} \frac{dE}{dT} \right) dt \right] \left\{ \int_{t_0}^t E \frac{d\xi}{dt} \left[\exp \int_{t_0}^t \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{E} \frac{dE}{dT} + \sigma_0 \right) \right] dt \right\} \quad (2),$$

где константа σ_0 находится из начальных условий, а $\sigma = 0$ при $t = 0$.

Экспериментальные кривые зависимостей модуля упругости, вязкости и деформации свободной усадки от времени были определены для большинства материалов, используемых для полимерных бесшовных полов, и характер кинетических кривых был для всех материалов аналогичен.

Кинетические кривые вязкости и модуля упругости экстраполировали соответственно для времени $t \rightarrow \infty$ и $t \rightarrow 0$, когда непосредственное измерение параметров невозможно. Вязкость материалов, обладающих вязко-упругими свойствами в отвержденном состоянии, стремится к некоторому предельному значению μ_∞ при $t \rightarrow \infty$, для чисто упругих композиций $\mu \rightarrow \infty$ при $t \rightarrow \infty$.

Кривые модуля упругости и деформации свободной усадки выходят на асимптоты ξ_∞ и E_∞ примерно за одинаковый период времени t_n , зависящий от скорости реакции отверждения, при этом вязкость композиции достигает предельного значения μ_∞ или стремится к бесконечности. С достаточной для практических расчетов точностью приведенные кривые можно описать следующими гиперболическими функциями:

$$\begin{aligned} \xi &= \xi_\infty \text{thkt}; & E &= E_\infty \text{th}^m \text{kt}; & \mu &= \mu_1 \text{thkt} (1 - p \text{thkt}) / (1 - \text{th}^2 \text{kt}); \\ T &= T_1 (1 - p \text{thkt}) / (1 - \text{th}^2 \text{kt}) \end{aligned} \quad (3),$$

где ξ_∞ и E_∞ – соответственно предельные значения относительной деформации свободной усадки и модуля упругости материала при $t \rightarrow \infty$, т.е. отвержденной композиции;

μ_1 , T_1 , m и p – константы материала;

k – параметр, зависящий от константы скорости реакции отверждения.

Для материалов с чисто упругими свойствами в отвержденном состоянии $0 < p < 1$, при этом $\mu \rightarrow \infty$ при $t \rightarrow \infty$. При малых значениях (kt) , от есть thkt близком к нулю, имеем $\mu = (kt)$, откуда μ_1 находится как тангенс угла наклона начального участка кривой $\mu = \mu(t)$. Для композиций, обладающих вязкоупругими свойствами в отвержденном состоянии, $p = 1$, при этом $T \rightarrow T_\infty = T_1/2$; T находится из опытов на релаксацию напряжений или ползучесть отвержденного материала.

Подставляя зависимости (3) в решение уравнения (2) и интегрируя, получаем следующее выражение для σ :

$$\sigma = \sigma_\infty (1 - p \text{thkt}) \text{th}^m \text{kt} / (q - p) \quad (4),$$

где: $\sigma_{\infty} = E_{\infty} \xi_{yc}$ – условное напряжение;

$q = 1 / kT_1$ – параметр.

Для наиболее широко используемых мастик на эпоксидных связующих параметры материала приводятся в табл. 1. Для этих двух мастик были, исходя из параметров таблицы 1, рассчитаны кривые усадочных напряжений; одновременно были проведены экспериментальные исследования по кинетике внутренних напряжений при плоском напряженном состоянии. Расчетные и опытные результаты совпадают с точностью до 5%.

Таблица 1.

Физико-механические свойства эпоксидных мастик.

