



УДК 532.137 (088.8)

© *О. А. Одинокова, 2006*

КОЭФФИЦИЕНТ ВЯЗКОСТИ ИСТИННОГО ТЕЧЕНИЯ ПОЛИМЕРОВ

Одинокова О. А. – д-р техн. наук, проф. кафедры «Механика деформируемого твердого тела» (ТОГУ)

Предложен метод определения вязкости полимерных материалов, который позволяет подразделить сегментальную вязкость и вязкость истинного течения. Именно последняя обуславливает качество пластмассовых деталей, изготавливаемых методом горячего формования, так как сегментальная вязкость зависит от обратимой высокоэластической деформации и при работе изделий в условиях нестационарного температурного поля приводит к их короблению. Поэтому коэффициент вязкости истинного течения полимерных материалов является важнейшим технологическим параметром.

The author offers the method of determining the viscosity of polymeric materials to subdivide the segmentary viscosity and the viscosity of the true current. The last improves the quality of plastic details made by a method of hot formation because of the segmentary viscosity depending on convertible highly elastic strain. The items being maintained in the conditions of a non-stationary temperature field result in their hogging. Therefore the viscosity factor of the polymers true current is the major technological parameter.

В комплексе свойств, на основе которых оцениваются технологические и эксплуатационные возможности материалов, применяемых в различных отраслях народного хозяйства, физико-механические свойства занимают весьма важное место.

Изменение рецептуры, технологии изготовления и методов обработки, влияние внешних факторов и сроков хранения определяют состояние материала, особенно полимерного, и находят отражение в его физико-механических характеристиках.

Существенный разброс показаний при изучении процессов формования находится во взаимосвязи с химическим составом материала, колебаниями характеристик исходного сырья, некоторой нестабильностью технологического процесса при выработке полимерного материала.

ла и др. Эти причины приводят к микро- и макронеоднородности материала. Являясь случайными, такие причины будут оказывать влияние на параметры технологии переработки пластмасс в изделия.

При решении задач проектирования и расчета несущих конструкций с использованием пластмасс необходимо иметь исходные экспериментальные данные, на основе которых строится теория. Основными характеристиками материалов являются модуль упругости, числовые значения параметров прочности и деформативности материала. При этом в зависимости от свойств материала, термической и механической обработки деталей величины этих характеристик меняются.

Из вышеизложенного явствует, насколько важно знать достоверные количественные характеристики физико-механического состояния исходного полимерного материала при переработке его в изделия методами горячего прессования, а следовательно, иметь и методы несложного определения таких характеристик.

Известные способы оценки вязкости твердых материалов при различных воздействиях постоянных и переменных, статических и динамических нагрузок позволяют определить вязкость разрушения материалов. Поэтому на основе известных методов не представляется возможным разделить ее на сегментальную вязкость и вязкость течения.

Соотношение составляющих вязкого течения и сегментальной вязкости высокополимеров сложным образом зависит от температуры и напряжения, при которых испытывается образец. От величины сегментальной вязкости зависит интенсивность развития обратимой запаздывающей части деформации, которая сказывается отрицательно при эксплуатации изделий из пластмасс в условиях переменных температур. Чтобы качественно изготовить полимерное изделие методом прессования, необходимо обеспечить условия, в которых величина деформации вязкого течения становится значительно больше суммарной упругой и высокоэластической составляющих. Точность определения вязкости течения особенно низка в области высокоэластического состояния полимера. Поэтому очень важно выделить вязкость течения, имеющую большое практическое значение.

Анализ кривых прямой и обратной ползучести полимерных материалов позволил предложить новый способ определения коэффициента вязкости [1, 2], имеющий целью выделить истинное течение полимера, показав, что коэффициент вязкости можно определить в опытах на растяжение (сжатие), замерив деформации при фиксированных значениях времени в процессе нагружения и «отдыха». При этом использовалось уравнение феноменологической двухпараметрической модели Максвелла, которое имеет вид:



$$\frac{d\sigma}{dt} + \frac{E}{\eta} \sigma = E \frac{d\varepsilon}{dt}.$$

При постоянном напряжении оно принимает следующее выражение:

$$\varepsilon(t) = \frac{\sigma_0}{\eta} t + \varepsilon_0,$$

где ε_0 – обратимая часть деформации; $\frac{\sigma_0}{\eta} t$ – необратимая (остаточная) часть деформации.

