

На правах рукописи

БЕЛОБОРОДОВА ТАТЬЯНА ГЕННАДИЕВНА

**РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ И МЕТОДА РАСЧЕТА УСТАНОВКИ
ДЛЯ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ ОТХОДОВ**

Специальность 05.02.13 – "Машины, агрегаты и процессы"
("Машиностроение в нефтеперерабатывающей промышленности")

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Уфа 2001

Работа выполнена на кафедре "Оборудование нефтехимических заводов"
Стерлитамакского филиала Уфимского государственного нефтяного
технического университета.

Научный руководитель

доктор технических наук,
профессор, чл.-корр. АН РБ
А. К. Панов

Официальные оппоненты

доктор технических наук,
профессор Ф.Ш. Хафизов

кандидат технических наук,
доцент М.С. Бакиров

Ведущая организация – Стерлитамакское ЗАО «Каустик»

Защита диссертации состоится "7" декабря 2001г. в 12.00 ч
на заседании диссертационного совета Д 212.289.05 при Уфимском
государственном нефтяном техническом университете по адресу:
450062, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Уфимского
государственного нефтяного технического университета.

Автореферат разослан "6" ноября 2001 г.

Учёный секретарь

диссертационного совета

доктор технических наук, профессор

И. Г. Ибрагимов

Общая характеристика работы

Актуальность темы. В новом тысячелетии развитие мировой экономики все в большей степени будет зависеть от темпов роста производства пластических масс, и уже сегодня его объем составляет более 100 млн. т/г., что сопоставимо с объемом производства металлов. Рост производства и потребления пластмасс приводит к увеличению количества бытовых и промышленных отходов. Их повторное использование позволит расширить сырьевую базу, а также улучшить экологическую обстановку.

Для превращения отходов термопластов в сырье, пригодное для последующей переработки в изделия, их необходимо предварительно обработать.

Измельчение является важным этапом подготовки отходов к переработке, так как степень измельчения определяет объемную плотность, сыпучесть и размеры частиц получаемого продукта. Регулирование степени измельчения позволяет повысить качество вторичного сырья за счет усреднения его технологических характеристик, сократить продолжительность других технологических операций. Все перечисленные факторы напрямую зависят от эффективности измельчающего оборудования.

При разработке методов расчета режущих измельчителей необходимо учитывать высокоэластические свойства перерабатываемых материалов, поскольку они оказывают существенное влияние на технологические параметры процесса измельчения.

Вторичное полимерное сырье, полученное после измельчения и грануляции, по своим физико-механическим свойствам отличается от первичного. Качество полимерного сырья зависит от его предыстории, поэтому для оценки оптимальных режимов дальнейшей переработки необходимо знать реологические и механические характеристики.

Вследствие разнообразия отходов и их свойств возникают определенные трудности при создании высокоэффективных и универсальных машин для измельчения. При наличии многочисленных предложений эффективного

режущего оборудования для измельчения "мягких" полимерных отходов (пленок, мешков, лент) до сих пор нет.

Учитывая вышеизложенное, разработка высокоэффективной установки для вторичной переработки «мягких» полимерных отходов и метода расчета основных параметров процесса измельчения является актуальной и своевременной задачей.

Основные направления исследования определялись в соответствии с Государственными научно-техническими программами АН РБ «Проблемы машиноведения, конструкционных материалов и технологий» на 1996-1998гг., подпрограмма «Аппаратостроение» (постановление кабинета министров РБ №204 от 26.06.96), и «Концепцией и программой социально-экономического развития Республики Башкортостан на 1997-2000 гг. и до 2005 года» (постановление кабинета министров №3 от 12.01.98) по разделам «Совершенствование конструкций аппаратов с целью повышения эффективности и улучшения экологических условий на нефтехимических предприятиях Республики Башкортостан».

Цель работы. Создать стабильный процесс однородного измельчения «мягких» полимерных отходов. Получить математические зависимости, позволяющие рассчитать основные технологические параметры процесса измельчения. Провести экспериментальные исследования физико-механических свойств вторичных полимеров для определения оптимальных режимов их дальнейшей переработки.

Основные задачи работы

1 Разработать и спроектировать конструкцию высокоэффективной установки для переработки "мягких" полимерных отходов.

