

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЫСОКОПОЛИМЕРОВ В СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ НА ОСНОВЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

д.т.н. **Одиноква О.А.**, студ. **Королев С.А.**, студ. **Чураев А.О.**

УО «Тихоокеанский государственный университет», Хабаровск

При проведении прочностных расчетов пластмассовых деталей необходимо учитывать особенности их механического поведения, которые отличаются от поведения традиционных конструкционных материалов, таких как металлы при нормальных температурах. Здесь следует отметить сильную зависимость полимерных материалов от времени действия нагрузки и особенно от температуры. Поэтому для изготовления полимерных деталей конструкций в обеспечение их механической прочности и жесткости используют высокополимеры в стеклообразном и кристаллическом состояниях. При выборе марки пластмасс следует исходить из назначения детали и условий, в которых она будет эксплуатироваться. Успешное решение задачи по конструированию детали возможно лишь при учете характерных для пластмасс различных свойств в зависимости от условий эксплуатации и методов переработки.

При конструировании детали необходимо знать, какие нагрузки будет воспринимать деталь, в каких условиях она будет работать. Поэтому выбор пластмассы и конструкции детали возможен лишь после необходимых испытаний материала в разнообразных условиях. Высокая рабочая температура существенно снижает прочностные показатели материала. Так деформации высокополимеров проявляются наиболее ярко у полимеров, работающих в температурном диапазоне выше температуры текучести. Следовательно, расчет деталей из пластмасс должен включать в себя установление нагрузок, действующих на деталь, и определение температурных условий ее работы.

Термомеханические способы определения температур перехода полимеров (температуры стеклования $T_{ст}$ и температуры текучести $T_{тек}$) наиболее приемлемы вследствие относительной простоты, но все известные способы предполагают построение термомеханических кривых, на получение экспериментальных данных для которых и уходит подавляющая часть требуемых времени и средств. Однако тщательность построения термомеханических кривых теряет свое значение при определении температур перехода, так как последние зависят не от величины деформаций, а лишь от характера термомеханической кривой. Нами предложен способ определения температур перехода, не требующий специальной лабораторной базы и весьма просто реализуемый в обычном термощкафу с регулируемой температурой [1]. Предложенный способ осуществляется следующим образом. Производят основное термомеханическое испытание по схеме трехточечного изгиба образца в виде полоски толщиной 2-3 мм с возможностью свободного поворота его на шарнирных опорах. Толщину образца выбирают из условия быстрого прогревания его объема. Образец помещают в термощкаф, укладывают на него груз и равномерно поднимают температуру со скоростью 1 град/мин, которую фиксируют в момент резкого возрастания деформации образца. Это и есть температура перехода.

Скорость нарастания деформаций при достижении температуры перехода настолько велика (модуль изменяется на порядок), что образец практически проваливается в межопорный пролет, и груз и образец падают на дно шкафа. Это обстоятельство дает возможность производить испытания в термощкафу, не оборудованном даже смотровым окошком. Для установления характера температуры перехода выясняют степень обратимости деформаций, полученных образцом при испытании. Для этого образец после испытаний выдерживают без нагрузки в термощкафу при температуре, несколько большей, чем температура перехода, до исчезновения обратимой части деформации. Если температурой перехода является $T_{ст}$, то в общих деформациях образца будут преобладать обратимые высокоэластические деформации, обусловленные подвижностью отдельных звеньев макромолекулы. При выдержке в термощкафу образец восстановит свои размеры в весьма значительной степени. Если температурой перехода является $T_{тек}$, то преобладающими деформациями будут деформации вязкого течения, связанные с перемещениями всей макромолекулы, которые не исчезают при оговоренной выше выдержке образца в термощкафу. Степень обратимости деформаций определяют визуально, так как образец при достижении температуры перехода приобретает очень большие деформации как обратимого, так и необратимого характера.

Отсутствие необходимости многократного нагружения и проведения каких-либо измерений прогибов образца снижает трудоемкость испытания и значительно упрощает условия проведения эксперимента. Становится возможным отказаться от сложных и дорогостоящих приборов, при этом процесс прогревания образца не прерывается операциями нагружения, разгрузки и измерения и время проведения испытаний значительно сокращается, снижается расход энергии. Эксперимент не требует высокой квалификации обслуживающего персонала. Точность определения температуры перехода не снижается, но при этом необходимо выполнить условие постоянства структуры материала в процессе испытания. Практика показала, что для выполнения этого условия деформация не должна превышать пяти процентов ($\varepsilon_{np}=0.05$) [2]. Резкая температурная зависимость деформационных свойств высокополимеров ужесточает это условие при возрастающей температуре. По этой причине должна быть найдена предельная величина напряжения σ_{np} , при постоянном воздействии которого деформация полимерного образца с повышением температуры до T_{max} в течение фиксированного промежутка времени не превысила бы заданной величины.

