

# Переработка полимерных композиций в экструдерах (проблема износа рабочих органов)

А.Н. Гладченко, д.т.н., ЗАО «Пластмаш», г. Киев, В.В. Шевеля, д.т.н., Жешувский политехнический университет, Польша, Е.В. Кияница, ЗАО «Пластмаш», г. Киев, С.Д. Петренко, к.х.н., НТУУ «КПИ», г. Киев, В.Г. Зверлин, к.т.н., ЗАО «Пластмаш», г. Киев

В настоящее время нет такой отрасли, в которой бы не применялись изделия из пластмасс. Упаковочная индустрия не является исключением: объем различных видов упаковки (пакеты, бутылки, коробки, ящики, бочки и др.) из полимеров для разнообразной продукции — как пищевой, так и промышленного назначения — на мировом рынке составляет 20–35 % в общей структуре всех используемых упаковочных материалов. По прогнозам экспертов экспансия полимерных материалов в упаковочной индустрии в ближайшей перспективе будет продолжаться.

Основой для производства различных изделий из полимеров, в том числе полимерных упаковочных материалов, являются технологические линии, на базе одно- и двухчервячных экструдеров. При большом разнообразии конструкций и типоразмеров экструдеров их объединяет физическая сущность реализуемого в них процесса — механическая энергия, подводимая к червяку (шнеку), за счет внешнего и внутреннего трения с поступающим в винтовой канал полимером переходит в тепловую, изменяя его агрегатное (от твердого до жидкого) и физическое (от вязкоупругого до вязкотекучего) состояние. Для улучшения технологических свойств при переработке полимеров и потребительских свойств изделий (упаковки) из них в полимер вводят модифицирующие добавки и наполнители: свето- и термостабилизаторы, смазки, красители, армирующие волокна, дисперсные материалы и др. Эти вещества существенно меняют механические, теплофизические и реологические свойства полученных полимерных композиций по сравнению с исходным полимером.

При этом, как правило, требуются более высокие температуры и давления

экструзии, увеличиваются механические и коррозионные нагрузки на рабочие органы экструдера, а поскольку волокнистые и дисперсные наполнители в ряде случаев обладают абразивным действием, возрастает риск преждевременного износа дорогостоящих узлов оборудования: червяков, цилиндров и формующего инструмента. Величина и соотношение окружных сил трения, действующих в зонах контакта полимера с червяком и цилиндром (рабочие органы экструдера), определяют геометрические параметры винтового канала червяка, давление и температурный режим переработки, производительность процесса и его энергоемкость [1]. В связи с резким повышением интенсивности износа рабочих органов экструдера при переработке композиций, наполненных абразивными материалами, было изучено влияние износа рабочих органов на эффективность работы экструдера по фактору радиального зазора между гребнем червяка и внутренней поверхностью цилиндра [2–6]. Основные выводы проведенных исследований показывают, что увеличение радиального зазора (в связи с износом) требует:

- увеличения частоты вращения червяка в 1,5 раза для компенсации падения давления экструзии при достижении величины зазора 1 % диаметра червяка;
- увеличения удельного расхода энергии на 50 %;
- увеличения общих издержек производства более чем в 2–3 раза.

Таким образом, знание процессов трения и износа рабочих органов при экструзии наполненных полимеров и обеспечение их высокой износостойкости являются важными условиями обеспечения оптимальных параметров технологического процесса переработки и его экономичности.



На основе информационных данных, теоретических представлений о трении и износе материалов при контакте с абразивом в полимерной матрице, а также изучения видов повреждений рабочих органов в промышленных условиях были определены главные типы контактных взаимодействий рабочих органов и перерабатываемого материала, ведущие виды износа по зонам экструдера и разработаны методики экспериментальных исследований влияния ряда наполненных полимеров, находящихся в контакте с наиболее часто применяемыми сталями, сплавами и покрытиями в экструдеростроении для различных функциональных зон экструдера, на износостойкость его рабочих органов [2, 7].

Для усиления контактных эффектов в экспериментах были выбраны следующие объекты исследований:

- полимеры, имеющие высокие физико-механические характеристики и температуры фазовых переходов: полиэтилены высокой и низкой плотности, полипропилен, поликарбонат, полиамиды 6 и 66, полиоксиметилен;
- наполнители —  $\text{FeO}$ ,  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{MqO}$ ,  $\text{ZrO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Ti}_1\text{O}_2$ , мел, тальк, каолин и др.;
- стали и сплавы на основе железа, никеля, кобальта, твердые сплавы (всего 20 наименований).