2 Получить математические зависимости, позволяющие рассчитать основные технологические параметры процесса измельчения "мягких" полимерных отходов.

3 Экспериментально исследовать реологические свойства первичных и вторичных полимеров с целью проведения сравнительного анализа реологических характеристик.

4 Провести сравнительный анализ гидродинамических характеристик первичного и вторичного полимеров при истечении из формующих каналов со сложным поперечным сечением.

5 Исследовать эффект разбухания экструдатов первичных и вторичных полимеров при их истечении из формующих каналов сложного поперечного сечения.

6 Экспериментально изучить прочностные свойства полимеров до и после вторичной переработки и провести сравнительный анализ результатов.

Научная новизна

- Получены новые математические зависимости, позволяющие рассчитать основные технологические параметры процесса измельчения полимерных отходов, рассматривающие влияние геометрических и кинематических параметров режущих органов измельчителя на величину усилия резания, необходимого для разрушения структурных связей полимера с учётом его высокоэластических свойств.

- Разработан новый процесс измельчения с применением установки для переработки «мягких» полимерных отходов (по патенту РФ №2116196).

Практическая ценность. На основании полученных математических зависимостей и результатов экспериментальных исследований разработана конструкция установки для вторичной переработки "мягких" полимерных отходов. В 2001 г. на Стерлитамакском ФГУП "Авангард" внедрено "Устройство для измельчения отходов пластмасс" (патент РФ №2116196). Экономический эффект составил 181 568 руб. (в ценах I кв. 2001г.).

На разработанную конструкцию «Устройства для измельчения плёночных полимерных отходов» передана техническая документация для внедрения в производство в Стерлитамакское АО «Каустик».

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались на следующих конференциях: Межвузовская научно-практическая конференция «Экономический рост: проблемы развития науки, техники и совершенствования производства» (г. Стерлитамак, 1996г.); 48-я научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых (г. Уфа,

1997г.); Научно-техническая конференция «Проблемы нефтегазового комплекса России» (г. Уфа, 1998г.); Республиканская научно-практическая конференция «Проблемы интеграции науки, образования и производства южного региона Республики Башкортостан» (г. Салават, 2001г.).

Публикации. Основные результаты работы опубликованы в семи научных трудах, получен один патент РФ.

Структура и объём диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, четырёх глав, основных выводов, четырёх приложений и списка литературы из 103 источников. Общий объём диссертации составляет 159 страниц.

Содержание работы

Во введении обосновывается актуальность темы диссертации, ее научная и практическая значимость, формулируются задачи и цель исследования.

Глава 1. Анализ конструкций и методов расчёта измельчителей полимерных материалов. (Литературный обзор)

В главе дан анализ конструкций роторно-ножевых измельчителей полимерных материалов и методов их расчета. Показано, что при наличии многочисленных конструкций эффективного режущего оборудования для измельчения "мягких" полимерных отходов до сих пор нет. Известные конструкции при всех их положительных качествах обладают рядом существенных недостатков: сложность изготовления режущих узлов, быстрый износ ножей, узкий диапазон переработки отходов по их геометрическим размерам, оказание вредного воздействия на организм человека.

Анализ методов расчета измельчающего оборудования показал, что в настоящее время практически нет формул для определения производительности и мощности установок по измельчению «мягких» полимерных отходов (пленок, лент, мешков) , рассматривающих влияние параметров режущих органов на величину усилия резания, необходимого для разрушения структурных связей полимера с учетом его высокоэластических свойств.

Глава 2. Разработка конструкции установки для измельчения "мягких" полимерных отходов и метода расчёта основных технологических параметров процесса измельчения

На основании проведенного анализа конструкций измельчителей

полимерных материалов на кафедре ОНХЗ Стерлитамакского филиала УГНТУ разработана и запатентована универсальная установка по измельчению "мягких" полимерных отходов, которая является самостоятельной единицей, способной перерабатывать широкий спектр полимерных отходов, и обладающая достаточно высокой производительностью при относительной простоте конструктивного оформления.

