

Т. А. Анасова, А. А. Панов, Р. Я. Дебердеев,
Г. Е. Заиков, А. К. Панов

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕЧЕНИЯ ИЗВИТЫХ КОМБИНИРОВАННЫХ ПОЛИМЕРОВ В УСЛОВИЯХ СЛОЖНОНАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ

Ключевые слова: полимер; расплав; соэкструзия; извитой полимерный комбинированный стержень; формующий канал.

Практический интерес представляет один из перспективных методов переработки полимеров – соэкструзия комбинированных материалов в условиях сложного сдвига. Извитость экструдата достигается благодаря скручиванию отдельных потоков и различиям коэффициентов теплового расширения каждого полимера, что приводит к изгибанию моноволокна при его охлаждении и коагуляции после выхода из формующего канала. Извитые комбинированные полимерные изделия, полученные соэкструзией с наложением вращения на процесс течения сочлененных слойно-секторных потоков, обеспечивают при скручивании более плотные соединительные швы, высокую механическую прочность на разрыв, уменьшают разбухание, увеличивают пропускную способность формующего канала, что в целом улучшает качество термопластичных изделий.

Keywords: polymer; melt; co-extrusion; coiled combined polymeric stem; molding channel.

One of the perspective methods of polymer processing - co-extrusion of combined materials in complex shift conditions - attracts interest. Simuation of an extrudate is achieved by twisting of separate flows and by the difference of thermal expansion coefficient of each polymer, that leads to twisting of monofiber during its cooling and coagulation after the molding channel. Coiled combined polymeric products being obtained by co-extrusion with twisting of combined layer-sector flow process, ensure more impervious connecting seams, high mechanical tensile strength, reduce swelling, increase the molding channel capacity, that in whole increases the quality of thermoplastic products.

Введение

Данная работа посвящена изучению гидродинамических характеристик потоков расплавов полимеров при получении слойно-секторных комбинированных круглых или профильных изделий из различных пластмасс, а также извитых стержней из комбинированных материалов таких же профилей [1]. Смысл технологического процесса получения слойно-секторных извитых изделий методом экструзии заключается в том, что микропоры и другие дефекты, которые обычно наблюдаются в нитях (или скрутках), перекрываются бездефектными участками при скручивании потоков расплавов полимеров, и в целом стержень оказывается однородным. Этот процесс позволит получить извитые прутки, нити и комбинированные волокна. Одна из основных технологических схем получения многослойных секторных изделий предполагает совмещение расплавов нескольких полимеров в общем оформляющем канале экструзионной головки, т.е. производить каркасивание готовых изделий.

Преимущество такого процесса соэкструзии нескольких компонентов, поперечные сечения которых имеют форму соприкасающихся секторов, состоит в том, что такая технология позволяет получать извитые стержни, прутки, нити и волокна, свойства которых аналогичны свойствам натуральной шерсти.

Извитость экструдата достигается благодаря скручиванию потоков и различиям коэффициентов теплового расширения отдельных материалов, что приводит к изгибанию моноволокна при его охлаждении и коагуляции после выхода из формующего канала.

Извитые комбинированные полимерные изделия, полученные соэкструзией с вращением со-

члененных отдельных слойно-секторных слоев, имеют более плотные соединительные швы и высокую механическую прочность на разрыв [2]. Происходит также уменьшение эффекта разбухания комбинированного экструдата и увеличивается пропускная способность формующего канала, в целом улучшается качество термопластических изделий.

Методика эксперимента

Исследования технологического процесса соэкструзии комбинированных расплавов полимеров проводилось на опытной установке рис.1, состоящей из трех цилиндров высокого давления 1 с внутренним диаметром 50 мм и длиной 500 мм, к которым через соединительный блок 2 была подсоединена экструзионная головка 3.

Каждый цилиндр 1, подводящие каналы 2 и формующая головка 3 нагревались отдельными теплоэлементами. Температура измерялась термометрами с помощью потенциометров ЭПВ-2.

Выдавливание расплава полимера из цилиндров осуществлялось давлением, создаваемым сжатым воздухом, и регулировалось редуктором РС-250.

Поставленная цель достигается тем, что в экструзионной головке для изготовления извитых изделий из термoplastов, канал втулки для прохода материала на входном участке сообщен с подводящими патрубками и имеет распределительные выступы треугольной формы. Сама головка содержит корпус с подводящими патрубками, которые сообщаются с экструдерами. Также в головке имеются размещенная в ее корпусе втулка с каналом для прохода материала, связанная с приводом вращения, и мундштук с формующим каналом. Кроме того, экструзионная головка снабжена переходным диском с конической камерой, размещенным между подводящими патрубками и втулкой.

