

А. В. Казаков, старший преподаватель
Пермский государственный технический университет;
В. Г. Савченко, технический директор
ООО «Камский кабель»;

Н. М. Труфанова, доктор технических наук, профессор
Пермский государственный технический университет

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА ПОЛИМЕРА В ГОЛОВКЕ ЭКСТРУДЕРА С УЧЕТОМ И БЕЗ УЧЕТА ЗАВИСИМОСТИ ВЯЗКОСТИ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ

Рассмотрено решение задачи истечения расплава полимера через коническо-цилиндрический канал головки трех экструдеров и приведено сравнение результатов, полученных при учете зависимости вязкости расплава как от скорости деформации, так и от совместного влияния тензора скоростей деформации и температуры.

Ключевые слова: тепло- и массоперенос, головка экструдера, вязкость полимера

В процессе производства проводов и кабелей с полимерной изоляцией возникает необходимость наложения нескольких слоев изоляции. Поочередное наложение каждого слоя за отдельный проход экономически невыгодно и связано с рядом технологических трудностей. Поэтому весь процесс формирования на токопроводящей жиле трех слоев изоляции производится в формующем инструменте одновременно, с использованием трех экструдеров и кабельной головки сложного профиля.

В данной статье рассмотрен расчет течения и теплообмена сшитого полиэтилена марки LE4421M фирмы Borealis в канале кабельной головки при различном характере зависимости вязкости расплава от параметров процесса. Особый интерес в задаче представляют участки слияния двух потоков от различных экструдеров.

С целью упрощения модели вводится ряд допущений: процесс стационарный, пренебрегаем гравитационными и инерционными силами, на границах модели, образованных формующим инструментом, задаются условия прилипания и непроницаемости, расплав полимера несжимаем, теплофизические характеристики не зависят от температуры, течение осесимметричное.

Математическая модель базируется на рассмотрении законов сохранения массы, количества движения и энергии [1]. В цилиндрической системе координат математическая модель представляет собой набор уравнений неразрывности, движения и энергии, дополненных граничными условиями:

уравнение неразрывности:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial(rV_r)}{\partial r} + \frac{\partial V_y}{\partial y} = 0;$$

уравнения движения:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left[r \left(2\eta \frac{\partial V_r}{\partial r} \right) \right] - \frac{2}{r^2} \eta V_r + \frac{\partial}{\partial y} \left[\eta \left(\frac{\partial V_y}{\partial r} + \frac{\partial v_r}{\partial y} \right) \right] = \frac{\partial P}{\partial r},$$

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left[r \eta \left(\frac{\partial V_y}{\partial r} + \frac{\partial V_r}{\partial y} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left(2 \eta \frac{\partial V_y}{\partial y} \right) = \frac{\partial P}{\partial y};$$

уравнение энергии:

$$c_p \left(V_r \frac{\partial T}{\partial r} + V_y \frac{\partial T}{\partial y} \right) = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(\lambda r \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \Phi,$$

где η – эффективная вязкость, зависящая как от скорости сдвига, так и от температуры $\left(\eta = e^{-\beta(T-T_0)} \mu_0 \left(\frac{I_2}{2} \right)^{\frac{n-1}{2}} \right)$; V_r , V_y – радиальная и продольные компоненты вектора скорости; ρ – плотность полимера; T – температура; p – давление; μ_0 – начальная вязкость; I_2 – второй инвариант тензора скоростей деформации; n – показатель аномалии; β – температурный коэффициент вязкости; Φ – функция диссипации $\left(\Phi = \eta \frac{I_2}{2} \right)$.

На рис. 1 приведена схема экструзионной головки для одновременного наложения трех слоев изоляции.

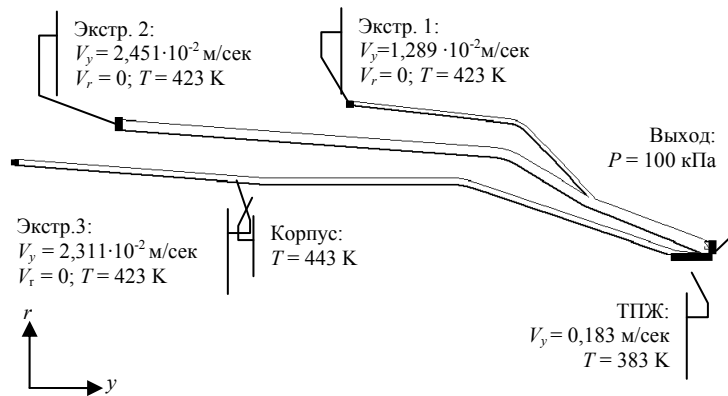


Рис. 1. Вид канала истечения и граничные условия

Граничные условия определяются заданными параметрами технологического процесса экструзии (производительности экструдеров, температура подогрева формирующего инструмента), которые обеспечивают оптимальное использование имеющегося оборудования при сохранении должного качества получаемого продукта (равномерность наложения изоляции, отсутствие термической деструкции полимера) и максимально возможной линейной скорости движения кабеля.

