

Результаты расчетов согласуются с известными решениями [3]. Наличие отверстий и их количество оказывают влияние на распределение напряжений. Наибольшая концентрация напряжений наблюдается вблизи отверстий.

При проведении расчетов можно отметить удобный и понятный интерфейс Abaqus, возможность выбора различных свойств материала, наглядное построение конечно-элементной сетки, визуализацию полученных результатов. Кроме того, одним из преимуществ Abaqus является возможность решения смешанных задач мультифизики.

Программный комплекс Abaqus может быть рекомендован к использованию в учебном процессе и в научных исследованиях.

Библиографический список

1. Нуштаев Д.В. Abaqus. Пособие для начинающих. Пошаговая инструкция. – М.: Тесис, 2010. – 78 с. – Режим доступа: <http://tesis.com.ru>.
2. Электронное методическое пособие «Simulia Abaqus». Решение прикладных задач. – М.: Тесис, 2015. – 121 с. – Режим доступа: <http://tesis.com.ru>.
3. Тимошенко С.П., Гудьер Дж. Теория упругости. – М.: Наука, 1975. – 576 с.

УДК 532.135

Моделирование динамических характеристик полимерных жидкостей в условиях наложения осциллирующих колебаний на стационарный сдвиг

О.А. Прошкина, О.А. Кондратьева
АлтГПУ, г. Барнаул

Полимерами называют соединения, молекулы которых состоят из большого числа атомных группировок, соединенных химическими связями в длинные цепи, которые называют макромолекулами или полимерными цепями.

Но в первую очередь, полимерные материалы – это сырье, которое необходимо переработать, чтобы сформировать из него изделие. В настоящее время большее значение приобрели методы формирования путем перевода материала в текучее состояние, придание раствору или расплаву требуемой формы и последующего затвердевания в форме изготавливаемого изделия.

Известны два способа построения реологического уравнения состояния: феноменологический и структурно–кинетический (статистический).

При феноменологическом подходе теория движения макроскопических тел строится на основании общих, найденных из опыта, закономерностях. Достоинства этого подхода заключаются в сравнительной простоте получаемых соотношений и в том, что проведенные на его основе расчеты хорошо согласуются с экспериментальными данными. Недостатками является то, что нельзя проследить связь между макро- и микрохарактеристиками объекта исследования и, хотя феноменологические теории и согласуются с опытом, они обладают малой прогностической способностью.

При статистическом подходе описание объекта строят, учитывая в некотором приближении молекулярное строение вещества и достаточно сложные процессы межмолекулярного взаимодействия. Затем, применяя вероятностные методы, вводятся средние по ансамблю всевозможных реализаций характеристики, которые отождествляются с величинами, определяемыми на опыте. Достоинствами этого подхода является возможность проследить связь между макро- и микрохарактеристиками объекта, а также лучшая по сравнению с феноменологическим подходом прогностическая способность получаемых теорий. Недостатками – необходимость использования не всегда достаточно обоснованных моделей элементов структуры и их взаимодействия, т.е. привлечение дополнительных гипотез, а также большие математические трудности при постановке и решении проблемы, сложность получаемых уравнений.

Полученные любым из этих подходов реологические определяющие соотношения или реологические модели должны проверяться на соответствие реальным свойствам полимерных жидкостей [1]. Эта проверка может быть выполнена как путем сравнения новых моделей с уже имеющимися, так и сопоставлением расчетных и экспериментальных данных.

В качестве такой модели используем модифицированную реологическую модель Виноградова–Покровского [2,3]. Особенностью этой модели является учет тензорного характера коэффициента трения бусинок, который связан с наведенной анизотропией сдвигового потока. Такая анизотропия определяется размерами и формой макромолекулярного клубка и это приводит к появлению в уравнениях динамики соответствующих коэффициентов. Обобщение этой модели на многомодовый случай имеет вид:

$$\sigma_{ik} = -p\delta_{ik} + 3\frac{\eta_0}{\tau_0}\alpha_{ik}$$

$$\frac{d}{dt}\alpha_{ik} - v_{ij}\alpha_{jk} - v_{kj}\alpha_{ji} + \frac{1 + (k - \beta)I}{\tau_0}\alpha_{ik} = \frac{2}{3}\gamma_{ik} - 3\frac{\beta}{\tau_0}\alpha_{ij}\alpha_{jk}$$

где σ_{ik} – тензор напряжений; p – гидростатическое давление; η_0 и τ_0 – начальные значения сдвиговой вязкости и времени релаксации для полимерной составляющей; η_1 – остаточная сдвиговая вязкость, учитывающая наличие растворителя; v_{ik} – тензор градиентов скорости; α_{ik} – симметричный тензор анизотропии второго ранга; $I = \alpha_{ik}$ – первый инвариант тензора анизотропии; $\gamma_{ik} = (v_{ik} + v_{ki})/2$ – симметризованный тензор градиентов скорости; κ, β – феноменологические параметры модели, учитывающие в уравнениях динамики макромолекулы размеры и форму макромолекулярного клубка. Отметим, что значения параметров κ и β не являются независимыми.

