

ISSN 2074-1146



ТЕХНИКО- ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ СЕРВИСА

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ,
издается с 2007 года

№ **2** (24), 2013

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ПОЛИМЕРНЫХ ДЕТАЛЕЙ БЫТОВЫХ МАШИН

В.М.Пестриков¹

*Санкт-Петербургский государственный университет сервиса и экономики (СПбГУСЭ),
191015, Санкт-Петербург, ул. Кавалергардская, 7, лит. А*

Рассмотрены вопросы прогнозирования долговечности деталей, из полимеров, в реальных условиях эксплуатации. Для определения механических характеристик материала наиболее чувствительных к изменению свойств, предлагается использовать метод теплового старения.

Ключевые слова: Прогнозирование, долговечность, старение, тепловое старение, ползучесть, базовый эксперимент.

PREDICTING DURABILITY OF POLYMERIC PARTS HOUSEHOLD MACHINES

V.M. Pestrikov

*St.-Petersburg state university of service and economy (SPbSUSE),
191015, St.-Petersburg, street Kavalergardsky, 7, lit. A*

The prediction of durability issues are analyzed parts of the polymers in actual use. To determine the mechanical properties of the material are most sensitive to changes in the properties proposed to use the method of thermal aging.

Keywords: Forecasting, service life, aging, thermal aging, creep, a basic experiment.

Введение

В бытовых машинах и приборах довольно часто используются детали, изготовленные из полимерных материалов. Срок службы таких деталей в большей степени зависит от условий эксплуатации, которые могут изменить свойства материала и ускорить в них процесс старения. В связи с этим вопрос выбора материала для соответствующих узлов бытового устройства должен учитывать и его реальные условия эксплуатации.

1. Особенности эксплуатации элементов конструкций из полимерных материалов

В процессе эксплуатации элементы конструкций из полимерных и композитных материалов подвергаются воздействию различных внутренних и внешних факторов. В результате таких воздействий первоначальные свойства материалов со временем могут значительно измениться, то есть произойдет старение материала.

Процесс старения вязкоупругого материала представляет совокупность физических и химических процессов, протекающих в материале, которые приводят к изменению его состава и структуры под воздействием влияющих факторов. К таким факторам относятся: время, температура, влага, агрессивные газообразные и жидкие среды, микроорганизмы и др. Сложность проблемы старения состоит в том, что практически отсутствуют методы исследования этого явления в комплексе при учете несколь-

ких наиболее значимых факторов из выше приведенных и критерии оценки повреждений, вызванных происходящими процессами старения.

Существуют различные определения старения:

1. Старение – совокупность физических и химических процессов, протекающих в полимерном материале, приводящих к изменению его состава и структуры под действием влияющих факторов [1].

2. Старение полимеров, это необратимое изменение свойств полимеров под действием времени, тепла, солнечного света, ионизирующих излучений и др. [2].

3. Если изменение свойств материала происходит все время в сторону уменьшения его способности деформироваться во времени, то это изменение свойств называют старением материала [3].

Если старение протекает в условиях, близких к некоторым “нормальным” (комнатная температура, средняя влажность, отсутствие интенсивного излучения), то его называют естественным. В противном случае его называют искусственным. Искусственное старение в зависимости от действия конкретных сред называется температурным, влажностным и т. д. [1].

Если старение происходит одновременно во всех точках тела одновременно, то его называют однородным, в противном случае – неоднородным. Стойкость полимеров к старению во многих случаях определяет сроки их

хранения, а иногда, и долговечность изделия в целом.

К естественно стареющим материалам относятся полимеры, композиты на их основе, ракетные топлива, лед, мерзлые грунты, бетон, древесина, бумага, картон и др. Следует отметить, что процесс старения вязкоупругих материалов носит необратимый характер, в связи с этим вернуть им первоначальные свойства какими-либо способами весьма затруднительно. В то время как стареющим металлическим материалам путем термообработки удастся вернуть первоначальные свойства.

Старение создает трудности в производстве различных изделий, так как сокращает срок их эксплуатации. Скорость старения зависит от чувствительности материала к действующим факторам, их интенсивности и состава полимерного материала. В результате старения ухудшаются механические характеристики вязкоупругого материала, на поверхности появляются трещины, которые разрастаются с течением времени. Эффекты повреждения вязкоупругого материала в результате старения носят необратимый характер.

Особенно важно учитывать интенсивность протекающих физико-химических процессов в конструкциях, работающих в климатических зонах с часто изменяющимися погодными условиями.