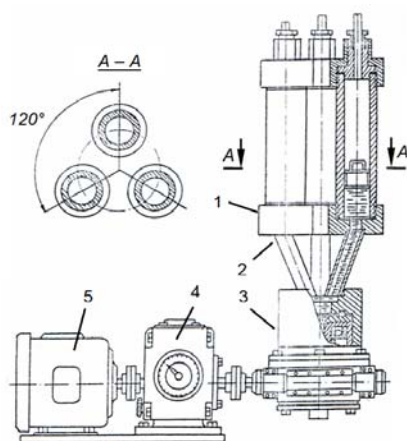
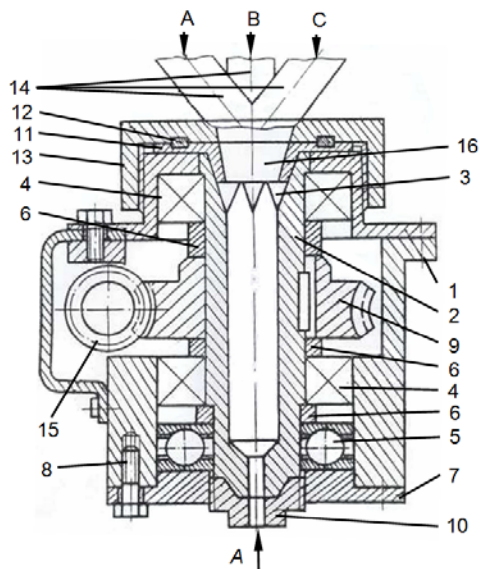


Рис. 1 - Установка для изучения слойно-секторного извитого течения комбинированных расплавов полимеров (по А. С. СССР №994283): 1 - цилиндр высокого давления; 2 - соединительный блок; 3 - экструзионная головка; 4 - вариатор; 5 - электродвигатель

На рисунке 2 представлена конструкция экструзионной головки.



Обозначение позиций см. в тексте

Рис. 2 - Конструкция экструзионной головки для изготовления извитых комбинированных изделий из различных термопластов: 1 - разъемный корпус; 2 - вращающийся цилиндр; 3 - треугольные выступы; 4 - радиальный подшипник; 5 - упорный подшипник; 6 - втулка; 7 - крышка; 8 - болт; 9 - червячное колесо; 10 - формующий канал; 11 - переходной диск; 12 - уплотнительное кольцо; 13 - крышка; 14 - подводящие патрубки; 15 - червяк; 16 - коническая камера. А, В, С - расплавы полимеров

На рисунке 3 представлен разрез этой головки. Червяк 12 размещен в подшипниковых узлах 13 и 14, которые с помощью пластин 15 соединены болтами 16 к корпусу 1 кронштейном 17, и закрыт кожухом.

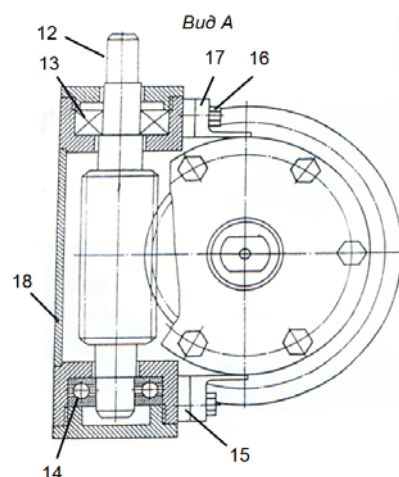


Рис. 3 - Конструкция экструзионной головки для изготовления извитых изделий из термопластов

Головка работает следующим образом. Расплавы полимеров, подаваемые от различных экструдатов, поступают по патрубкам 2, продавливаются через камеру диска 11, где происходит смешение полимерных потоков. Далее материал попадает во входной участок канала втулки 4, где остриями распределительных выступов потоки полимеров захватываются и при вращении свиваются. Далее скрученные потоки полимеров проходят по всей длине канала и поступают в формующий канал 10 в виде единого извитого полимерного стержня. Откалиброванный извитый экструдат выходит из формующего канала соответственно его профилю. В зависимости от доли вводимых компонентов меняется картина поперечного сечения скрученного комбинированного экструдата (рис. 4). У извитых полимерных изделий образуются более плотные соединительные швы, и комбинированный экструдат имеет более высокую механическую прочность на разрыв.

При вращении втулки 4 в начале и в конце канала возникает сложный сдвиг, который снижает эффективную вязкость и уменьшает гидравлическое сопротивление, что позволяет существенно увеличить объемную скорость выхода экструдата. Кроме того, в зависимости от частоты вращения цилиндра значительно снижается коэффициент разбухания [5] и при больших оборотах можно довести его до единицы, что очень важно в технологии переработки полимеров.