Изначально было сделано предположение, что значение сдвиговой вязкости не зависит или зависит незначительно от номера моды, однако, эксперименты показали некорректность этого предположения, потому что влияние параметров для каждой конкретной моды неодинаково, поэтому имеет смысл рассматривать каждую моду в отдельности.

По полученной математической модели были проведены расчеты. При помощи вариации переменных были получены следующие результаты:

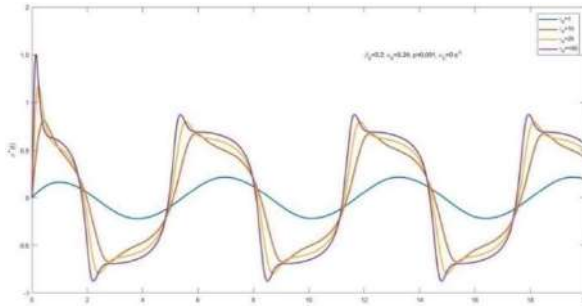


Рисунок 1 – Установление сдвиговых напряжений при разных значениях деформаций: $\gamma_-(0) = 1, \gamma_-(0) = 10, \gamma_-(0) = 25, \gamma_-(0) = 50, v_0 = 0$

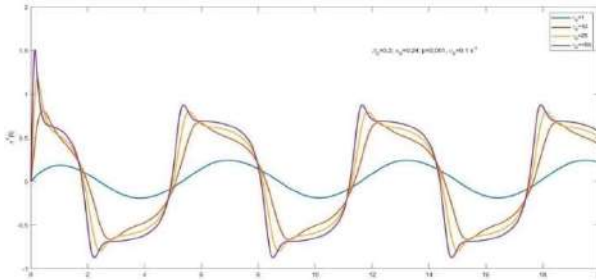


Рисунок 2 – Установление сдвиговых напряжений при разных значениях деформаций: $\gamma_-(0) = 1, \gamma_-(0) = 10, \gamma_-(0) = 25, \gamma_-(0) = 50, v_0 = 0.1$

Несмотря на достигнутый в настоящее время прогресс, следует отметить, что ранее были получены реологические модели в предположении, что все макромолекулы в рассматриваемом объеме имеют одинаковую длину, то есть это были модели монодисперсных полимеров. Вместе с тем полимеры, с которыми приходится иметь дело на производстве, часто характеризуются существенной полидисперсностью и поэтому необходима модернизация используемых ранее подходов на случай учета полидисперсности.

Библиографический список

1. Мерзликина Д.А., Филип П., Пивоконский Р., Пышнограй Г.В. Многомодовая реологическая модель и следствия для простого сдвига и растяжения // Механика композиционных материалов и конструкций. 2013. Т. 19. № 2. С. 254–261.
2. Пышнограй Г.В., Третьяков И.В., Алтухов Ю.А. Математическое моделирование процесса формирования полимерных пленок в условиях двухосного растяжения с учетом теплопереноса // Прикладная механика и техническая физика. 2012. Т. 53. № 2 (312). С. 84–90.
3. Мерзликина Д.А., Пышнограй Г.В., Пивоконский Р., Филип П. Реологическая модель для описания вискозиметрических течений расплавов разветвленных полимеров // Инженерно-физический журнал. 2016. Т. 89. № 3. С. 643–651.

УДК 532.5+519.6

Моделирование конвективных течений с учетом тепло- и массопереноса на границах раздела в областях различной геометрии

***Е.В. Резанова**
АлтГУ, г. Барнаул*

Конвективные течения жидкостей играют значительную роль как в природных, так и технологических процессах. Многие из них достаточно сложны для изучения в связи с наличием осложняющих факторов, таких, например, как наличие тепло- и массопереноса через границы раздела [1-3]. Эти процессы могут учитываться при изучении конвективных течений как по отдельности, так и совместно.

Исследуются двухслойные течения в системе "жидкость-газ" в горизонтальном канале с твердыми непроницаемыми стенками сопровожда-