Секции червяка двухчервячного экструдера, бывшие в эксплуатации



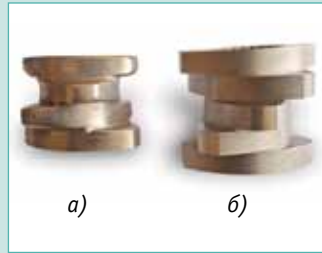
Винтовая секция червяка двухчервячного экструдера, бывшая в эксплуатации



Секции червяка двухчервячного экструдера, новые



Секции червяков двухчервячного экструдера, новые



Кулачковые секции червяков двухчервячного экструдера: бывшая в эксплуатации (а), новая (б)



Червяки двухчервячного экструдера в сборе, новые

Профилограммы дорожек трения, снятые при различной зернистости наполнителя, показали, что в первом режиме имеет место эффект полирования ( $R_a = 0,029$  мкм), во втором шероховатость остается невысокой ( $R_a = 0,056...0,1$  мкм), в третьем величина шероховатости значительна ( $R_a = 0,18$  мкм), а профилограмма имеет вид, типичный для абразивного износа по механизму резания.

Одним из главных факторов, определяющих износ металлополимерных пар трения, является температура, причем ее влияние сложно и неоднозначно. Так как при экструзии можно, в известных пределах, задавать величину температуры, то этот вопрос имеет значительный практический интерес с точки зрения минимизации износа.

В эксперименте показано, что наибольшее значение износа металла и коэффициента трения, а также минимальные значения износа полимера соответствуют температурной области релаксации полимера, в пределах которой значения внутреннего трения и модуля механических потерь приближаются к максимальному значению.

В этой связи можно сформулировать такие практические рекомендации.

При расчете геометрических параметров рабочих органов экструдера, а также определении технологических параметров режимов переработки полимеров для уменьшения их износа в зонах загрузки и сжатия необходимо стремиться, чтобы температура области максимального давления полимера была выше температуры стеклования полимера.

Влияние расплава полимерных композиций на износ рабочих органов экструдера изучали с помощью дифференциального трибоскозиметра непрерывного действия [7].

Полученные зависимости износа металла от напряжения сдвига, концентрации, размера зерна и относительной твердости наполнителей идентичны полученным при испытаниях в контакте с композициями в твердом состоянии. Вместе с тем следует учесть, что в зоне расплава полимера возрастает риск коррозионных повреждений металлических поверхностей, особенно при переработке вторичного сырья [4].

В связи с тем что в реальных условиях работы экструдера нередки случаи заедания шнека в цилиндре, были

Методика испытаний материалов рабочих органов экструдера на износостойкость предусматривала обеспечение определенных условий их контактного взаимодействия с наполненными полимерами в твердом агрегатном состоянии, соответствующих режимам переработки в зонах загрузки и частично — сжатия.

Принцип работы испытательного оборудования состоял в том, что по торцу дискового металлического образца при постоянной скорости скольжения осуществлялось трение штыревых образцов из исследуемых композиций, имитирующих единичные гранулы при ряде заданных значений внешних параметров.

В сжатом изложении результаты экспериментов выглядят так:

1. Объемный износ металлических образцов линейно зависит от пути трения — как для ненаполненных полимеров, так и для композиций. При этом наличие в полимерах абразивных наполнителей, таких как, например, оксид алюминия с микротвердостью 20,5 ГПа, резко интенсифицирует износ.
2. Зависимость износа сталей от контактной нагрузки (давления) для каждой из композиций носит линейный характер.
3. Упруго-пластические свойства изнашиваемых материалов, харак-

теризуемые с помощью диаграмм микровдавливания, также линейно влияют на объемный износ каждого из исследованных материалов.

4. Зависимость износа сталей и сплавов от относительной твердости наполнителя имеет трехстадийный характер [8]. В условиях эксперимента при отношении твердости наполнителя к твердости изнашиваемого образца меньше 1,6 величина износа и интенсивность его минимальны для таких наполнителей, как тальк и мел, в диапазоне 1,6–3,4 интенсивность износа резко возрастает, свыше 3,4 — величина износа максимальна и стабильна.
5. Концентрация наполнителей с различными твердостью и размерами (диаметром) зерна нелинейно влияет на величину износа. В диапазоне концентраций наполнителя от 1 до 50 % для каждой из композиций зависимость имеет параболический характер, износ возрастает с увеличением концентрации.
6. Размер зерна наполнителя ( $d_n$ ) нелинейно влияет на величину износа. В зависимости от размера зерна существуют три режима износа:
  - слабый износ ( $d_n < 8,5$  мкм);
  - переходный режим ( $d_n = 8,5...22$  мкм);
  - сильный износ ( $d_n > 22$  мкм).

проведены экспериментальные исследования совместимости материалов пары шнек/цилиндр как в зоне загрузки (сухое трение), так и в зоне дозирования (трение в условиях смазки расплавом полимера).