2. О чувствительности некоторых характеристик механических свойств полимеров к старению

Для прогнозирования изменения свойств материалов при их эксплуатации и хранении, обычно, используют метод теплового старения. Эффективность этого метода во многом определяется выбором характеристики, по зависимости которой от времени выдержки при повышенной температуре оценивают интенсивность протекания процесса старения. Указанный метод должен быть чувствительным как во времени выдержки материала при повышенной температуре, так и к уровню этой температуры. Последнее требование обусловлено тем, что при повышении температуры ускорение различных процессов, влияющих на механические свойства (например, испарение пластификатора, процессы полимеризации, кристаллизации и т.п.), будет также различным. Поэтому для повышения надёжности оценки свойств материала температурный уровень следует по возможности снижать [4].

Для выявления характеристики, чувствительной к старению терморезологически сложного материала при сравнительно невысоком повышении температуры испытания, рассмотрим некоторые результаты испытаний, приведённые в работах [5-7]. Влияние темпера-

туры на процесс старения удобно оценивать функцией $t_1 = f(t_2)$, где t_1, t_2 - времена выдержки при температурах T_1 и T_2 , приводящих к одному и тому же значению исследуемой характеристики, т.е. $\lambda(t_1, T_1) = \lambda(t_2, T_2)$. В работе [8] исследовано влияние теплового старения на прочность при сдвиге клеевого соединения стальных образцов. По результатам этой работы построены зависимости $t_1 = f(t_2)$ (кривая 1) и $t_1 = f(t_3)$ (кривая 2), где t_1, t_2, t_3 - выдержки при температурах 523, 473, 423К соответственно, рис. 1.

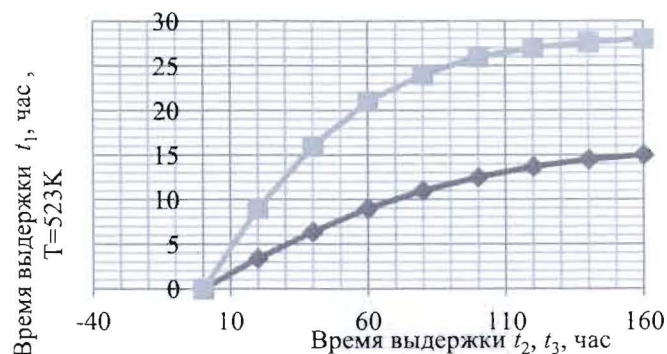


Рисунок 1. Временные зависимости при различных температурных воздействиях: ряд 1 – зависимость $t_1 = f(t_2)$, $T=473\text{K}$, ряд 2 – зависимость $t_1 = f(t_3)$, $T=423\text{K}$

Из рис.1 видно, что при значениях $t_3 =$ $t_2 = 0 - 50$ ч время t_1 примерно в 12 раз меньше t_3 . В работе [6] приведены данные о влиянии теплового старения на прочность при растяжении пенополиуретанов в диапазоне температур 348 – 423 К. Зависимость $t_1 = f(t_2)$ близка к линейной: $t_1 \sim 0,1 t_2$ (t_1 и t_2 - выдержки при температурах соответственно 423 и 348К). В работе [5] изучено изменение ударной вязкости поликарбоната при температурах $T_1=373\text{K}$, $T_2=353\text{K}$ и $T_3=333\text{K}$. Соответствующие времена выдержек приблизительно характеризуются соотношением $t_1 \sim 0,7 t_3$. Приведённые данные свидетельствуют о том, что процесс старения при повышении температуры примерно на 100К ускоряется на один порядок. Аналогичный вывод можно сделать и в отношении использования такой характеристики, как предельной деформации при разрыве [7]. Большой эффект достигается, если использовать характеристики ползучести [9]. На образцах из пластика 57 – 40 и двухслойной полиэтиленовой пространственно сшитой плёнки, используемой для покрытия газопроводов, было исследовано влияние времени выдержки в условиях воздействия повышенной температуры (353К) и 1% растворов CaCO_3 и H_2SO_4 на различные характеристики ползучести. Испытание проводили при комнатной тем-

пературе после охлаждения и просушивания в течение трёх суток. Деформации ползучести фиксировали в интервале времени 5-1800с. с точностью 0,01%. Обработка экспериментальных данных показала, что деформация ползучести $\epsilon_{п}$ в принятом временном интервале с большой точностью может быть описана соотношением

$$\epsilon_t = \epsilon_{t_5} + a(t-5)^\delta, \quad (1)$$

где: $\epsilon_{п5}$ – деформация ползучести при $t = 5с$; a и δ – постоянные, определяемые по методу наименьших квадратов из условия согласования с экспериментальными данными (параметр, a имеет размерность $с^{-\delta}$). Введём другую постоянную, имеющую размерность времени. Для этого запишем формулу (1) в виде

$$\epsilon_t = \epsilon_{t_5} + \left(\frac{t-5}{t_r} \right)^\delta, \quad (2)$$