Показатель	Единицы	Марка связующего	
	измерения	ЭКР - 22	ЭФК - 1
E_{∞}	МПа	2.2×10^3	2.5×10^3
ξ_{∞}	-	5×10^{-3}	6×10^{-3}
T_1	с	8.2×10^4	5.17×10^4
K	c^{-1}	5.5×10^{-6}	6.9×10^{-6}
P	-	0.70	0.50
m	-	0.35	0.23

В процессе усадки на концах покрытий возникают касательные напряжения, которые могут привести к отслаиванию материала покрытия от основания. Максимальные значения касательных напряжений примерно равны растягивающим напряжениям в центре покрытия, поэтому кинетику их образования можно описать формулами (2-4). Следовательно, условие, при выполнении которого покрытие не разрушается от растягивающих нормальных напряжений (когезионное разрушение) и не пройдет отслаивание от основания (адгезионное разрушение), имеет вид:

$$\sigma < [\sigma] \quad (5),$$

где: $[\sigma]$ – наименьший из пределов прочности на растяжение или сдвиг как материала покрытия, так и системы покрытие – основание.

Увеличение прочности материала при отверждении можно описать уравнением:

$$[\sigma] = [\sigma]_{\infty} th^{n}kt \quad (6),$$

где: $[\sigma]_{\infty}$ – предельное значение прочности отвержденного материала;
 n – константа.

Подставляя (4) и (6) в условие (5), получим:

$$\frac{\sigma_{\infty}}{[\sigma]_{\infty}} \frac{1}{q-p} (1 - p thkt) th^{m-n}kt < 1 \quad (7).$$

Учитывая, что m должно быть больше n и $(1 - p thkt) th^{m-n}kt > 1$, можно записать следующее условие прочности:

$$\frac{\sigma_{\infty}}{[\sigma]_{\infty}} < q - p; \quad m \geq n \quad (8).$$

Данная методика расчета позволяет определить усадочные напряжения в покрытии в любой момент времени, исходя из основных физико-механических свойств материала, входящих в состав банка данных. При этом отпадает необходимость в длительных и сложных экспериментальных исследованиях кинетики внутренних напряжений. Установленная связь между усадочными напряжениями, технологическими (μ ; k ; m ; p) и эксплуатационными (E , T_1 , $[\sigma]_{\infty}$) параметрами материала позволяет целенаправленно изменять свойства композиции и получать покрытия с заранее заданными показателями. Условие (8) позволяет предсказать возможность применения вновь создаваемых материалов в качестве покрытия пола и используется нами в работах по созданию новых марок материалов для полов.

При эксплуатации покрытия пола при воздействии жидких агрессивных сред набухание также оказывает влияние на напряженное состояние покрытия, так для эпоксидного покрытия напряжения от набухания составляют: нормальные 4.86 МПа, касательные 2.62 МПа. Однако, в большинстве случаев деформацию от набухания можно не учитывать, ибо ее знак противоположен знаку усадочных и температурных деформаций (в случае охлаждения покрытия).

При введении пластифицирующих и модифицирующих компонентов в связующее материалов для монолитных покрытий полов происходит не только снижение их модуля упругости, но и значительно увеличивается ползучесть, что положительно сказывается на релаксации напряжений [3,4]. Теоретическое рассмотрение напряженного состояния монолитных покрытий с учетом ползучести, проведенное нами, показало, что усадочные и влажностные напряжения, вызванные в начальный момент действием стационарных усадочных и влажностных деформаций, под влиянием ползучести материала покрытия с течением времени затухают, стремясь при $t \rightarrow \infty$ к своим минимальным значениям. Для случая эпоксидно-каучукового покрытия пола при начальных усадочных напряжениях 4.05 МПа, через 120 суток усадочные напряжения уменьшаются до 1.3 МПа.

Механические напряжения и деформации существенно влияют на процессы переноса низкомолекулярных веществ в материале покрытия. Зависимость коэффициента диффузии от напряженного состояния покрытия является линейной при небольших напряжениях. В связи с этим, нами определение диффузионных характеристик материалов для монолитных покрытий полов проводилось на образцах, сформированных на высокомодульных подложках из коррозионностойких плотных материалов (титан ВТ-1, ситалл). Экспериментальные данные показывают значительное различие в

коэффициентах диффузии 10% серной кислоты в изолированные образцы и образцы, сформированные на жесткой подложке (см. табл. 2).