Скорость движения частиц полимера, непосредственно примыкающих к неподвижным стенкам дорна и матрицы, приравниваем к нулю (условия прилипания): $V_r = V_y = 0$. По тем же соображениям в зоне контакта расплава и жилы скорость равна линейной скорости протяжки жилы ($V_y = 0,183$ м/сек, $V_r = 0$). Скорости расплава на входе в канал рассчитаны исходя из заданной производительности экструдеров

и площади поперечного сечения каждого из трех каналов ($V_{y1} = 1,289 \cdot 10^{-2}$ м/сек, $V_{y2} = 2,451 \cdot 10^{-2}$ м/сек, $V_{y3} = 2,311 \cdot 10^{-2}$ м/сек) как среднее значение скорости по сечению канала. Температура частиц, прилегающих к корпусу, равна температуре формирующего инструмента ($T_k = 443$ К), температура в зоне контакта с жилой определяется температурой предварительного прогрева жилы ($T_j = 383$ К), температура расплава полимера на входе в канал равна температуре полимера на выходе из экструдеров ($T_3 = 423$ К). На выходе расчетной области задается условие свободного истечения (давление равно атмосферному – $P = 100$ кПа).

Полиэтилен имеет следующие реологические и теплофизические свойства:

– плотность, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	779;
– вязкость, $\frac{\text{Па}}{\text{с}}$	10 825;
– теплоемкость, $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$	2 500;
– теплопроводность $\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$	0,182;
– коэффициент аномалии	0,44;
– температурный коэффициент вязкости $\beta, \frac{1}{\text{К}}$	0,007.

Рассматриваемая задача решалась численно при помощи метода конечных элементов, для чего использовалась среда инженерных расчетов ANSYS с библиотекой FLOTTRAN CFD [2].

С целью наглядного сравнения влияния на результат правильности выбора математической модели было произведено два расчета. В одном учитывалась зависимость вязкости только от тензора скоростей деформации полимера, в другом учитывалась зависимость вязкости не только от скорости сдвига, но и от температуры.

Далее приведено сравнение результатов расчета для обоих вариантов постановки задачи.

На рис. 2 показано распределение скорости течения полимера по каналу. При этом для модели, учитывающей зависимость вязкости от температуры и деформации, наблюдается эффект противотока расплава в зоне сужения канала, где материал соприкасается с токопроводящей жилой.

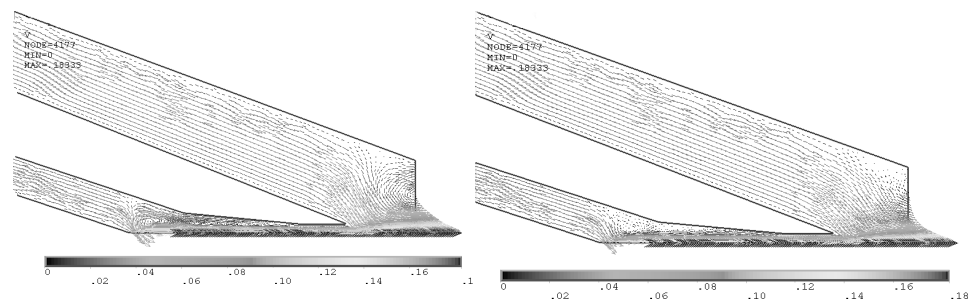


Рис. 2. Векторные направления скорости
(здесь и далее: слева с учетом температурной зависимости, справа – без)

На рис. 3 представлены распределения температурных полей, полученные в результате численного решения. Для модели, учитывающей зависимость $\eta = f(T)$ (левая часть рисунка), хорошо заметна область диссипативного перегрева материала, в которой взаимодействуют основной поток расплава полимера и противоток, обусловленный «засасыванием» материала из соседнего канала.