где $t_r = a^{-1/\delta}$. В таблице 1 приведены значения $\epsilon_{п5}$, $\epsilon_{п1800}$, t_r , δ в зависимости от условий выдержки образцов перед испытанием. Исходя из этих данных, следует, что: 1) наиболее сильное влияние на характеристику t_r оказывает тепловое старение или выдержка в активной среде; для пластика её значение изменяется по сравнению с исходным состоянием образца в 10^{33} раз, для двухслойной плёнки – в 10^{138} раз; 2) значение показателя δ не постоянно; особенно сильно это проявляется для пластика, который не является термореологически простым материалом.

Таблица 1. Влияние условий старения на некоторые характеристики ползучести

Материал	$T_{\text{выд}}$, К	Среда	$t_{\text{выд}}$, сутки	$\epsilon_{п5} \cdot 10^3$	$\epsilon_{п1800} \cdot 10^3$	δ	$-\lg t, \lg c$
Двухслойная плёнка.	293	воздух		1,34	2,34	0,0035	606
Тоже.	353	---- « ----	13	1,26	2,32	0,0030	744
---- « ----	353	p-p CaCO ₃	13	2,34	4,31	0,0045	506
---- « ----	293	p-p H ₂ SO ₄	26	1,70	2,90	0,0035	644
Пластикат 57-40	293	воздух	---	0,94	3,02	0,119	9,65
Тоже.	353	---- « ----	13	1.12	5,09	0,175	6,36
---- « ----	353	p-p CaCO ₃	13	2,84	8,84	0,0085	351
---- « ----	293	p-p CaCO ₃	26	1,42	4,27	0,090	16.7
---- « ----	293	p-p H ₂ SO ₄	26	2,35	6,49	0,070	24.8

Запишем соотношение (2) в виде

$$\epsilon_t = \epsilon_{t_0} + \left(\frac{t-t_0}{t_r} \right)^\delta, \quad (3)$$

где $\epsilon_{п0}$ – значение деформации при $t = t_0$. Если $t_0 = 0$, то равенство (3) выражает известный степенной закон ползучести, имеющий место при небольших длительных испытаниях. Если принять, что старение не оказывает влияние на значение параметра δ , то кривые ползучести будут отличаться только масштабом по оси времени t , и т.е.

$$t_1 = a_t t_2, \quad (4)$$

где a_t – коэффициент, зависящий от температуры. Поскольку для исследованных материалов δ не равняется постоянной величине, то предложенная характеристика t_1 , будет являться обобщением известной характеристики a_t , причём линейная зависимость (4) в этом случае уже не имеет места. Например, если в уравнении (3) $t_0 = 0$, $\epsilon_{п0} = 0$, а $\delta = const$, то условие равенства деформаций при температурах выдержки T_1 и T_2 можно записать в виде

$$t_1 = t_{r_1} \cdot t_{r_2}^{-\delta_2/\delta_1} \cdot t_2^{\delta_2/\delta_1}. \quad (5)$$

Введение в соотношение (3) параметра t_0 и соответствующего ему значения $\epsilon_{п0}$ преследует практические цели, а именно возможность использования результатов испытаний на

ползучесть в том случае, когда технические возможности испытательной машины и свойства исследуемого материала не позволяют определить начальный участок кривой ползучести ($t = t_0$). Можно отметить в частности, что на кинетику деформации ползучести существенно влияет переходный период, в течение которого затухают собственные колебания или стабилизируется положение рычажной нагружающей системы машины. При практическом использовании характеристики t_r для оценки стабильности свойств материала следует иметь в виду, что значение t_r зависит от выбранного значения t_0 и временной базы испытания $t_k - t_0$ поэтому обработку результатов испытаний следует проводить при одних и тех же значениях t_0 и t_k . Необходимо также учитывать, что эффективное использование характеристики t_r возможно лишь при повышении требования к точности проведения экспериментов и обработки их результатов. Процесс старения, у исследованного класса материалов, в основном связан с изменением реологических параметров. Проведя базовые эксперименты можно выявить материалы старение, которых оказывает преобладающее влияние на другие параметры, например, прочность, трещиностойкость, длительная трещиностойкость и др.