Таблица 2.

Проницаемость полимер-растворов

Вид образца	Коэффициент диффузии 10% серной кислоты ($\text{см}^2/\text{сек}$) в полимеррастворное покрытие на основе связующего:			
	полиэфирног о ПЭ-232	полиэфирного ПЭ- 232, модифицированног о 9% каучука СКД- 1	эпоксидног о «Эфураль»	эпоксидног о «ЭКР-223»
Покрытие, нанесенное на жесткое основание	0.39×10^{-7}	0.67×10^{-7}	0.14×10^{-8}	0.15×10^{-8}
Покрытие в условиях отсутствия адгезионног о контакта	0.21×10^{-8}	0.23×10^{-8}	0.48×10^{-9}	0.57×10^{-9}

Снижение внутренних напряжений при введении низкомодульных наполнителей обуславливает экспериментально установленный факт, что полиэфирные покрытия, наполненные порошком поливинилхлорида, имеют в 2-2.5 раза меньшую проницаемость, чем полиэфирные покрытия, наполненные маршалитом; здесь, вероятно, следует учитывать и улучшение поровой структуры. Анализ данных ртутной порометрии (см. рис.1) доказывает, что в случае применения маршалита полимер-раствор

содержит значительное количество фильтрационных пор (область свыше 0.1 мкм), а также пористости за счет вовлеченного воздуха (средний размер пор около 5 мкм). Наличие большого количества фильтрационных пор со средним радиусом около 0.35 мкм обуславливает повышенную проницаемость полимерраствора на маршалите. Замена маршалита на адекватное количество (47% по объему) порошка поливинилхлорида исключает образование пористости в областях, допускающих проникновение агрессивных жидкостей. Наличие переходных пор, обусловленных, вероятно,

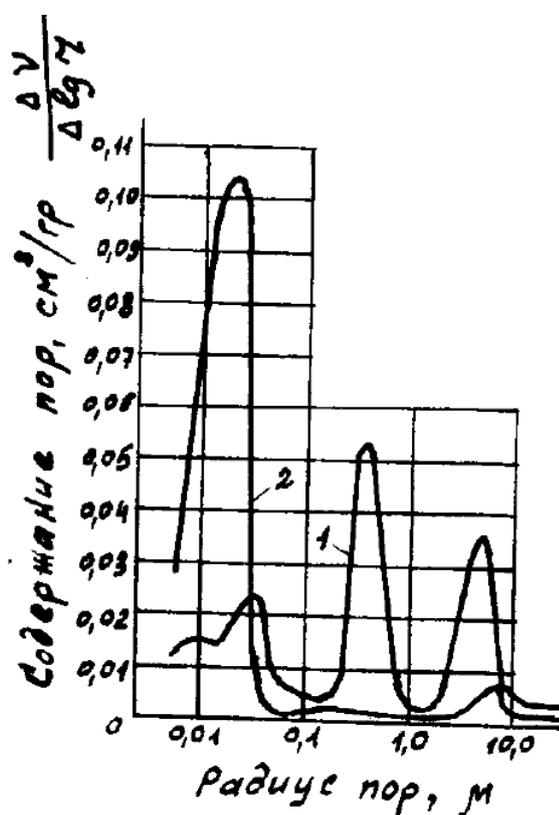


Рис. 1. Поровая структура полиэфирного полимер-раствора, поровой структурой порошкообразного поливинилхлорида, в диапазоне от 0.1 до 0.05 мкм (максимальное содержание пор размером 0.02 мкм) допускает проникновение только газообразной фазы, что не является опасным для покрытий полов. Использование низкомодульных наполнителей эффективно не только для строительных конгломератов типа полимеррастворов, но и для

создания малопроницаемых армированных защитных покрытий, из которых наибольшее практическое значение нашло покрытие «Бисволам» на основе бисфенольной полиэфирной смолы «Слокрил-1» и полипропиленовой ткани, наполненного маршалитом (1) и порошком поливинилхлорида (2).