В общем случае деформация образца зависит от времени t , напряжения σ , и самым сильным образом от температуры T и описывается уравнением [2]:

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \left(\exp \frac{\sigma}{\sigma_0} \cdot e^{\frac{-T_0}{T}} - 1 \right) \ln \frac{t + t_0}{t_0}. \quad (1)$$

Параметры этого уравнения t_0 , ε_0 , σ_0 и T_0 с размерностью времени, деформации, напряжения и температуры характеризуют деформационные свойства полимера. При этом σ_0 и T_0 являются константами. Величина ε_0 зависит от температуры. Величина t_0 зависит от температуры и напряжения.

Нами разработана методика определения параметров t_0 , ε_0 , σ_0 и T_0 по результатам испытаний материала на ползучесть при различных уровнях напряжения и температуры. В конечном итоге величина напряжения σ_{np} , при котором за заданное время t и нагреве до T_{max} деформация не превысит предельной величины ε_{np} , определится из уравнения (1), как

$$\sigma_{np} = \sigma_0 \frac{\ln \left[\frac{\varepsilon_{np}}{\varepsilon_0 \ln \frac{t + t_0}{t_0}} + 1 \right]}{e^{-T_0/T}}. \quad (2)$$

Окончательно сформируется массив предельных напряжений σ_{np} как функция максимальной температуры и длительности опыта. Для ударопрочного винипласта полученные значения σ_{np} при $\varepsilon_0=0.05$ приведены в таблице 1. Анализ $\sigma_{np}(t, T)$ свидетельствует о том, что временная зависимость σ_{np} значительно слабее, чем температурная.

Таблица 1 - Значения предельных напряжений для ударопрочного винипласта (МПа)

Температура, К Время, t мин	293	323	360	430
0.25	75.75	55.58		20.185
8	74.48	54.59		19.86
16	74.07	54.40		19.80
32		54.14		19.70
60	73.71	53.96	36.19	19.69
120		53.72		19.63

Массив предельных напряжений опыта является практически необходимым для обеспечения точности определения температуры перехода полимерных материалов.

Предварительные испытания для выбора максимального значения σ в опытах по определению температуры перехода можно выполнить следующим образом.

Отдельный образец предварительно статически испытывают осевой нагрузкой при исходной температуре основных термомеханических испытаний, строят диаграмму «напряжение - деформация», на которой отсекают часть с максимальной величиной относительной деформации, равной 0,05. Из условия равенства удельной потенциальной энергии деформации в окрестностях наиболее

напряженных точек образцов в предварительном и основном испытаниях подсчитывают величину напряжения основного термомеханического испытания, при этом площади диаграмм предварительного и основного испытаний, должны быть равны. Следовательно, максимальные напряжения основного термомеханического испытания будут определены как

$$\sigma = 20 S, \quad (3)$$

где $S = \int_0^{\varepsilon} \sigma(\varepsilon) d\varepsilon$

определяет удельную работу с размерностью Нм/м³. Величину S можно определить как площадь диаграммы предварительного статического растяжения, ограниченную $\varepsilon = 0.05$. В основном опыте $\sigma = \text{const}$.

При основном нагружении можно осуществлять как растяжение, так и изгиб, а также сжатие. Если в основных испытаниях производят растяжение или сжатие, то в предварительных испытаниях производят такие же нагружения. Если в основных испытаниях производят изгиб, то возможны два варианта: материал, хуже сопротивляющийся растяжению, предварительно испытывают на растяжение; материал, хуже сопротивляющийся сжатию, - на сжатие.

Следует отметить, что при изгибе легче всего осуществить достижение максимального напряжения и удобнее всего следить за моментом резкого нарастания деформаций. Величину груза и расстояние между опорами выбирают таким образом, чтобы максимальное напряжение в образце не превышало величины, подсчитанной по формуле (1) или (3).

Влияние температуры в промежутках между температурами перехода на величину деформации не так значительно, о чем свидетельствуют сами термомеханические кривые, на которых эти участки представлены практически горизонтальными линиями. Следовательно, диапазон напряжений по предлагаемому способу выбран из условия неизменности структуры исследуемого полимера под воздействием механического поля, а это увеличивает достоверность полученных результатов.

РЕЗЮМЕ

На уровне изобретения разработан метод определения температур перехода полимерных материалов, которые играют решающую роль в определении технологических параметров изготовления и эксплуатации изделий из пластмасс. Простота осуществления метода, не требующего сложной измерительной и испытательной аппаратуры, делают его доступным в условиях любой испытательной лаборатории.

ЛИТЕРАТУРА

1. Одинокова О.А., Одинокоев А.В., Толмачев В.Т.. Способ термомеханических испытаний материалов //А.с. № 1343286 (СССР) с приоритетом от 30.05.86 // Бюллетень: Открытия, Изобретения, Пром. Образцы и товарные знаки. - 1987. - № 37.
2. Глухов Е.Е. Основные понятия о конструкционных и технологических свойствах пластмасс. М.: Химия, 1970. 128 с.

SUMMARY

At the level of the invention provides a method for determining the transition temperature of polymeric materials, which play a crucial role in determining the technological parameters of manufacturing and operation of plastic products. Ease of implementation of the method, which does not require sophisticated measurement and test equipment, making it accessible in any testing laboratory.

Поступила в редакцию 18.09.2013