Конструкция установки представлена на рисунке 1. Она включает в себя корпус 1, ротор, состоящий из набора больших и малых 2 дисковых ножей (с зубьями, подобными циркулярной пиле), установленных на вал 4 и зафиксированных шпонкой 5. Неподвижный нож 6 выполнен ступенчато с выступами и впадинами, соответствующими зубьям больших и малых дисковых ножей и закреплён в разъёме корпуса винтами 7. В корпусе размещена решётка 8. К корпусу 1 подсоединён кожух 9, в котором расположены вальцы 10. Для крепления верхнего вальца предусмотрены штоки 11 и пружины 12, с помощью которых изменяется зазор между вальцами. Вальцы имеют специальный профиль 13 рифов и впадин в виде кривой второго порядка. В месте соединения кожуха 9 с корпусом 1 предусмотрен проходной зев 14. С кожухом 9 соединён приёмный бункер 15, снизу и сверху которого размещены магнитоулавливатели 16.

Устройство для измельчения работает следующим образом. Отходы "мягких" полимеров подаются в приёмный бункер 15, далее захватываются рифами вальцов 10. Уплотнения полотна добиваются, изменяя зазор между вальцами при помощи штоков 11 и пружин 12. Сформированное полотно из полимерных отходов далее направляется в зону резания. Зубьями дисковых ножей 2 и 3 полотно затягивается на неподвижный нож 6, где и измельчается на кусочки, и далее, проваливаясь через решетку 8, отсасывается воздуходувкой.

Конструкция больших 2 и малых 3 дисковых ножей позволяет, изменяя их диаметр, варьировать размеры получаемой крошки, обеспечивая большую насыпную массу измельчённого полимера и хорошую сыпучесть. Уменьшая или увеличивая число дисковых ножей в зависимости от ширины полотна

полимера, подаваемого на измельчение, можно регулировать производительность установки.

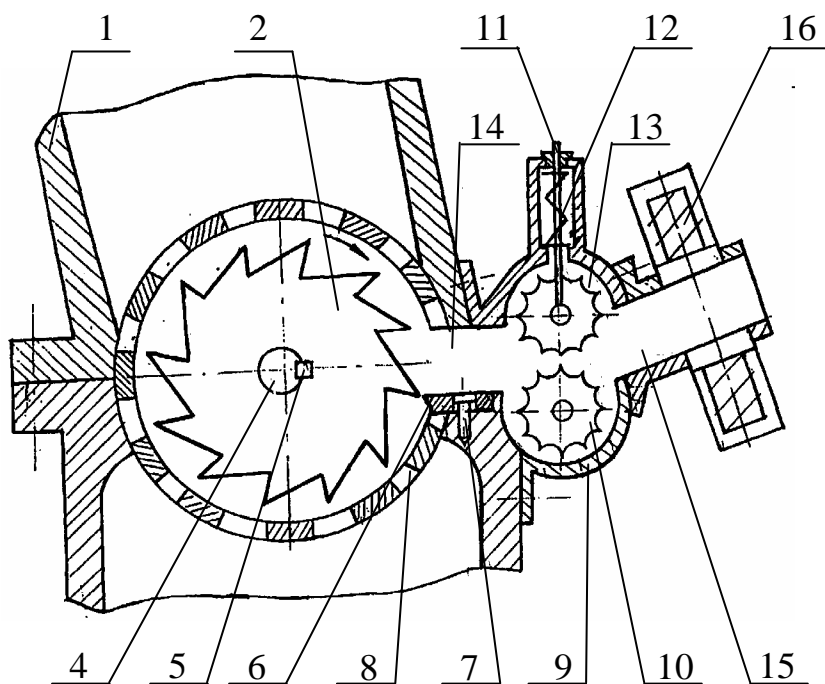


Рисунок 1 - Универсальная установка по измельчению "мягких" полимерных отходов (патент РФ №2116196)

Техническая и экономическая эффективность использования предлагаемой установки для измельчения "мягких" полимерных отходов состоит в том, что она позволит расширить сырьевую базу за счёт возврата в производство "мягких" отходов полимерных изделий; улучшить экологическую обстановку благодаря исключению вывоза указанного вида полимерных отходов на свалки.

Приведенная конструкция была разработана с использованием предлагаемого в данной работе метода расчета основных технологических параметров процесса измельчения, к которым относятся производительность установки G и мощность N , необходимая для осуществления измельчения полимера в требуемом количестве.