Общие выводы таковы:

- присутствие в расплаве наполнителей волокнистого или дисперсного типа заметно инициирует износ рабочих органов в условиях заедания;
- твердость поверхности материала цилиндра должна быть выше твердости гребня червяка в 1,4 раза; наиболее низкая стойкость к заеданию этой пары (самый неблагоприятный вариант) наблюдается при соотношении твердостей, равном единице;
- стойкость к заеданию выше при переработке полимерных композиций с волокнистыми наполнителями и ниже при переработке дисперсных;
- стойкость к заеданию выше при переработке более вязких расплавов полимеров и с ростом концентрации волокнистого наполнителя (экранирующий эффект), а также с уменьшением концентрации и размера зерна дисперсного наполнителя.

Приведенные в этой статье рекомендации служат основанием для разработки технических решений для конструирования, технологии изготовления и эксплуатации экструдеров в части обеспечения эксплуатационной стойкости их рабочих органов.

Для минимизации скорости износа шнеков и цилиндров экструдеров при переработке наполненных полимеров или смесей типа «полимер – концентрат модифицирующей добавки или наполненный композит» рекомендуется применять «мягкие» наполнители, такие как мел, тальк, каолин и др. Максимальные размеры частиц наполнителя должны быть менее 8,5 мкм, концентрация наполнителя в готовых изделиях не более 15–20 %. В этих случаях риски преждевременного износа рабочих органов будут минимизированы и компенсированы улучшенным соотношением цена/качество получаемого полимерного изделия (упаковки).

### Литература

1. *Силин В.А.* Динамика процессов переработки пластмасс в червячных машинах. — М.: Машиностроение. — 1972.
2. *Зверлин В.Г.* Исследование предельно допустимого износа рабочих органов червячных прессов // Химическое и нефтяное машиностроение. — 1982. — № 9. — С. 20–22.
3. *Ксантос М.* Функциональные наполнители для пластмасс. — С.-Петербург: Изд. НОТ, 2010. — 462 с.
4. *Стамбурский Е.А., Бейль А.И., Карливан В.Г., Беспалов Ю.А.* Износ оборудования при переработке пластмасс. — М.: Химия, 1985.
5. *Мэддок В.Г.* Влияние износа шнека на производительность экструдера. Вопросы экструзии термопластов. — М.: Изд-во Иностран. лит., 1983. — С. 102–106.

6. *Imrich Klein.* Predicting the effect of sczew wear on the performance of plasticating extruders // Polymer Engineering and Science. — 1975. — V. 15. — № 6. — P. 444–450.

7. *Гладченко А.Н., Зверлин В.Г., Петренко С.Д., Шевеля И.В.* Износостойкость оборудования для переработки полимерных материалов. — К., 1997.

8. *Добровольский А.Г., Кошеленко П.И.* Абразивная износостойкость материалов: Справочное пособие. — К.: Техника, 1989. *У*

### Переробка полімерних композицій в екструдерах (проблема зносу робочих органів)

*О.М. Гладченко, д.т.н., В.В. Шевеля, д.т.н., Є.В. Кияниця, С.Д. Петренко, к.х.н., В.Г. Зверлін, к.т.н.*

Автори розглянули проблеми, що виникають під час переробки композицій полімерів екструзією в різні виробі, у тому числі упаковку. Вивчили вплив зносу робочих органів на ефективність роботи екструдера для різних полімерів, наповнювачів і матеріалу робочих органів. Автори підготували практичні рекомендації як для конструювання екструдерів, так і для переробки наповнених полімерних композицій, що забезпечують мінімальний знос робочих органів екструдера.

*Ключові слова:* екструдер; шнек; циліндр; знос; полімерна композиція.

### Processing of polymer compositions in extruders (the problem of deterioration of working bodies)

*A.N. Gladchenko, Dr., V.V. Shevelya, Dr., E.V. Kiyantsa, S.D. Petrenko, Ph.D., V.G. Zverlin, Ph.D.*

The authors considered the problems of processing the compositions of polymers by extruded in various products, including packaging. They examined the effects of deterioration of working bodies on the efficiency of the extruder for various polymers, fillers, and material of working bodies. The authors have prepared a practical recommendations for the design of extruders and processing of filled polymer compositions for minimal wear of the working bodies of the extruder.

*Key words:* extruder; screw; cylinder; wear; polymer composition.



## ПОЛИМЕРНАЯ КОМПАНИЯ

ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ

Полиэтилен

Поливинилхлорид

Полипропилен

Поставки от ведущих мировых производителей

ул. Марины Расковой, 13, Киев, 02002, Украина  
 тел./факс +38 (044) 459-00-34  
 e-mail: office@ua-polymer.com  
 web: www.ua-polymer.com