Следовательно, если в процессе термомеханических испытаний выделить величину $\varepsilon_{ост}$, то коэффициент вязкости истинного течения можно определить по разработанной нами методике следующим образом.

Испытываемый полимерный образец нагружают и выдерживают при постоянном напряжении σ в течение времени t . Время выдержки должно быть достаточным, чтобы остаточные деформации при выбранном уровне напряжений могли развиваться и стать доступными для измерения с заданной точностью. С ростом температуры или напряжения время выдержки образца под нагрузкой можно сократить.

По истечении времени t образец разгружают, выдерживают в разгруженном состоянии до исчезновения обратимых запаздывающих деформаций, затем измеряют величину остаточных деформаций, и коэффициент вязкости течения определяют по формуле

$$\eta = \frac{\sigma}{\varepsilon_{ост}} t.$$

Операция разгрузки образца позволяет подразделить обратимые и остаточные деформации, которые возникают в совокупности во время нагружения, и тем самым повышает точность выявления вязкости течения материалов.

С целью увеличения производительности процесса выявления вязкости истинного течения материалов, образец после разгрузки термостатируют при температуре большей, чем температура периода нагружения.

Операция термостатирования при повышенной температуре сокращает время исчезновения обратимых высокоэластических деформаций, что приводит к увеличению производительности процесса по определению коэффициента вязкости течения. Если учесть, что обратимые высокоэластические деформации исчезают бесконечно долго без прогревания образца, а время выдержки его без нагрузки в любом

случае конечно, то степень обратимости размеров образца без термического воздействия на него остается далеко не полной. Термостатирование не только позволяет уменьшить время выдержки образца после разгрузки, но и увеличивает степень обратимости запаздывающих деформаций, а значит, приводит и к повышению точности определения $\varepsilon_{\text{ост}}$ и, следовательно, коэффициента вязкости истинного течения полимерных материалов.

Предложенным способом можно определять коэффициент вязкости при растяжении, сжатии, кручении (сдвиге), изгибе. При этом в зависимости от вида деформирования, коэффициент вязкости принимает различные значения.

Необходимо отметить, что формование полимера в зоне вязкотекучего состояния характеризуется незначительными упругими деформациями, процесс происходит за счет пластических деформаций. Для описания такого процесса модель должна в основном состоять из вязких элементов, их количество должно превышать количество упругих элементов [3]. И. И. Гольберг отмечает, что реологические модели, имеющие до четырех элементов включительно, исчерпывают все разнообразие механического поведения материала. Увеличение числа элементов модели не дает качественного изменения ее поведения.

Явление вязкотекучего состояния достаточно хорошо описывается моделью из последовательно соединенного вязкого элемента с моделью Кельвина – Фойхта [3], в которой преобладает остаточная деформация. Деформация механической модели процесса переработки полимера будет описываться уравнением

$$\varepsilon(t) = \frac{\sigma_0}{\eta} t + \frac{\sigma_0}{E} \left(1 - e^{-\frac{E}{\eta} t}\right),$$

анализ которого показывает, что упругая мгновенная деформация отсутствует, так как при $t = 0$ $\varepsilon(t) = 0$. Реально упругая деформация существует, но в вязкотекучем состоянии доля ее в полной деформации формования незначительна. После снятия нагрузки ($\sigma_0 = 0$ при $t = t_1$) деформация не исчезает, оставаясь постоянной в ньютоновском элементе и сокращаясь в модели Кельвина – Фойхта за счет гуковского элемента.

Следует обратить внимание на то, что при определении коэффициента вязкости истинного течения может быть определена путем исключения обратимых упругих и запаздывающих деформаций, поэтому определение η с использованием любого приведенного выше уравнения приведет к одному результату.