Производительность установки G , кг/с, определяли, исходя из необходимости получения измельченного материала заданного размера, по формуле

$$G = g / t_1, \quad (1)$$

$$t_1 = \frac{1}{n \cdot z}, \quad (2)$$

$$g = b \cdot h \cdot \delta \cdot z_n \cdot \rho, \quad (3)$$

где g - количество материала, отсечённого за один рез, кг; t_1 - время одного реза, с; $1/n$ - время одного оборота ножа, с; z - число зубьев дискового ножа; b - ширина дискового ножа, м; h - глубина пазов неподвижного ножа, м; δ - толщина сформированного полотна, м; z_n - количество дисковых ножей; ρ - плотность полимера, кг/м³.

Производительность захватывающих профильных вальцов G_b , кг/с, равная производительности установки G (рассчитанной по формуле 1), может быть определена по формуле

$$G_b = B \cdot a \cdot v_b \cdot \rho \cdot K_{ш,р} \cdot \eta_b, \quad (4)$$

где B - ширина профильных вальцов, м; a - зазор между вальцами, м; v_b - окружная скорость вальцов, м/с; $K_{ш,р}$ - коэффициент, учитывающий использование ширины вальцов и степень "разрыхления" материала; η_b - коэффициент использования машинного времени.

С использованием формулы (4) рассчитывали основные размеры элементов загрузочного устройства установки по измельчению отходов пластмасс (объём загрузочной камеры, ширину и диаметр профильных вальцов, зазор между вальцами, размеры проходного зева и т.д.).

Мощность, затрачиваемая на резание, N , Вт, зависит от числа резов в секунду $n \cdot z$ и определяется по формуле

$$N = \frac{A \cdot \omega \cdot z}{2 \cdot \pi \cdot \eta}, \quad (5)$$

где A - работа резания, совершаемая за один рез, Дж; ω - угловая скорость дисковых ножей, с⁻¹; z - число зубьев дисковых ножей; η - коэффициент полезного действия.

Усилие, необходимое для развития сдвига в термопластах P_c , Н, определяли по формуле

$$P_c = \sigma_p \cdot L \cdot \delta, \quad (6)$$

где σ_p - разрывное напряжение для термопластов, Па; L - линия контакта дисковых ножей с полотном измельчаемого материала, м.

Разрывное напряжение для термопластов σ_p , Па, определяли по формуле

$$\sigma_p = K \cdot v^{\frac{1}{m}} \cdot \exp \left[\frac{U}{(m \cdot R \cdot T)} \right], \quad (7)$$

где K , m - постоянные, зависящие от вида полимера; v - скорость деформации растяжения, м/с; U - энергия активации процесса разрушения, кДж/моль; R - универсальная газовая постоянная; T - абсолютная температура, К.

Подставляя найденные значения в формулу (5), окончательно получали зависимость мощности установки от геометрических и кинематических параметров, а также от высокоэластических свойств полимеров:

$$N = \frac{K_3 \cdot K \cdot v^{\frac{1}{m}} \cdot \exp \left[\frac{U}{(m \cdot R \cdot T)} \right] \cdot (h + b) \cdot z_n \cdot \delta^2 \cdot \omega \cdot z}{2 \cdot \pi \cdot \eta}, \quad (8)$$

где K_3 - коэффициент, учитывающий силы трения из-за притупления ножей и зазор между дисковыми ножами и неподвижным ножом.

Полученные формулы (1) и (8) позволяют определить производительность и мощность устройства для измельчения "мягких" полимерных отходов, осуществив тем самым расчёт установки.

Таким образом, метод расчёта основных технологических параметров процесса измельчения "мягких" полимерных отходов в разработанной установке позволяет установить зависимость усилия резания, необходимого для разрушения структурных связей полимера, от геометрических и кинематических параметров режущих органов с учётом высокоэластических свойств измельчаемого материала.

Глава 3. Исследование реологических свойств и гидродинамических характеристик расплавов полимеров до и после вторичной переработки

Для изучения реологических свойств полимерных материалов до и после вторичной переработки и гидродинамических характеристик их потоков при истечении из каналов со сложным поперечным сечением использовалась

экспериментальная установка, смонтированная в лаборатории НИР на кафедре ОНХЗ Стерлитамакского филиала УГНТУ.

