

УДК 621.315

В.В. ЧерняевПермский национальный исследовательский политехнический университет,
Пермь, Россия**ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПЛАВЛЕНИЯ
ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ В КАНАЛАХ ЭКСТРУДЕРОВ
С НЕКЛАССИЧЕСКОЙ ГЕОМЕТРИЕЙ**

Проводится сравнительный анализ рабочих характеристик шнеков с классической и неклассической (с дополнительным барьерным гребнем) геометрией. На основании разработанной математической модели представлены результаты численного исследования процессов тепломассопереноса в каналах шнеков неклассической геометрии. Приводятся графики полей температур, а также профиль нерасплавленной фазы полимера в зависимости от длины канала. Доказано, что введение дополнительного гребня позволяет значительно ускорить плавление полимера путем разделения канала плавления на два – «канал твердой фазы», содержащий твердую пробку, в котором собственно и протекает процесс плавления, и «канал расплава», служащий для транспортирования и гомогенизации расплава. При такой конструкции увеличивается разогрев материала, проходящего над барьерным гребнем, и повышается однородность расплава полимера. При этом зазор над барьерным гребнем обеспечивает относительно малое сопротивление потоку расплавленного полимера, переносимого из канала твердой фазы в канал расплава.

Ключевые слова: полимер, экструзия, плавление, шнек, реология.

V.V. Cherniaev

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

**NUMERICAL STUDY OF POLYMERS MELTING PROCESSES
IN EXTRUDING PRESS CAVITIES OF NON-CLASSICAL GEOMETRY**

The article represents comparative analysis of classical and non-classical geometry (with an additional barrier screw) stock screws operating capabilities. The developed mathematical model has provided obtaining results of numerical study of heat and mass transfer processes in stock screw cavities of non-classical geometry. There are given temperature fields diagrams and polymer solid phase profile depending on the cavity length. It is estimated that using additional barrier screw would considerably accelerate polymer melting process by dividing the melting cavity onto two areas: «solid phase cavity» containing solid baffle where the melting process takes place, and «melting cavity» serving for melt transportation and metering. This additional barrier screw equipment optimizes the heating process of polymer flowing through the cavity and also provides polymer homogeneity. The resistance of the melting polymer flow decreases on the way from «solid phase cavity» into «melting cavity».

Keywords: polymer, extrusion, melting, stock screw, rheology.

Экструзия представляет собой непрерывный технологический процесс, заключающийся в продавливании материала через формирующий инструмент, с целью получения изделия с поперечным сечением нужной формы. В промышленности методом экструзии изготавливают различные погонажные изделия, такие как трубы, листы, плёнки, оболочки кабелей, элементы оптических систем светильников и т.д. [1].

Основным технологическим оборудованием для переработки полимеров в изделия методом экструзии являются одночервячные шнеки, хотя в последнее время наметился переход к шнекам с более сложной геометрией. В зоне плавления таких шнеков расположен дополнительный (барьерный) гребень, делящий канал плавления на два – «канал твердой фазы», содержащий твердую пробку, где и протекает процесс плавления, и «канал расплава», служащий для транспортирования и гомогенизации расплава. При такой конструкции увеличивается разогрев материала, проходящего над барьерным гребнем, и повышается однородность расплава полимера. Зазор над барьерным гребнем в 5–6 раз больше зазора над основным гребнем, что обеспечивает относительно малое сопротивление для потока расплавленного полимера, переносимого из канала твердой фазы в канал расплава [2, 3].

Для более подробного исследования процессов тепло-, массопереноса, протекающих в каналах таких шнеков, была разработана математическая модель, учитывающая наличие дополнительного гребня, а также неньютоновский характер течения расплава полимера [4]. С помощью разработанной программы было проведено численное исследование процессов плавления в экструдерах с неклассической геометрией. Ниже приведены характерные зависимости изменения формы пробки по длине и распределения температур к каналу, полученные для шнека неклассической геометрии (изменяется высота каналов при неизменной ширине). Расчет проводился для шнека, с базовой геометрией, заданной ниже; при расходе 78,7 кг/ч.