Не менее существенно влияние внутренних напряжений и на износ монолитных покрытий полов. В общем случае износ (W) монолитного покрытия, нанесенного на жесткую подложку зависит от следующих факторов:

$$W = \mu / (\sigma_p - \sigma_{вн})(\xi_p - \xi_{вн})H_{п} \quad (9),$$

где: μ – коэффициент трения;

σ_p – предел прочности материала покрытия при растяжении;

ξ_p – относительное удлинение материала покрытия при растяжении;

$H_{п}$ – твердость покрытия;

$\sigma_{вн}$ – внутренние напряжения;

$\xi_{вн} = \sigma_{вн} / E$, где E – модуль упругости материала покрытия.

Проведенный нами анализ выражения (9) показывает, что износ увеличивается пропорционально $\sigma_{вн}^2$. Необходимо заметить, что адсорбционное облегчение деформации материала под воздействием агрессивной среды наиболее характерно в зоне предразрушения и острого конца микротрещины, а так как скорость развития микротрещины под воздействием внутренних напряжений, как правило, значительно меньше скорости движения среды в гидрофильных материалах, к которым относятся: полиэфирные, эпоксидные и полиуретановые полимеррастворы, то агрессивная среда постоянно находится в вершине трещины. В случае формирования полимерного гетерогенного покрытия на подложке, с которой оно надежно адгезионно связано, в верхнем слое покрытия возникают растягивающие напряжения, и развитие микротрещин начинается с поверхности. Следовательно, в поверхностно-активных средах износ

покрытия должен быть выше, чем в коррозионных средах, не обладающих высокой поверхностной активностью. Данные сравнительных испытаний полиэфирных полимеррастворов (см. табл. 3) подтвердили это положение.

Таблица 3.

Износ полиэфирных полимер-растворов.

Тип связующего	Вид образца	Износ, мм				Максимальные внутренние напряжения в покрытиях, МПа	
		до экспозиции	после экспозиции в средах				
			10% H ₂ SO ₄	бензин «А-70»			
		20 суток	60 суток	20 суток	60 суток		
ПЭ - 232	Покрытие, нанесенное на жесткое покрытие	0.024	0.028	0.039	0.041	0.085	6.82
	Изолированное покрытие	0.018	0.017	0.017	0.018	0.020	-
ПЭ-232, модифицированное 5% каучука СКД -1Б	Покрытие, нанесенное на жесткое покрытие	0.023	0.024	0.027	0.025	0.047	3.54
	Изолированное покрытие	0.018	0.017	0.020	0.017	0.019	-

Для изучения влияния величины внутренних напряжений на срок службы были проведены исследования по определению времени до разрушения образцов полимеррастворов на основе модифицированного связующего при

длительном действии на нескольких уровнях напряжений, меньших кратковременного предела прочности, и построения зависимости времени до разрушения (τ) от величины напряжения в образце (σ), которая в координатах « $\ln \tau - \sigma$ » спрямляется, с последующей экстраполяцией этой зависимости в область нагрузок, равных возникающим в материале покрытия внутренним усадочным и температурным напряжениям. Однако, экстраполяция зависимости « $\ln \tau - \sigma$ », полученной для нагрузок превышающих $0.6\sigma_p$, в область меньших напряжений недопустима, так как завышает прогнозируемые сроки службы на 2-3 порядка. Экспериментальные графики долговечности имеют перегиб в области $\sigma = 0.6\sigma_p$, что свидетельствует о различных механизмах разрушения полимер-растворов при больших и малых нагрузках. Результаты испытаний образцов полимер-растворов на ползучесть при напряжениях менее $0.5\sigma_p$ в течение 1000 часов с последующим хрупким доразрушением показали, что при этих напряжениях в материале накапливаются микроразрушения, обуславливающие развитие деформации ползучести в образцах. Установление связи между поврежденностью материала, определяемой как отношение остаточной хрупкой прочности к ее исходной величине, и деформацией ползучести позволяет применить к описанию разрушения и долговечности полимерных материалов для покрытий полов подход, разработанный при описании хрупкого разрушения твердых тел.