В качестве объектов исследования использовались широко применяемые в химической промышленности полимеры, доля отходов которых составляет значительную часть всех технологических отходов производства полимеров: полиэтилен высокого давления ПВД 15802-020; полиэтилен низкого давления ПНД-277 и ПНД-289. Указанные полимеры исследовались до и после вторичной переработки с последующим сравнительным анализом.

Для оценки качества и оптимальных режимов дальнейшей переработки вторичного полиэтиленового сырья необходимо исследовать его реологические свойства.

Производили две серии опытов на каналах круглого сечения: одну – на длинном, другую – на коротком, с диаметром отверстий $4,2 \cdot 10^{-3}$ м и длинами соответственно $l_{дл}=0,12$ и $l_{к}=0,06$ м.

Входные потери давления исключались с помощью метода двух капилляров, и все необходимые расчеты по вискозиметрии расплавов полимеров проводились по методике, описанной в данной главе.

Результаты вискозиметрических опытов при течении расплавов полимеров при температурах 130, 150, 160 и 170°C представлены в виде графических зависимостей эффективной текучести от напряжения сдвига $\Phi_{эф} = f(\tau_{ист})$. Максимальная погрешность не превышала 5%.

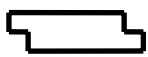


В процессе переработки исследуемые материалы подвергаются дополнительным механохимическим воздействиям, термической и термоокислительной деструкции, что ведет к изменению химической структуры. Следствием этого стало повышение эффективной текучести всех полимерных материалов после вторичной переработки, которое составило 10-12%.

Целью исследования гидродинамики потоков расплавов полимеров было получение расходных характеристик первичных и вторичных полимеров.

Экспериментальные исследования гидродинамических характеристик

потоков при экструзии полимеров проводились в каналах сложной формы, сечения и геометрические характеристики которых представлены в таблице 1. Опыты проводили для трех каналов различной длины: $l_{дл}=0,12\text{м}$, $l_{ср}=0,08\text{м}$, $l_{кор}=0,04\text{м}$. Всего исследовали 9 каналов.

Таблица 1 – Геометрические характеристики каналов

Параметр			
S, м ²	0,000540	0,00098	0,000511
Rг, м	0,003750	0,005808	0,003262
A	2,5921	1,8659	1,8680
B	2,2113	1,8514	1,3412

На первом этапе исследования получали графические зависимости массового расхода Q от давления экструзии P ($Q = f(P)$) при указанных температурах для длинного, среднего и короткого каналов. Затем получали экспериментальные зависимости массового расхода Q от перепада давления на единице длины каналов (градиента давления) $\Delta p/\Delta l$.

Для теоретического определения пропускной способности и гидравлического сопротивления в формирующих каналах сложной формы использовали зависимости, представленные в пункте 3.3 данной главы.

Теоретическое решение по определению зависимости $Q = f(\Delta p/\Delta l)$ представляли в виде графиков совместно с экспериментальными значениями для каждого исследуемого полимерного материала и сечения канала при выбранных значениях температуры. На рисунке 2 точками показаны экспериментальные значения, а сплошной линией – теоретическое решение. Полученные зависимости для каждого исследуемого материала до и после его вторичной переработки совмещены в одном графике.

Оценив расхождение между теоретическим решением и экспериментальными значениями, можно сделать следующие выводы:

- для всех исследуемых полимерных материалов наблюдается хорошая корреляция теоретических и экспериментальных значений массового расхода;

- максимальное расхождение между этими значениями получено при малых перепадах давления $\Delta p/\Delta l$, лежащих в области очень малых расходов полимера, и составило 25%;

- при больших значениях перепада давления и массового расхода для всех исследуемых материалов расхождение находится в пределах от 0 до 15%, что является допустимым при инженерных расчетах.

Сравнительный анализ результатов исследования гидродинамических характеристик полимерных материалов до и после вторичной переработки позволил установить следующие закономерности.