Базовая геометрия и режим работы шнека

Диаметр шнека	90 мм
Число витков	8/8/10
Глубина канала в зоне загрузки	15 мм
Глубина канала в зоне дозирования	7 мм
Угол навивки	17,23°
Ширина основного гребня	11,5 мм
Частота вращения шнека	60 об/мин
Расход	41 кг/ч

Ширина барьерного гребня принималась равной 16 мм, зазор над барьерным гребнем составлял 1 мм. Перерабатываемый материал – полиэтилен высокой плотности.

Физические свойства полиэтилена высокой плотности

<i>Свойства расплава полимера</i>	
Показатель аномалии вязкости	0,5
Температурный коэффициент	$0,007\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$
Начальная вязкость	25000 Па·с
Теплопроводность	$0,182\text{ Вт/м}^{\circ}\text{C}$
Плотность	779 кг/м^3
<i>Свойства твердого полимера</i>	
Теплопроводность	$0,335\text{ Вт/м}^{\circ}\text{C}$
Плотность	920 кг/м^3
Теплоемкость	$2680\text{ Дж/кг}^{\circ}\text{C}$
Температура плавления	$130\text{ }^{\circ}\text{C}$

На рис. 1 представлена типичная картина изменения формы твердой пробки в зоне плавления шнека.

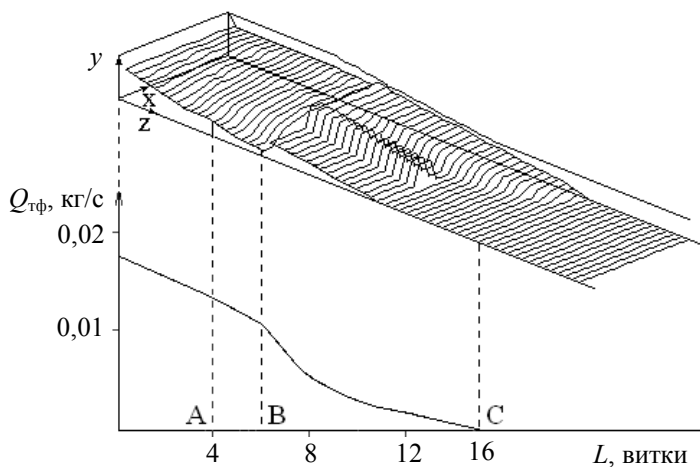


Рис. 1. Изменение расхода твердой фазы по длине канала

Здесь же приведена зависимость изменения расхода нерасплавленного полимера по длине канала. Из рисунка видно, что до введения барьерного гребня плавление материала с различной скоростью происходит одновременно по всей криволинейной поверхности раздела фаз. На этом участке механизм процесса плавления можно объяснить следующим образом: тепло, расходуемое на нагрев и плавление, поступа-

ет в расплав от двух источников: внешнего и внутреннего, обусловленного энергией вязкого трения и действующего в каждой точке расплава полимера. Перенос тепла, в том числе и к границе твердой фазы, осуществляется как за счет конвективного, так и за счет диффузионного механизма. Однако в силу плохой теплопроводности полимерных материалов и интенсивной циркуляции расплава вклад конвективного переноса тепла превалирует над диффузионным. Поэтому наиболее нагретые слои расплава полимера у поверхности цилиндра уносятся к толкающему гребню нарезки червяка, где и происходит наиболее интенсивное плавление материала.

В точке А начинается конусная часть канала. С этого момента барьерный гребень отделяется от основного, уплотняя пробку полимера и поджимая ее к нагретому корпусу. Однако для упрощения мы пренебрегли данной переходной зоной, приняв, что на этом участке плавление происходит по классическому механизму.

Начиная с точки В, в канал шнека внедряется барьерный гребень. При этом твердая пробка уплотняется и перераспределяется в канале твердой фазы. Если пробка не влезает в канал, ее ускоряют, сохраняя расход твердой фазы постоянным. Теперь механизм плавления существенно отличается от предыдущего.