В зонах сложного сдвига происходит усиленная гомогенизация полимеров, что положительно сказывается на качестве извитых изделий.

Варьируя скоростью вращения втулки другими технологическими параметрами, можно легко добиться оптимального режима переработки полимеров с любыми физико-химическими свойствами.

Откалиброванный извитый экструдат выходит из формующего канала соответствующий его профилю. Меняя формующий канал различными формами поперечных сечений в головке, можно получать комбинированные полимерные изделия, соответствующие профилю калибрующего канала.

Изменение доли вводимого компонента в комбинированные изделия осуществляется с помо-

цью повышения или понижения давления или температуры в соответствующих цилиндрах высокого давления.

В зависимости от доли вводимых компонентов меняется картина поперечного сечения скрученного комбинированного полимерного экструдата.

Численные значения коэффициентов разбухания комбинированного извитого экструдата из черного и белого полиэтилена марки ПВД, полученные экспериментально в зависимости от частоты вращения цилиндра и перепада давления, приведены в

Таблица 1 - Численные значения коэффициентов разбухания комбинированного экструдата черного и белого полиэтилена марки ПВД, в зависимости от перепада давления и частоты вращения цилиндра при $T=433K$

Коэффициент разбухания κ при различных частотах вращения цилиндра, об/с	Перепад давления в канале, МПа					
	2.0	3.0	4.0	5.0	5.5	7.0
$n=0$	1.72	1.74	1.78	1.91	1.93	1.97
$n=0.15$	1.41	1.62	1.68	1.84	1.87	1.94
$n=0.17$	1.35	1.57	1.63	1.78	1.82	1.92
$n=0.22$	1.30	1.50	1.61	1.75	1.80	1.90
$n=0.27$	1.27	1.45	1.59	1.70	1.79	1.89
$n=0.31$	1.20	1.42	1.57	1.67	1.76	1.88
$n=0.36$	1.15	1.36	1.51	1.62	1.75	1.80
$n=0.44$	1.12	1.26	1.47	1.57	1.70	1.77



Рис. 4 - Характер распределения черного и белого полиэтилена марки ПВД в поперечном срезе извитого комбинированного экструдата

На рисунке 4 показан характер распределения расплавов полиэтилена черного и белого цветов марки ПВД в поперечном разрезе извитого комбинированного экструдата. В рядах с 1 по 5 показано изменение доли вводимого черного полиэтилена от 10 до 30% от объемного расхода других марок полиэтилена. При этом стоит заметить, что поперечное сечение скрученного комбинированного экструдата 5 ряда представляет собой архимедову спираль.

При вращении цилиндра в начале и в конце его возникает сложный сдвиг, который снижает эффективную вязкость и уменьшает гидравлическое сопротивление, что позволяет существенно увеличить объемную скорость выхода экструдата в $1,6 \div 2,2$ раза. С увеличением частоты вращения цилиндра до 30 мин^{-1} в зонах сложного сдвига происходит усиленная гомогенизация полимеров, что положительно сказывается на качестве извитых изделий и

табл.1. Как видно из таблицы, коэффициент разбухания уменьшается и при перепадах давления (2.0 и 3.0 МПа). С увеличением частоты вращения цилиндра до 0,44 об/с снижение его достигло 30-35%. С увеличением частоты вращения цилиндра в зонах сложного сдвига происходит усиленная гомогенизация полимеров, что положительно сказывается на качестве извитых изделий и на увеличении пропускной способности формующего инструмента.

на увеличении пропускной способности формующего канала.

На рисунке 5 показаны экспериментальные зависимости расхода расплавов полимеров от перепада давления при течении в цилиндрическом канале диаметром 6 мм длиной 75 мм от перепада давления при различных частотах вращения цилиндра в пределах $0 - 30 \text{ мин}^{-1}$.

Результаты измерений разрывных усилий экструдатов, полученные без скручивания отдельных потоков расплавов полимеров и при скручивании во вращающемся цилиндре при различных частотах вращения и перепадах давления при температуре 443K приведены в таблице 2.

Таблица 2 - Результаты измерений разрывных усилий экструдатов

Перепад давления, МПа	Разрывное усилие экструдата (в Н), полученного при частоте вращения цилиндра, мин^{-1}						
	0	9	13	16	19	22	28
4,0	5,7	5,8	6,1	7,0	6,2	6,2	5,5
5,0	6,2	6,7	7,6	7,8	7,3	6,2	5,8
6,0	6,7	7,1	7,5	7,7	7,3	6,7	6,5
7,0	6,8	7,0	7,5	7,8	7,5	7,2	6,9

Из таблицы 2 видно, что с увеличением частоты вращения цилиндра выше 19 мин^{-1} разрывное усилие экструдата начинает снижаться, это объясняется тем, что сложный сдвиг в двух местах на входе и выходе цилиндра приводит систему к разрушению структуры.

