

УДК: 678.74.002.5

В.В. Дядичев

ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ
КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ
МЕТОДОМ СОЭКСТРУЗИИ

Восточноукраинский национальный университет имени В. Даля
91034, г. Луганск, ул. Тухачевского, 11

Статья поступила в редакцию 22 июля 2003 года

Предложен технологический процесс обработки композиционных вторичных полимерных материалов давлением, позволяющий перерабатывать отходы полимерных материалов в новые качественные изделия, используя метод соэкструзии пятислойной структуры. Разработан метод анализа совместного течения расплавов полимеров под давлением в формующих каналах соэкструзионной головки, создана модель расчета необходимой производительности, температурного режима, перепада давления для каждого слоя при заданной толщине слоев в многослойном полимерном материале.

Экономическим и экологическим аспектам проблемы утилизации полимерных материалов уделяют внимание многие отечественные и зарубежные специалисты, но вопросам целесообразного выбора способов утилизации полимерных материалов и рациональных конструкций соответствующего оборудования посвящено мало работ. Не рассматриваются и вопросы качества изделий из отходов полимерных материалов [1,2].

Анализ существующих технологий для переработки таких отходов показывает, что в настоящее время превращение их в сырье, пригодное для последующей переработки в изделия, осуществляется в два этапа: путем предварительной обработки с агломерацией и грануляцией и переработки гранул вторичного сырья в готовое изделие. Перспективным является добавление вторичного сырья к первичному в количестве 20–30%. Введение в полимерную композицию пластификаторов, стабилизаторов, наполнителей позволяет увеличить эту цифру до 40–50%, что повышает физико-механические характеристики изделий. Однако при эксплуатации в жестких климатических условиях их долговечность составляет всего 60–75% от долговечности изделий из первичного полимера [3]. Более эффективный путь – модификация вторичных полимеров, а также создание высоконаполненных вторичных полимерных материалов [4,5].

Существующие технологические схемы переработки отходов полимерных

материалов под давлением в нашем государстве и странах СНГ не позволяют эффективно и оперативно влиять на качество изделия, изготовленного из вторичных полимеров. Это обусловлено общим упрощенным двустадийным подходом к решению сложной проблемы подготовки однородной смеси из отходов полимерных материалов различного типа и ее последующей переработки, отсутствием совершенных конструкций соэкструзионного оборудования, способного перерабатывать такие смеси.

Целью работы является создание технологии и оборудования для переработки вторичных композиционных полимерных материалов методом соэкструзии, обеспечивающим производство новой продукции, снижение уровня загрязнения окружающей среды, ресурсо- и энергосбережение. Выбранный нами подход позволяет получать многослойные полимерные структуры (МПС) без использования промежуточных полуфабрикатов, причем с возможностью оценки влияния вторичных полимеров и наполнителей на качество готового изделия.

Технологический процесс по утилизации отходов полимерных материалов бытового и производственного назначения предусматривает следующее. Со склада (рис. 1) с помощью регулируемого конвейера 2 наполненные отходы загружаются в роторную дробилку. Сюда также подается наполнитель с помощью дозатора. Конвейер 2 оборудован конвейерными весами. Изменяя скорость движения ленты конвейера, можно регулировать загрузку роторной дробилки и расход наполненных отходов. На выходе из дробилки в пульпопровод встроен датчик вязкости пульпы.

Вторичный полимер со склада подается в главный бункер, откуда после дробления поступает в аккумулярующие бункеры. Из них он с помощью дозаторов, используемых в качестве питателей, через систему конвейеров 3–5 подается в ножевую дробилку. Конвейер 3 оборудован конвейерными весами; конвейеры 4, 5 – регулируемые. На питателе наполнителя в дробилку также установлен дозатор.

В средний экструдер, кроме наполненных и вторичных отходов, подаются первичный полимер и наполнитель из расходных бункеров через весовые дозаторы. В экструдере полимер проходит через три состояния: вначале – это твердый материал, затем – смесь расплава и твердого материала и, наконец, – расплав. В последней дозирующей зоне экструдера материал, находящийся в кольцевом пространстве между вращающейся наружной поверхностью сердечника червяка и внутренней поверхностью корпуса экструдера, подвергается деформации сдвига, которая в результате воздействия стенок винтового канала превращается в поступательное движение материала, т.е. в вынужденный поток. В результате избыточного давления расплава в головке соэкструзионной машины возникает также противоток. Перепад давлений вызывает утечку через кольцевой зазор между гребнем стенки канала червяка и внутренней поверхностью корпуса. За счет существования трех основных потоков в дозирующей зоне экструдера происходит поступательное течение расплава, благодаря чему на выходе среднего экструдера получается полимерная смесь, которая подается под давлением в соэкструзионную головку. Сюда также подаются первичные полимеры и адгезивы. Проходя через каналы головки, материалы наслаиваются один на другой, и на выходе из головки

образуется МПС в виде полимерной трубки или пленки. Требуемый расход компонентов поддерживается с помощью регуляторов, задание на вход которых устанавливают операторы вручную согласно рецепту и заданной производительности комплекса.