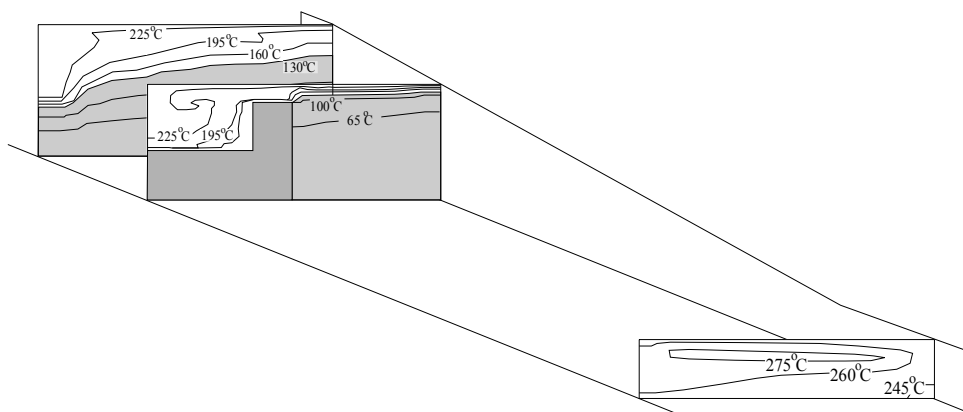


Рис. 2. Поля температур

Пробка полимера постоянно поджимается к разогретой верхней стенке, а весь вновь расплавленный полимер удаляется в канал расплава. А так как пленка полимера над пробкой достаточно тонка, она не вносит существенного теплового сопротивления. Вследствие этого

количество тепла, поступающего в твердую фазу, за счет теплопроводности увеличивается и соответственно скорость плавления возрастает, что соответствует резкому снижению расхода твердой фазы (см. рис. 1).

Такой режим, при котором пробка все время поджимается к нагретой поверхности, был бы наиболее целесообразен. Однако практически он труднодостижим, поскольку при малейшем отклонении от заданных условий переработки возрастает вероятность закупорки. Поэтому вследствие недостаточного поджатия пробки над ней начинает образовываться собственный бассейн расплава, и скорость плавления снижается (вторая половина кривой ВС (см. рис. 1).

Поля температур, представленные на рис. 2, построены в виде изотерм. Светло-серая область соответствует нерасплавленной пробке полимера, темно-серая – барьерному гребню. На рисунке отчетливо видна область максимального нагрева, которая образуется у толкающей стенки. Также можно заметить, что при введении барьерного гребня в зазор над пробкой возникают большие градиенты температур, ускоряющие процесс плавления.

Таким образом, можно сделать вывод о значительной интенсификации процесса плавления при введении в зону плавления барьерного гребня.

Библиографический список

1. Щербинин А.Г., Труфанова Н.М., Янков В.И. Пространственная математическая модель одночервячного пластицирующего экструдера. Сообщ. 1: Математическая модель тепломассопереноса полимера в канале экструдера // Пластические массы. – 2005. – №5. – С. 43–45.
2. Performanse Study of Barrier Screws in the Transition Zone // Pol. Eng. and Science. – 1988. – № 5.
3. Mathematical modeling of melting of polymers in barrier – screw extruders // Pol. Eng. and Science. – 1983. – № 2.
4. Субботин Е.В., Черняев В.В. Исследование влияния геометрии шнека на процесс плавления // Вестник ПГТУ. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2009. – № 3.

Сведения об авторе

Черняев Владислав Васильевич (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры конструирования и технологии в электротехнике Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: ktei@pstu.ru).

About the author

Cherniaev Vladislav Vasilievich (Perm, Russian Federation) is PhD in Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Design and Technology in Electrical Engineering, Perm National Research Polytechnic University (614990, 29, Komsomolsky prospect, Perm, e-mail: ktei@pstu.ru).

Получено 06.09.2013