Так, для сечения канала вида «штапик» расходы для всех исследуемых полимеров находятся в пределах $(0 - 120) \cdot 10^{-4}$ кг/с при градиентах давления $(0 - 4) \cdot 10^7$ Па/м. Температуры переработки составляли 130, 150, 160, 170°C. При сравнении первичных и вторичных полимеров в области малых градиентов давления $(0 - 1) \cdot 10^7$ Па/м наблюдаются наибольшие отклонения по расходам (30 - 60%). При рабочих перепадах давления $(1 - 4) \cdot 10^7$ Па/м увеличение массового расхода для вторичных полимеров составило: для ПВД 15802-020 - 20 - 34%, для ПНД-289 - 23 - 38%, для ПНД-277 - 21 - 33% в заданном интервале температур. Максимальное отклонение составило 38% для ПНД 289 при температуре 160°C и градиенте давления $2,2 \cdot 10^7$ Па/м. Минимальное отклонение составило 20% для ПВД 15802-020 при температуре 130°C и градиенте давления $2,4 \cdot 10^7$ Па/м.

Для сечения канала вида «плинтус» максимальное отклонение массового расхода наблюдалось при течении расплава ПНД-289 при температуре переработки 150°C, градиенте давления $2,0 \cdot 10^7$ Па/м и составило 43%. Наименьшее отклонение массового расхода - 14% наблюдалось для градиента давления $2 \cdot 10^7$ Па/м при сравнении вторичного и первичного ПВД (температура переработки 150°C). В зоне рабочих перепадов давления $(2 - 6) \cdot 10^7$ Па/м увеличение массового расхода находилось в пределах 17 - 33% для всех исследуемых полимеров.

Для сечения канала вида «облицовочная планка» в области малых

градиентов давления $(0 - 2) \cdot 10^7$ Па/м отклонения по расходам составили: для ПВД 15802-020 - 20 - 30%, для ПНД-289 – 30 - 50%, для ПНД-277 – 20 - 23% в заданном интервале температур. В зоне рабочих перепадов давления $(2 - 6) \cdot 10^7$ Па/м увеличение массового расхода находилось в пределах 12 - 30% для всех исследуемых полимеров. Наименьшее увеличение массового расхода – 12% наблюдалось при сравнении вторичного и первичного ПВД при температуре переработки 170°C и градиенте давления $6 \cdot 10^7$ Па/м.

Для всех исследуемых материалов в области рабочих температур и градиентов давлений среднее увеличение расхода составило 16,3 – 34%, что необходимо учитывать при их дальнейшей переработке в изделия.

Эксперименты по изучению эффекта разбухания экструдатов первичных и вторичных полимеров при их истечении из формующих каналов сложного поперечного сечения проводились в заданном интервале температур и давлений: ПНД-277- при $t = 150 - 170$ °C и $P = 0,5 - 6$ МПа; ПВД 15802-020 при $t = 130 - 170$ °C и $P = 0,5 - 6$ МПа; ПНД-289 при $t = 150 - 170$ °C и $P = 0,5 - 6$ МПа. Методика проведения эксперимента была аналогична представленной в пункте 3.1 данной главы.

Из образцов экструдата, полученных при истечении расплавов полимеров (при заданной температуре и давлении) из исследуемых формующих каналов сложной формы, вырезались перпендикулярно оси, пластинки толщиной не более 1 мм. Полученные образцы, представляющие собой поперечные сечения экструдатов, зажимались между двумя стеклами, вставлялись в проекционный аппарат и проектировались на экран из листа миллиметровой бумаги. При десятикратном увеличении изображения среза экструдата на экране обводились его контуры. Площадь сечения измерялась планиметром с точностью до 10^{-6} м². Эластическое восстановление струи экструдата оценивалось коэффициентом разбухания, который определяли по следующей формуле:

$$K = \sqrt{\frac{S_3}{S}}, \quad (9)$$

где S_3 и S - соответственно площади поперечного сечения экструдата и

формующего канала, м².

Результаты опытов представлены графическими зависимостями коэффициента разбухания от давления экструзии $K = f(p)$ для исследуемых полимеров до и после их вторичной переработки (рисунок 3).

Сравнительный анализ результатов позволяет сделать следующие выводы:

- при истечении из каналов сложной формы всех видов исследуемых расплавов полимеров наблюдается резкое увеличение коэффициента разбухания в области низких давлений (0 – 2 МПа). Например, для струи расплава ПВД 15802-020 при течении в канале вида «облицовочная планка» при 170°C в указанном интервале давлений коэффициент разбухания увеличивается до 2,2. При дальнейшем повышении давления величина коэффициента разбухания остается практически постоянной.