При использовании известных способов усилия прессования получают заниженными, что сказывается на качестве изделий не лучшим образом, так как с повышением температуры вязкость течения убывает медленнее, чем сегментальная вязкость.

В условиях осевого растяжения испытывались образцы ударопрочного винипласта (УПВ), вырезанные из листа толщиной около 3 мм. Площадь каждого образца вычислялась по результатам измерений размеров его поперечного сечения, так как толщина листа не оставалась постоянной.

Образцы нагружались четырьмя уровнями напряжений в течение 2 мин., что обычно превышает длительность формования пластиковых деталей. Затем образцы разгружались и термостатировались при температуре, превышающей температуру периода нагружения на 10°. Во время разгрузки замерялись деформации образца.

Время «отдыха» определялось стабильностью величины остаточных деформаций. Испытания прекращались, как только три последних замера деформаций в период разгрузки, произведенных с интервалом 2 мин., показывали одинаковые результаты. Практически время «отдыха» образца составляло 16-20 мин. Образцы испытывались на растяжной машине настольного типа, снабженной термокамерой и системой регулирования температуры.

При напряжениях $\sigma = 9,11$ МПа и температуре $T = 293$ К относительные остаточные деформации составляли $\varepsilon_{ост} = 0,00211$ и коэффициент вязкости течения определялся по формуле

$$\eta = \frac{\sigma}{\varepsilon_{ост}} t = \frac{9,11 \cdot 10^6}{0,00211} 120 = 0,519 \cdot 10^{12} \text{ Па} \cdot \text{с}.$$

Значения коэффициента вязкости истинного течения помещены в таблицу. Следует отметить, что при обработке эксперимента не было выявлено выраженной зависимости η от напряжения, поэтому он подсчитывался как среднее результатов для всех уровней напряжений при фиксированном значении температуры.

**Значения коэффициентов вязкости течения, η для УПВ**

Температура	Напряжения	Остаточные деформации	Коэффициент вязкости течения, η	Осредненное значение коэффициента вязкости течения, η
К	МПа	-	Па·с	Па·с
293	9, 11	0, 00211	$0, 519 \cdot 10^{12}$	$0, 5885 \cdot 10^{12}$
	14, 73	0, 00349	$0, 507 \cdot 10^{12}$	
	28, 58	0, 00710	$0, 483 \cdot 10^{12}$	
	35, 58	0, 00505	$0, 845 \cdot 10^{12}$	
303	9, 11	0, 00329	$0, 332 \cdot 10^{12}$	$0, 516 \cdot 10^{12}$
	14, 73	0, 00388	$0, 456 \cdot 10^{12}$	
	28, 58	0, 00691	$0, 496 \cdot 10^{12}$	
	35, 58	0, 00547	$0, 780 \cdot 10^{12}$	
313	9, 11	0, 00431	$0, 254 \cdot 10^{12}$	$0, 432 \cdot 10^{12}$
	14, 73	0, 00454	$0, 389 \cdot 10^{12}$	
	28, 58	0, 00632	$0, 547 \cdot 10^{12}$	
	33, 92	0, 00776	$0, 537 \cdot 10^{12}$	

Библиографические ссылки

1. А. с.1226164 СССР, МКИ G 01 N 11/00. Способ определения вязкости конструкционных материалов / О. А. Одинокова, А. В. Одинокоев, Т. П. Чернова, Г. И. Назарова (СССР). 1986. Бюл. № 15. 3 с.

2. Одинокова О. А., Одинокоев А. В. Пути повышения надежности конструкций с использованием пластмасс через контроль физико-механических свойств исходного материала // Совершенствование строительных конструкций для условий Дальнего Востока. Хабаровск: ХПИ, 1991.

3. Слесарев М. И. Применение ударопрочного винипласта в конструкции воздухопроводов судовой вентиляции: Дис. ... канд. техн. наук. Хабаровск, 1988.