Деформация ползучести полимер-раствора на модифицированном эпоксидном связующем описывается выражением:

$$\xi(t) = \sigma/E + B\sigma^{m+\beta} \quad (10),$$

где: $\xi(t)$ – деформация ползучести в момент времени t (час);

σ – действующее напряжение, МПа;

E – модуль мгновенной упругости, МПа;

B – податливость, МПа⁻¹;

m и β – эмпирические константы.

Параметры уравнения (10), полученные при реализации экспериментов, приводятся в табл. 4.

Таблица 4.

Значения параметров уравнения ползучести полимер-раствора.

Среда	Температура	Параметры уравнения (10)			
		$E, \text{МПа}$	$B, \text{МПа}^{-1}$	m	β
воздух	20	5250	0.9×10^{-4}	1.34	0.16
вода	20	3500	0.6×10^{-3}	0.77	0.17
	40	1050	0.25×10^{-2}	0.77	0.21
10% серная кислота	20	3500	0.54×10^{-3}	1.03	0.24
	40	1050	1.8×10^{-3}	1.00	0.64
30% серная кислота	20	3500	0.95×10^{-3}	0.57	0.19
	40	1200	0.4×10^{-3}	0.90	0.50

Долговечность полимерраствора описывается выражением:

$$\tau = \Psi_0^{(1-\alpha\sigma-c)} \exp(\alpha\sigma) / A(1 + \alpha\sigma - c) \quad (11),$$

где: τ – время до разрушения, час;

σ – напряжение в материале покрытия пола, МПа;

A, α, c – эмпирические параметры;

Ψ_0 – параметр, учитывающий адсорбционное понижение прочности материалов в жидких средах.

Необходимо заметить, что параметру «с» придается значение порядка реакции механодеструкции. Значения параметров уравнения (11) приводятся в табл. 5.

Таблица 5.

Значение параметров уравнения долговечности полимер-раствора.

среда	Параметры уравнения (11)			
		A, град ⁻¹		C
воздух	0.63	6.6×10^{-7}	1	2
вода	0.95	2.3×10^{-6}	0.81	2
10% H_2SO_4	1.3	1.5×10^{-6}	0.87	2
30% H_2SO_4	0.65	2.8×10^{-5}	0.86	2

Анализ данных таблицы 5 показывает, что для увеличения долговечности эпоксидных полимеррастворов для монолитных покрытий полов желательнее как снижение поверхностной энергии, так и уменьшение смачиваемости полимерной матрицы, что было достигнуто нами за счет введения кремнийорганических олигомеров, в частности, этилсиликата-32.

Для оценки длительной прочности материалов при объемном напряженном состоянии применена схема испытаний, позволяющая с помощью образца трубчатой формы с доньшком, помещенного в камеру высокого давления осуществить нагружение по любой траектории объемного напряженного состояния.

Нагружение образца жидкостью позволяет избежать многих нежелательных явлений (трение на поверхности, внецентренность приложения нагрузки и т.д.), возникающих при передаче нагрузки на образец жесткими телами. P_v и P_n задаются таким образом, чтобы траектории нагружения были достаточно удалены друг относительно друга, что позволяет разработать достоверный критерий длительной прочности. В

образце, нагруженном наружным и внутренним давлениями, возникает практически однородное напряженное состояние, определяемое следующими главными напряжениями:

$$\sigma_z = \frac{P_B d_B^2 - P_H d_H^2}{d_H^2 - d_B^2}, \quad \sigma_\theta = \frac{P_B d_B - P_H d_H}{d_H - d_B}, \quad \sigma_r = -P_B \quad (12),$$

где: σ_z , σ_θ и σ_r – соответственно осевое, тангенциальное и радиальное напряжения.