- с повышением температуры для всех исследуемых каналов конечное значение коэффициента разбухания несколько возрастает. Для ПВД 15802-020 в канале «облицовочная планка» с увеличением температуры от 130 до 170°C коэффициент разбухания увеличился на 18,1%; для ПНД-277 при изменении температуры от 150 до 170°C увеличение коэффициента разбухания составило 20,3%; для ПНД-289 в указанном диапазоне температур отмечен рост коэффициента разбухания на 19,4%.

- для всех исследуемых полимеров после вторичной переработки наблюдается снижение высокоэластических свойств, при этом коэффициент разбухания в среднем уменьшается на 8 – 11%.

Результаты исследований свидетельствуют о влиянии геометрии формующего инструмента на разбухание расплавов полимеров. Так, наибольшее значение коэффициента разбухания наблюдается для расплава полимера при течении в канале вида «облицовочная планка» ($K = 2,32$ для ПВД 15802-020 при температуре 170°C). Это объясняется наличием выступающих углов. В них при напорном течении расплава полимера возникают концентрации напряжений, и при выходе струи полимера они увеличивают поперечное сечение экструдата.

При помощи проведённых экспериментальных исследований и полученных графических зависимостей были установлены оптимальные режимы переработки вторичных полимерных материалов в каналах сложной формы: давление экструзии 4,5- 5 МПа, температура переработки для ПНД-277 - 160°С, для ПВД 15802-020 - 170°С, для ПНД-289 - 160°С.

Глава 4. Исследование прочностных характеристик полимерных материалов до и после вторичной переработки

Для исследования изменений прочностных свойств полимерных материалов до и после вторичной переработки проводили испытание экструдатов ПВД 15802-020 (ГОСТ 16337) и ВПВД (полученного измельчением отходов производства рукавной полиэтиленовой пленки), на растяжение при постоянной скорости нагружения. Образцы были получены в каналах сложной формы, при температуре 130, 150, 160, 170 °С. Сечения формирующих каналов представлены в таблице 1.

Исследования проводились на разрывной машине типа МР-05-1 за номером 50 ГОСТ 7855 с точностью до 0,1 кгс при скорости нагружения 11 мм/мин, согласно ГОСТ 12580.

Для исключения разрушения образцов в местах воздействия зажимов их выполняли в виде двойных лопаточек, длиной 0,08 м. Разрушающее напряжение при растяжении σ_p , Па, вычисляли по формуле

$$\sigma_p = \frac{P}{S}, \quad (10)$$

$$S = m / (\rho \cdot l), \quad (11)$$

где P - разрушающая нагрузка, Н; S - площадь сечения образца до деформации, м²; m - масса образца, кг; ρ - плотность полимерного материала при 20°С, кг/м³; l - длина образца, м.

Результаты проведенных исследований прочностных характеристик полимеров представлены в виде зависимостей $\sigma_p = f(P_0)$ (где P_0 - давление экструзии, Па), что позволяет нанести на один и тот же график данные, полученные от образцов разных материалов, и произвести сравнительный

анализ (рисунок 4).

Полученные экспериментальные данные показали, что зависимость разрывного напряжения экструдатов ПВД и ВПВД от давления экструзии имеет оптимум в интервале от 4,5 до 5,5 МПа. При дальнейшем увеличении давления экструзии прочность образцов уменьшается. Это связано с высокой скоростью выхода экструдата. При увеличении температуры переработки от 130 до 170°C для всех исследуемых сечений прочность экструдатов увеличивается на 5 – 7%.

Сравнительный анализ результатов исследований для ПВД и ВПВД показывает, что прочность образцов из ПВД после вторичной переработки в рабочем диапазоне давлений экструзии понижается на 10 – 20%.

Указанное снижение прочности объясняется тем, что уровень равновесных напряжений во вторичном полимере ниже, чем в первичном. Поэтому изготовленные из него изделия необходимо эксплуатировать при более низких нагрузках, чем такие же изделия из первичного полимера, и в течение более короткого времени. Это необходимо учитывать при разработке номенклатуры изделий, изготавливаемых из вторичных термопластов. Снижение прочностных характеристик является допустимым для рабочих режимов эксплуатации изделий.