Данным проектом были решены задачи контроля, учета расхода компонентов и вопрос качества приготовления соэкструзионной смеси. Условия эксплуатации разработанного технологического оборудования отличаются от существующих тем, что материал не нагнетается в соэкструзионную головку под постоянным противодавлением, а продавливается через профилирующую матрицу с отверстием заданных размеров, одновременно наслаиваясь еще с четырьмя видами полимеров. Поэтому характеристика соэкструзионной машины определяется взаимным влиянием пяти червяков экструдеров и соэкструзионной головки.

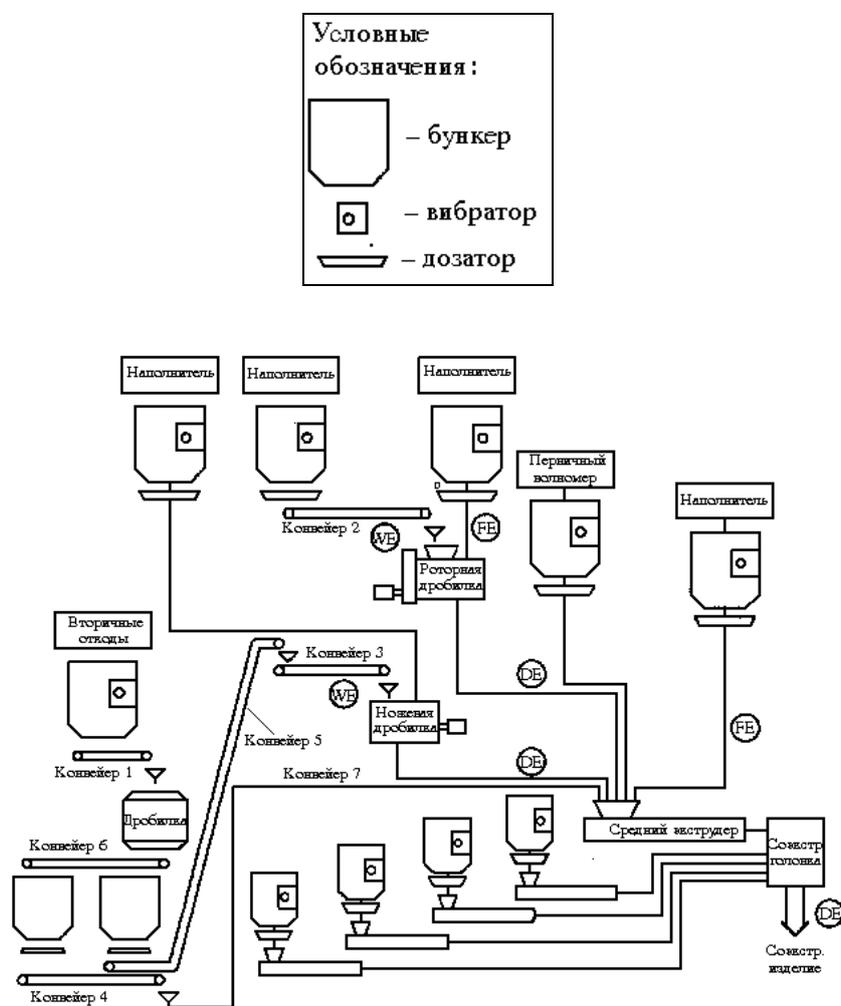


Рис. 1. Технологическая схема соэкструзионного комплекса утилизации отходов полимерных материалов под давлением