В качестве математической модели, описывающей долговечность при объемном напряженном состоянии, может быть принята формула Журкова с добавлением в показатель экспоненты слагаемого, учитывающего влияние среднего напряжения:

$$t = t_0 \exp [(U_0 - \gamma_i \sigma_i - \gamma_m \sigma_m) / RT] \quad (13),$$

где: U_0 – энергия активации процесса разрыва связей в отсутствии механических сил;

γ_i и γ_m – силовые факторы интенсивности;

t_0 – минимальная долговечность (период тепловых колебаний сегментов макромолекул).

В таблице 6 приведены экспериментальные и теоретические значения долговечности, полученные при различных траекториях нагружения, для эпоксидной композиции; установлено хорошее совпадение экспериментальных и теоретических значений, что говорит о возможности применения формулы Журкова для описания длительной прочности полимерных материалов при объемном напряженном состоянии. При фиксированных значениях температуры и времени зависимость в пространстве главных напряжений обращается в поверхность разрушения в виде конуса, что хорошо согласуется с данными поверхностной прочности. Установлено, что с ростом температуры наблюдается уменьшение энергии активации; у полимеррастворов падение энергии идет по линейному закону.

Влияние агрессивных сред, не вступающих в химическую реакцию с полимером, на долговечность можно учесть при помощи изменения силовых факторов γ_i и γ_m в формуле (13), так как γ_i и γ_m зависят от флуктуационных объектов, участвующих в процессе разрушения. Для зависимости от концентрации среды C можно предложить ступенчатую аппроксимацию:

$$\begin{aligned} \gamma_i(C) &= \gamma_i^0; \quad \gamma_m(C) = \gamma_m^0 \quad \text{при } C \leq C^* \\ \gamma_i(C) &= \gamma_i^*; \quad \gamma_m(C) = \gamma_m^* \quad \text{при } C > C^* \end{aligned} \quad (14)$$

Таблица 6.

Долговечность эпоксидного материала при объемном напряженном состоянии (температура 293°K)

σ_b , МПа	σ_m , МПа	$\tau_{эксп.}$ С	$\tau_{расч.}$ С
65	37.5	2.64×10^1	2.9×10^1
60	34.6	4.2×10^2	3.84×10^2
55	31.7	2.6×10^3	3.6×10^3
50	28.9	4.3×10^4	4.62×10^4
45	26	4.33×10^5	5.35×10^5
75	0	3.6×10^1	3.0×10^1
70	0	3.0×10^2	2.55×10^2
60	0	2.9×10^4	1.79×10^4
55	0	1.9×10^5	1.49×10^5
80	-42.6	6.6×10^2	7.13×10^2
75	-43.3	2.7×10^3	4.27×10^3
70	-40.4	2.3×10^4	3.03×10^4
65	-37.5	1.9×10^5	1.82×10^5
60	-34.6	9.4×10^5	1.07×10^5

Под действием химически активных сред, т.е. приводящих к химическим (необратимым) изменениям в полимере, линии долговечности при различных концентрациях агрессивных жидкостей при экстраполяции пересекаются в одной точке. Окончательно с учетом всех факторов можно записать следующее модифицированное уравнение Журкова для расчета долговечности:

$$t = t_0 \exp \{ [U_0 - \gamma_i(c) \sigma_i - \gamma_m(c) \sigma_m] (1 - T/T_n) / RT - bc \} \quad (15),$$

где: b – коэффициент влияния среды;

T_n – температура полюса.

Для расчета долговечности монолитного покрытия необходимо определить $\sigma_m(t)$ и $\sigma_i(t)$ в зоне контакта полимер – основание для двух опасных сечений – центра и края покрытия. В центре покрытия возникает двухосное растяжение:

$$\sigma'_m(t) = \frac{2}{3} \sigma_x(t); \quad \sigma'_i(t) = \sigma_x(t) \quad (16)$$

