

мута до металла, приводящее к формированию гетероструктурной композиции $\alpha\text{-Bi}_2\text{O}_3/\text{Bi}$, содержащей 1,6%, масс. Bi.

1. Пячин, С.А. Гидротермальный синтез и фотокаталитическая активность анатаза, допированного оксидом вольфрама / С.А. Пячин, Н.Ф. Карпович, А.В. Зайцев, А.А. Бурков, О.И. Каминский, М.А. Ермаков // *Фундаментальные исследования*. – 2017. – № 10-2. – С. 261-266.
2. Зайцев, А.В. Автоматизированный комплекс для исследования сорбционной и фотокаталитической активности с объединенной реакционной и измерительной частью /А.В. Зайцев, О.И. Каминский, К.С. Макаревич, С.А. Пячин // *Бюллетень научных сообщений*. – 2017. – № 22. – С.57-63.
3. Крюков, А.И., Строук, А.Л., Кучмий, С.Я., Походенко, В.Д. Нанопотокатализ. – Киев: Академперіодика, 2013. – 618 с.
4. Уханов, Ю.И. Оптические свойства полупроводников. – М.: Наука, 1977. – 368 с.
5. Петросян, П.Г. Исследование поведения структурных дефектов в нанокристаллах $\text{CdSe}_x\text{S}_{1-x}$ / П.Г. Петросян, Л.Н. Григорян // *ЖТФ*. – 2017. – Т. 87. – С. 443-447.

УДК 532.137(088.8)

КОЭФФИЦИЕНТ ВЯЗКОСТИ ИСТИННОГО ТЕЧЕНИЯ ПОЛИМЕРОВ КАК ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПАРАМЕТР ПЕРЕРАБОТКИ ПОЛИМЕРА В ИЗДЕЛИЯ

О.А. Одинокова

Тихоокеанский государственный университет» (г. Хабаровск)

Odi37@mail.ru

VISCOSITY COEFFICIENT OF TRUE POLYMER FLOW AS A TECHNOLOGICAL PARAMETER OF POLYMER PROCESSING IN PRODUCTS

O.A. Odinkova

Pacific State University (Khabarovsk)

Odi37@mail.ru

DOI: 10.2250/PFARE.2019.129-133

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. 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. При этом в зависимости от свойств материала, термической и механической обработки деталей величины этих характеристик меняются.

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 разделение 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 ве-

личины 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 (рис. 1), которое имеет вид:

$$\frac{d\sigma}{dt} + \frac{E}{\eta} \sigma = E \frac{d\varepsilon}{dt}. \quad (1)$$

При постоянном напряжении оно принимает следующее выражение:

$$\varepsilon(t) = \frac{\sigma_0}{\eta} \cdot t + \varepsilon_0, \quad (2)$$

где ε_0 – обратимая часть деформации; $\frac{\sigma_0}{\eta} \cdot t$ – 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:

$$\eta = \frac{\sigma}{\varepsilon_{ост}} \cdot t. \quad (3)$$

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

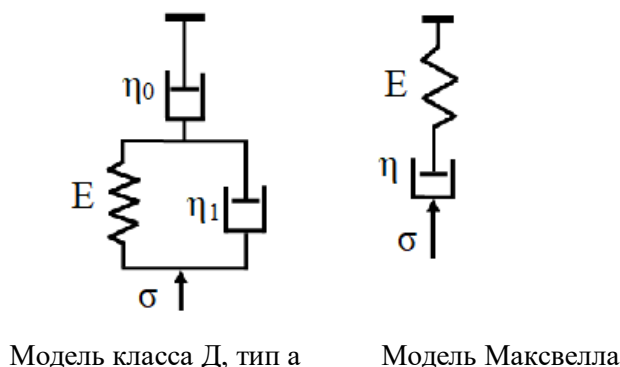


Рис. 1. Модели метода механических аналогий.

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 $\varepsilon_{ост}$ 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 [4] 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 (модель класса Д, тип а, рис. 1) [3], в которой преобладает остаточная деформация. Тогда деформация механической модели процесса переработки полимера будет описываться уравнением:

$$\varepsilon(t) = \frac{\sigma_0}{\eta} \cdot t + \frac{\sigma_0}{E} \left(1 - e^{-\frac{E}{\eta} t}\right), \quad (4)$$

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 гукковского 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 любой приведенной выше модели 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 минут, 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» определялась 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 со-

ставляло 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:

$$\eta = \frac{\sigma}{\varepsilon_{ост}} \cdot t = \frac{9,11 \cdot 10^6}{0,00211} \cdot 120 = 0,519 \cdot 10^{12} \text{ Па} \cdot \text{с} . \quad (4)$$

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 истинного 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	$0, 537 \cdot 10^{12}$	

Температурная зависимость модуля упругости и коэффициента вязкости истинного течения представлена на рис. 2.