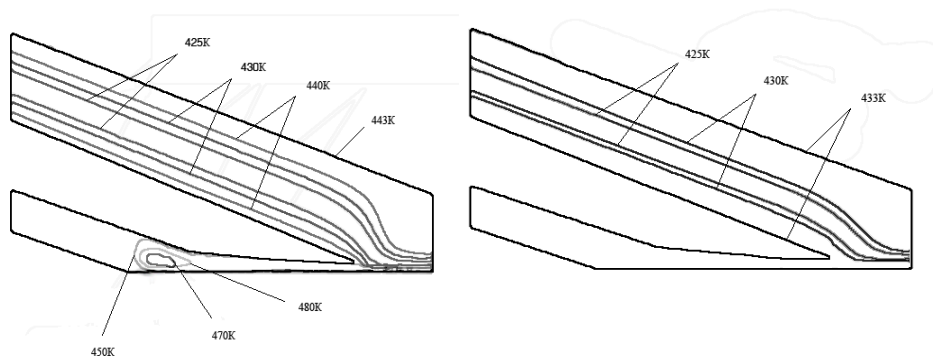


Рис. 3. Температурные поля

Анализ полученных распределений для двух рассмотренных математических моделей процессов тепломассопереноса расплава полимера показывает, что для указанных граничных условий, теплофизических свойств материала и геометрии канала выбор конкретной математической модели дает различные результаты. Модель, в которой не учитывалась зависимость вязкости расплава, показывает отсутствие сильных перегревов, равномерное истечение потоков, меньшие касательные напряжения на выходе расчетной области. Однако более сложная математическая модель, учитывающая влияние температуры на вязкость расплава полимера, демонстрирует неэффективность предложенного технологического режима переработки полимера указанной марки на оборудовании определенной конфигурации.

Адекватность результатов, получаемых при моделировании процессов тепломассопереноса в ANSYS, была показана на примере сравнения данных, полученных в ходе натурного эксперимента и результатов расчета в комплексе ANSYS. При этом точность соответствия расчетных данных и данных, полученных в ходе эксперимента, составила порядка 10–15 процентов.

В итоге проведенных исследований можно сделать вывод о неприменимости модели, учитывающей зависимость вязкости исключительно от тензора скоростей сдвига материала, к условиям рассматриваемого технологического процесса в пользу более сложной модели.

Для обеспечения качественной изоляции реальные технологические режимы и геометрию формирующего инструмента необходимо подбирать исходя из условия недопущения обнаруженных противотоков материала, для чего должна использоваться более сложная математическая модель, что будет являться предметом для дальнейших изысканий.

Список литературы

1. Тадмор З., Гогос К. Теоретические основы переработки полимеров. – М. : Химия, 1984. – 628 с.
2. Казаков А. В., Труфанова Н. М. Разработка кабельной головки для производства кабелей с секторными жилами // Информационные управляющие системы: сб. науч. тр. – Пермь : Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2006. – С. 83–89.

* * *

A. V. Kazakov, Senior Teacher, Perm State Technical University

V. G. Savchenko, Chief Technical Development Officer, LLC “Kamckiy kabel”

N. M. Trufanova, Doctor of Technical Sciences, Professor, Perm State Technical University

Modeling of Polymer Heat and Mass Transfer Processes in Extruder Die with and without Dependence of Viscosity on Temperature

The problem of a polymer melt flow through a die channel is considered. The comparison of the results obtained with and without dependence of polymer viscosity on temperature was performed.

Keywords: heat and mass transfer, extruder die, polymer viscosity

Получено 14.12.09

УДК 517.958

Кочеева И. Ф., магистрант;

Гаас С. О., магистрант

Чайковский технологический институт (филиал)
Ижевского государственного технического университета

**МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОЦЕНКА ВЕРТИКАЛЬНЫХ ВИБРОНАГРУЖЕНИЙ
ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА**

Рассмотрены вопросы моделирования вертикальных составляющих перемещений транспортного средства, которые являются наиболее опасными для водителя и автомобиля.

Ключевые слова: моделирование, вибронагруженность, транспортное средство

При исследовании динамических процессов реальных объектов удобно воспользоваться его моделью, которая сохраняет только его существенные свойства. Автомобиль как колебательную систему можно представить в виде системы сосредоточенных абсолютно твердых инерциальных элементов (масс), соединенных безынерциальными упругими элементами и элементами, обеспечивающими рассеивания энергии при колебаниях [1, 2].

В отличие от известных подходов [5, 6], математическую модель объекта запишем в виде системы уравнений Гамильтона. Данный подход показал свои преимущества в моделировании и исследовании прикладных задач [3].

Исследуем влияние дорожного покрытия на водителя и части автомобиля, в качестве которого выбран магистральный седельный тягач (рис. 1).

Колебания транспортного средства (автомобиля) при движении по неровной дороге оказывают влияние на состояние водителя и пассажиров [4–9]. Колебания снижают эксплуатационные характеристики автомобиля, отражаются на сохранности перевозимого груза. Поэтому одними из основных требований, предъявляемых к современному транспорту, являются повышение плавности хода и улучшение комфортабельности (удобства) езды. Колебания транспортного средства разделяют на низкочастотные (до 15–18 Гц), высокочастотные и вибрации. Вибрационная чувствительность организма человека составляет 15–1 500 Гц. С высокой частотой колеблются неподрессоренные массы, а с низкой – поддрессоренные массы (например, кузов) [10–12].

Действие колебаний на организм человека зависит от частоты, амплитуды, продолжительности действия и направления. Влияние знакопеременных ускорений на организм человека в большей степени зависит от частоты колебаний. С увеличением частоты даже небольшие ускорения колебаний могут вызвать неприятные ощущения.