Анализ экспериментальных результатов приведенных в работе [3] дает основание для

классификации стареющих материалов в зависимости от того, какие механические характеристики наиболее чувствительны к старению. Такой подход позволяет, при решении задач, учитывать только их изменение, в то время как другие характеристики, менее чувствительные, к старению характеристики можно принимать постоянными. При такой постановке, возможно, некоторое упрощение решения отдельных задач механики разрушения. Так, в [10] показано, что при общей постановке проблемы разрушения вязкоупругих тел с нестабильными свойствами, критерий КРТ не применим. В то время, как для класса материалов с особенностями старения, когда происходит изменение только реологических свойств, этот критерий разрушения можно использовать. Для выявления механических характеристик наиболее чувствительных к старению необходимо воспользоваться каким-либо ускоренным методом. Это может быть, тепловое старение, агрессивная среда и др.

3. Практическая реализация предложенного подхода (базовый эксперимент)

Предложенная модель прогнозирования срока службы детали из полимерного материала может быть практически реализована следующим образом. В начале, определяют наиболее чувствительную к старению механическую характеристику полимерного материала. Например, это может быть предел прочности, параметр ползучести, коэффициент интенсивности напряжений и др. Выбирают несколько повышенных уровней температур с учетом особенностей их влияния на механические свойства материала, руководствуясь выше изложенными соображениями. Далее определяют изменение значений выбранных характеристик при различных значениях температур и временах выдержек. На основании полученных данных строят зависимости выбранной характеристики от различного уровня температур. Влияние температуры на процесс старения оценивают с помощью зависимости $t_1 = f(t_2)$, где t_1, t_2 - времена выдержек при температурах T_1 и T_2 приводящих к одному и тому же значению исследуемой характеристики λ , т. е. $\lambda(t_1, T_1) = \lambda(t_2, T_2)$.

Для увеличения срока прогнозирования зависимость $t_2 = f(t_1)$ аппроксимируют выражением вида

$$t_2 = at_1 + bt_1^n. \quad (6)$$

Теперь, зная значение исследуемой характеристики в момент времени t_1 определяем из графика или зависимости (6) срок службы материала t_2 .

Заключение

Предложена модель прогнозирования срока службы полимерных деталей бытовых машин в реальных условиях эксплуатации. В основе модели лежит метод теплового старения. Для эффективной реализации этого метода указаны подходы выбора характеристик материала наиболее зависимых от интенсивности протекания процесса старения.

Литература

1. Арутюнян Н.Х., Дроздов А.Д., Наумов В.Э. Механика растущих вязкоупругопластических тел. - М.: Наука. 1987. 472 с.
2. Защита от коррозии, старения и биоповреждений машин, оборудования и сооружений. - Справочник : В 2-х томах. Т.1. - Под ред. Герасименко А.А. - М.: Машиностроение. 1987. 688 с.
3. Пестриков В.М. О некоторых закономерностях деформирования и длительной трещиностойкости вязкоупругих материалов в условиях естественного старения// Изв. РАН. Механика твердого тела. 1998. Т.5. С.137-145.
4. Гаврилов Д.А., Пестриков В.М., Дегтярева О.С. О чувствительности некоторых характеристик механических свойств полимеров к старению// Заводская лаборатория. - 1991. - №4. - С.55-57.
5. Виноградская Е.Л., Брук М.Г., А.Л. Вдовина. Прогнозирование гарантийных сроков хранения полимерных изделий//Пластические массы. - 1977. - №5. - С. 51-52.
6. Деменьтьев А.Г., Невский Л.В. и др. Влияние теплового старения на прочность при растяжении полиуретанов//Пластические массы. -1977. -№ 4. -С. 61-63.
7. Павлов Н.Н., Садэ В.А., Кудрявцев Г.А. Тепловое старение термопластов и методы прогнозирования//Пластические массы. - 1974. -№ 3. - С. 52-54.
8. Хрулев В.М. Оценка долговечности клевого соединения по данным ускоренного теплового старения// Заводская лаборатория. - 1965. - № 10. - С.1253-1255.
9. Уржумцев Ю.С. Прогнозирование длительного сопротивления полимерных материалов. - М.: Наука. 1982. - 220 с.
10. Пестриков В.М., Морозов Е.М. Механика разрушения. Курс лекций. СПб.: Профессия 2012. 552 С.

¹ Пестриков Виктор Михайлович – доктор технических наук, заведующий кафедрой «Информатика», СПбГУСЭ, тел.: (812) 610-84-17, e-mail: pvm205@yandex.ru