По краям – чистый сдвиг, где:

$$\sigma''_m(t) = 0; \quad \sigma''_i(t) = 3^{1/2} \tau_{xz}(t) \quad (17)$$

Исходя из анализа напряженного состояния слоя монолитного покрытия, адгезионносвязанного с подложкой, предложено приближенное неравенство, позволяющее прогнозировать механическую устойчивость покрытия:

$$\frac{\xi}{0,9 \delta_{пу} + 2(\alpha_n - \alpha_p)(T_1 - T_2)} \geq 1 \quad (18),$$

где: $\delta_{пу}$ – полная относительная линейная усадка, определяемая на высокодеформируемой подложке

(ртуть, мягкая резина) до момента стабилизации усадочных деформаций;

ξ – относительное удлинение при разрыве;

α_n и α_c – соответственно коэффициенты линейного температурного расширения полимерного

материала и материала основания;

T_1 – температура при устройстве монолитного покрытия пола, принимаемая максимальной в соответствии со СНиП Ш-В.14-72.

После определения требований к материалам для монолитных покрытий полов, учитывающих специфику работы полимерных мастик и растворов в конструкции пола, исходя из современных воззрений на взаимосвязь структуры и свойств полимерных композиционных материалов, разработаны:

– эпоксидные составы для покрытий полов предприятий машиностроительного и химико-лесного комплекса, отличающиеся повышенной износо-, ударо- и химической стойкостью;

– эпоксидные составы для покрытий полов с воздействиями радиоактивных и токсических веществ, отличающиеся повышенной стойкостью к дезактивирующим растворам и трещиностойкостью;

– высокохимическистойкие эпоксидные составы для покрытий полов предприятий с повышенными требованиями пожарной безопасности;

– полиэфирные составы для износостойких беспыльных и ненакапливающих статическое электричество покрытий полов, в том числе для полов вычислительных центров;

– полиэфирные составы для покрытий полов предприятий с воздействиями окисляющих кислых сред, в частности, армированные полипропиленовой тканью для производств с диоксидом хлора;

– неизоцианатные полиуретановые составы для покрытий полов с повышенной гидролитической стойкостью и ударостойкостью;

– каучукэпоксидные, бутилкаучуковые и полиуретановые высокодеформативные составы для нижнего слоя двухслойных монолитных покрытий полов повышенной ударостойкости.

Литература:

1. ФИГОВСКИЙ О.Л. Монолитные покрытия полов на основе реакционноспособных олигомеров. Диссертация в форме научного доклада. М.: ВНИИК, 1990.
2. Figovsky O., Beilin D.: *Advanced Polymer Concretes and Compounds. Taylor & Francis Group, CRC Press, 2013.272 pages.*
3. Figovsky O., Shapovalov L., Leykin A., Birukova O., Potashnikova R.: Nonisocyanate polyurethanes based on cyclic carbonates and nanostructured composites. *J. Scientific Israel, Technological Advantages, 2012, 14, 4, pp. 95-106.*
4. Figovsky O., Birukov O., Shapovalov L., Leykin A.: Hydroxyurethane modifier as effective additive for epoxy matrix. *J. Scientific Israel, Technological Advantages, 2011, Vol. 13, 4, pp.122-128.*

References

1. Figovskiy O.L. Monolitnye pokrytiya polov na osnove reaktsionnosposobnykh oligomerov [Flooring based on reactive oligomers]. Dissertatsiya v forme nauchnogo doklada. M.: VNIIC, 1990.
 2. Figovsky O., Beilin D.: *Advanced Polymer Concretes and Compounds. Taylor & Francis Group, CRC Press, 2013.272 pages.*
 3. Figovsky O., Shapovalov L., Leykin A., Birukova O., Potashnikova R.: Nonisocyanate polyurethanes based on cyclic carbonates and nanostructured composites. *J. Scientific Israel, Technological Advantages, 2012, 14, 4, pp. 95-106.*
 4. Figovsky O., Birukov O., Shapovalov L., Leykin A.: Hydroxyurethane modifier as effective additive for epoxy matrix. *J. Scientific Israel, Technological Advantages, 2011, Vol. 13, 4, pp.122-128.*
-