Таким образом, установлено, что механические свойства полимеров после вторичной переработки изменяются в пределах допустимых для их дальнейшей переработки в изделия методом экструзии и литья под давлением при тех же режимах, что и для первичных. При этом решается проблема утилизации отходов и рационального использования сырьевых ресурсов.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1 Разработан метод расчёта основных технологических параметров процесса измельчения в установке для переработки полимерных отходов, рассматривающий влияние геометрических и кинематических параметров режущих органов на величину усилия резания, необходимого для разрушения структурных связей полимера с учётом его высокоэластических свойств.

2 Разработан новый процесс измельчения с применением установки для

переработки «мягких» полимерных отходов (по патенту РФ № 2116196).

3 Получены математические зависимости для определения производительности G и мощности установки N для переработки "мягких" полимерных отходов:

$$G = b \cdot h \cdot \delta \cdot z_n \cdot \rho \cdot n \cdot z,$$
$$N = \frac{K_3 \cdot K \cdot v^{\frac{1}{m}} \cdot \exp\left[\frac{U}{(m \cdot R \cdot T)}\right] \cdot (h + b) \cdot z_n \cdot \delta^2 \cdot \omega \cdot z}{2 \cdot \pi \cdot \eta}.$$

4 Проведены экспериментальные исследования реологических свойств первичных и вторичных полимеров с целью проведения сравнительного анализа реологических характеристик. Полученные результаты указывают на повышение эффективной текучести всех полимерных материалов после вторичной переработки, которое составило 10-12%.

5 Исследование гидродинамических характеристик первичного и вторичного полимеров при истечении из формирующих каналов со сложным поперечным сечением показало, что для всех исследуемых материалов в области рабочих температур и градиентов давлений среднее увеличение расхода составило 16,3 – 34%, что необходимо учитывать при их дальнейшей переработке.

6 Экспериментально изучено явление разбухания полимерных материалов до и после их вторичной переработки при истечении из каналов сложной формы. Для всех исследуемых полимеров после вторичной переработки наблюдается снижение высокоэластических свойств, при этом коэффициент разбухания в среднем уменьшается на 8 – 11%.

7 Сравнительный анализ результатов исследования прочностных характеристик, произведённый на примере экструдатов полиэтилена высокого давления (ПВД 15802-020) до и после вторичной переработки, показал, что прочность образцов из ВПВД в рабочем диапазоне давлений экструзии понижается на 10 – 20%.

8 Полученный метод расчёта и результаты экспериментальных исследований были использованы для определения оптимальных режимов переработки вторичных полимерных материалов методом экструзии в каналах сложной формы.

Основное содержание работы изложено в следующих публикациях:

1 Григорьева Т.В., Белобородова Т.Г. Математические методы описания кривых течения расплавов полимеров // Экономический рост: проблемы развития науки, техники и совершенствования производств: Тез. докл. межвуз. науч.-практич. конф. – Стерлитамак, 1996.

2 Белобородова Т.Г., Панов А.К. Устройство для измельчения отходов пластмасс // Материалы 48-й научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Уфа: УГНТУ, 1997.

3 Панов А.К., Шулаев Н.С., Белобородова Т.Г. и др. Конструкции аппаратов для измельчения полимерных отходов. – Деп. ВИНТИ №1405-В98 от 15.05.98.

4 Панов А.К., Белобородова Т.Г. Реологические исследования полимерных отходов // Проблемы нефтегазового комплекса России: Сб. тр. науч.-техн. конф. – Уфа, УГНТУ, 1998.

5 Панов А.К., Белобородова Т.Г. Исследование реологических свойств расплавов ПНД и ПВД после вторичной переработки // Сб. науч. тр. СФ АН РБ. –Сер. Физико-математические и технические науки. – Уфа: Гилем, 2001. – Вып.2. -С. 193-196.

6 Панов А.К., Белобородова Т.Г., Панов А.А. Разработка конструкции роторного измельчителя для «мягких» полимерных отходов // Сб. науч. тр. СФ АН РБ. –Сер. Физико-математические и технические науки. Выпуск 2. – Уфа: Гилем, 2001. – Вып. 2. -С. 196-199.

7 Патент 2116196, Россия, МПК В 29 17/00, В 02 С 18/44. Устройства для измельчения отходов пластмасс./ Т.Г. Белобородова, А.К. Панов и др. - №96107939/25, Заявл. 19.04.96; Оpubл. 27.04.98.

Т. Г. Белобородова