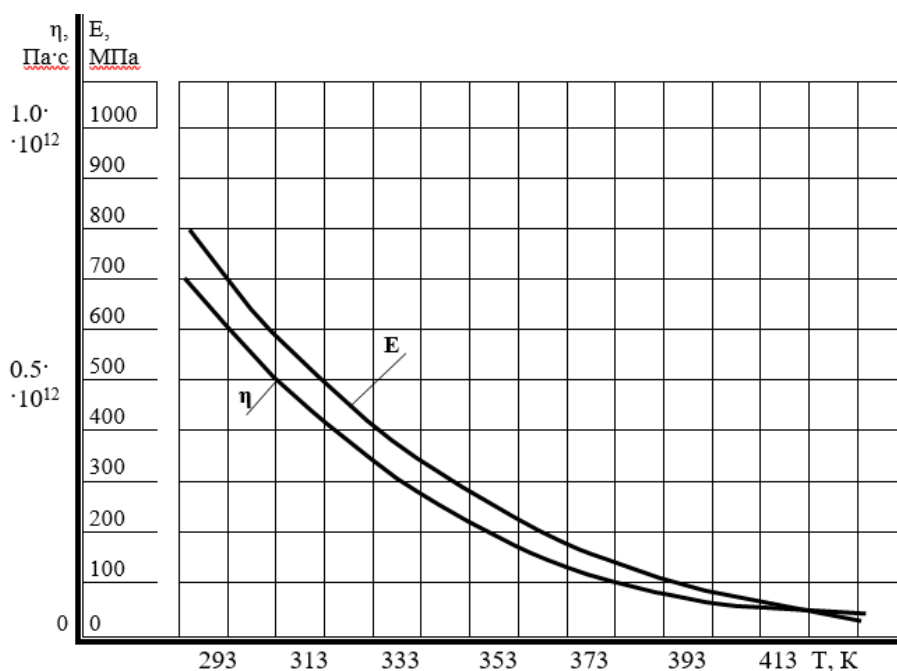


Рис 2. Температурная зависимость E и η для ударопрочного винипласта.

Заключение

На уровне изобретения 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.

-
1. А.с.1226164 СССР, МКИ G 01 N 11/00. Способ определения вязкости конструкционных материалов / О.А. Одиноква, А.В. Одинок, Т.П. Чернова, Г.И. Назарова (СССР). – 1986. – Бюл. № 15. 3 с.
 2. Одиноква, О.А., Одинок, 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. – С.62-67.
 3. Слесарев, М.И. Применение ударопрочного винипласта в конструкции воздухопроводов судовой вентиляции: Дис. ...канд. техн. наук. – Хабаровск, 1988. – 207 с.
 4. Гольберг, И.И. Механическое поведение полимерных материалов. – М.: Химия, 1970.

УДК 537.523.4

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ МАССОПЕРЕНОСА ПРИ ЭЛЕКТРОИСКРОВОМ ЛЕГИРОВАНИИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ РАЗМЕРОВ АНОДА

С.А. Пячин^{1,2}, А.В. Беля², О.И. Каминский^{1,2}

¹Институт материаловедения ХНЦ ДВО РАН (г.Хабаровск)

²Тихоокеанский государственный университет (г.Хабаровск)

pyachin@mail.ru

CALCULATION OF MASS TRANSFER PARAMETERS FOR ELECTRIC SPARK DOP- ING DEPENDING ON ANODE SIZES

S.A. Pyachin^{1,2}, A.V. Belya², O.I. Kaminsky^{1,2}

¹Institute of Materials Science, Kola Science Center, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences (Khabarovsk)

²Pacific State University (Khabarovsk)

pyachin@mail.ru

DOI: 10.2250/PFARE.2019.133-136

Электроискровое легирование (ЭИЛ) – это метод модификации физико-механических свойств поверхностей металлов и сплавов за счет воздействия коротких разрядных импульсов. Протекание таких разрядов сопровождается электрической эрозией, которая заключается в разрушении поверхности электродов и выбросом вещества из зоны воздействия разрядов. Часть продуктов электриче