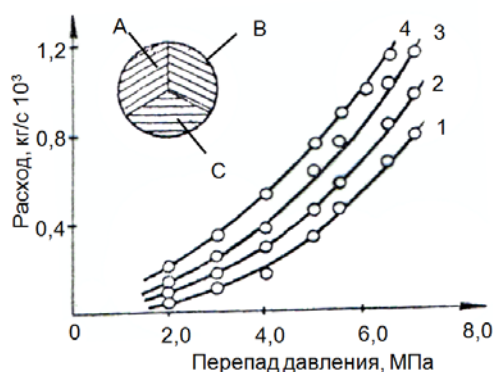


Рис. 5 - Зависимости расхода комбинированных полимеров от перепада давления при разных частотах вращения канала: А – ПВД марки 10802-020; В – ПВД марки 15802-020; С – ПВД марки 176-901; частота вращения: 1 - $n=0$ об/с; 2 - $n=10$ об/с; 3 - $n=22$ об/с; 4 - $n=30$ мин⁻¹

Таким образом, варьируя скоростью вращения цилиндра и другими технологическими параметрами, можно легко добиться оптимального режима экструзии полимеров с любыми физико-химическими свойствами.

Использование экструзионной головки для изготовления извитых изделий из термопластов позволит получать комбинированные изделия и повысить производительность установки, стабилизировать неразрывность потока и тем самым увеличить механическую прочность изделий на 15-25%.

Выводы

1. Впервые проведен систематический анализ, экспериментально исследованы процессы течения расплавов полимеров в условиях сложноподвижного состояния при вращении дорна, а также при возвратно-вращательных колебаниях элементов в предвходовой зоне каналов. На примере каналов с сечением простой и сложной формы показано, что вращение (или колебание) дорна приводит к снижению эффективной вязкости, уменьшению давления формования при сохранении производительности, к

повышению критических параметров течения, т.е. расширению диапазона «гладкой» экструзии, увеличению прочности экструдата и точности размеров изделий и улучшению их качества, а также уменьшению постэкструзионного разбухания.

2. Наложение высокочастотных малоамплитудных вибраций на потоки расплавов полимеров приводит к интенсификации процесса течения, а также улучшению прочностных характеристик полимерных изделий. Все вышеуказанные результаты имеют очень большое значение с точки зрения технологической практики.

3. Впервые экспериментально исследован процесс течения многокомпонентной системы в условиях сложноподвижного состояния и взят за основу метода получения извитых комбинированных изделий из термопластических материалов на экструзионной головке (А.С. СССР № 994283).

Литература

1. Хан Ч.Д. Реология в процессах переработки полимеров. – М.: Химия, 1979. – 366 с.
2. Анасова Т.А. Созэкструзия расплавов полимеров. – Уфа: Гилем, 2010. – 107 с.
3. Панов А.К., Анасов А.Р. Гидродинамика потоков аномально-вязких полимерных систем в формующих каналах. – Уфа: УГНТУ, 1994. – 260 с.
4. Панов А.К. Основы расчета гидродинамических характеристик потоков неньютоновских сред при течении в каналах машины аппаратов химической технологии. – Уфа: УНИ, 1984. – 95 с.
5. Панов А.К., Дорохов И.Н. Слоисто-секторное течение аномально-вязких жидкостей в формующих каналах. // Изв. вузов Химия и химическая технология. – 1988. – №11С.115-118.
6. Анасова Т.А., Панов А.К. Технология процесса созэкструзии комбинированных расплавов полимеров в условиях воздействия силовых полей // Башкирский химический журнал. – 2010. Том 17 №5. С.112-115.
7. А.С. СССР №994283 Экструзионная головка для изготовления извитых изделий из термопластов /Панов А.К., Васильев В.П.// 1983. Бюл.№5.

© Т. А. Анасова – канд. техн. наук, доц. каф. математики БГАУ; А. А. Панов – канд. техн. наук, вед. науч. сотр. Стерлитамакского филиала АН РБ; Р. Я. Дебердеев – д-р техн. наук, проф., зав. каф. технологии переработки полимеров и композиционных материалов КНИТУ, deberdeev@kstu.ru; Г. Е. Заиков – д-р хим. наук, проф., Институт биохимической физики им. Н.М.Эмануэля РАН; А. К. Панов - д-р техн. наук, проф., член-корр. АН РБ, зав. отделом ГАНУ ИПИ.