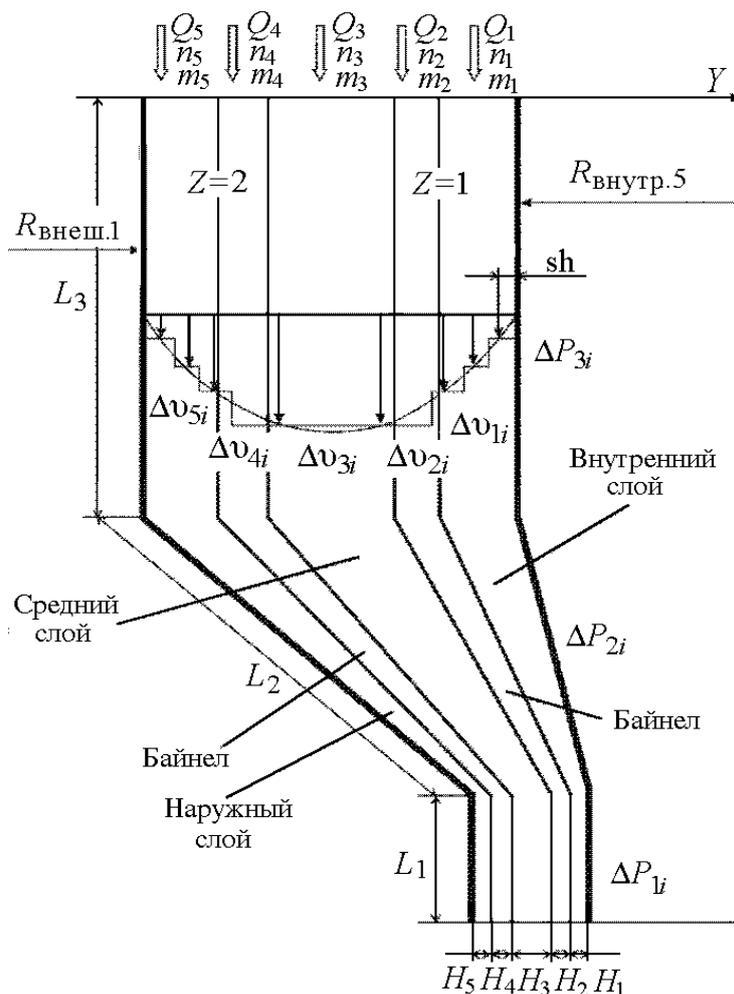


Рис. 2. Схема расчета участка совместного течения

Для анализа функционирования технологического процесса и оборудования была разработана математическая модель процесса. На рис. 2 приведена схема для расчета распределения скоростей текущей в щелевом канале МПС, которая представляет собой набор параболических сегментов, соединяющихся на межфазных поверхностях.

На границе двух несмешивающихся жидкостей должны удовлетворяться следующие условия: непрерывность как тангенциальных, так и нормальных составляющих скорости (это подразумевает отсутствие проскальзывания на границе раздела); непрерывность касательных напряжений; баланс разности нормальных напряжений на поверхности с поверхностными силами. Граничным условием является также равенство нулю скорости течения на стенках канала. В области плоскопараллельного течения z -компонента уравнения движения сводится к виду [6–8]:

$$-dP/dz - d\tau_{yz}/dy = 0, \quad (1)$$

где dP/dz – градиент давления; $d\tau/dy$ – градиент напряжения сдвига.

Для описания течения полимера применим степенной закон:

$$\tau_{yz} = -m \left| \frac{dV_z}{dy} \right|^{n-1} \frac{dV_z}{dy}, \quad (2)$$

где dV/dy – скорость сдвига, n – индекс течения, m – параметр, зависящий от температуры. Для удобства расчетов часто принимают

$$m = m_0 \exp\{-a(T - T_0)\}, \quad (3)$$

где a – эмпирический параметр.

Отметим, что структура среднего слоя сложная, она состоит из смеси первичного полимера, наполненных отходов, вторичных полимеров и наполнителя. Слои байнела имеют малую толщину. Схема участка совместного течения включает пять слоев: средний (полимерная смесь), два слоя байнела, внутренний и наружный.

Предполагая, что течение является установившимся (оно ориентировано вдоль отрицательного направления оси z), получаем после интегрирования

$$V_z(y) = \frac{n}{n+1} \left(\frac{1}{m} \frac{dP}{dz} \right)^{1/n} \left(\frac{H}{2} \right)^{\frac{n+1}{n}} \left[\left(\frac{2y}{H} \right)^{\frac{n+1}{n}} - 1 \right] \quad (4)$$

или

$$V_z(y) = \frac{P}{2(S+2)} \left(\frac{H\Delta P}{2mL} \right)^S \left[1 - \left(\frac{2y}{H} \right)^{S+1} \right], \quad (y \geq 0), \quad (5)$$

где H – толщина канала; $S = 1/n$; L – длина канала; y – координата, для которой рассчитывается скорость течения.

Если в канале течет несколько слоев, тогда для i -го слоя

$$V_{zi}(y) = \frac{H}{2(\zeta_i + 1)} \left(\frac{H\Delta P}{2m_i L} \right)^{\zeta_i} \left[1 - \left(\frac{2y}{H} \right)^{\zeta_i + 1} \right]. \quad (6)$$

Используя это соотношение и задаваясь перепадом давления для каждого слоя на одном из участков головки и необходимым распределением слоев в канале согласно требуемому комплексу свойств, можно рассчитать эпюру скоростей многослойного потока.

Производительность каждого микрослоя данного полимера

$$Q_{zji} = V_{zji} w \cdot sh, \quad (7)$$

где W – ширина канала (или длина окружности для кольцевого канала); sh – шаг итераций по оси y (по каналу совместного течения); количество шагов определяет число микрослоев, на которое разбивается каждый слой полимера при расчете его режима течения.

Производительность всего слоя

$$Q_{zi} = \sum_{j=1}^{t_{och}} Q_{zji} \quad (8)$$

Можно найти распределение скоростей для участков головки в каналах совместного течения с другими геометрическими параметрами:

$$V_{zji} = Q_{zji} / w \cdot sh. \quad (9)$$

При этом перепад давления для микрослоя и соответственно для слоя

$$\Delta P = \left\{ \frac{V_{zji} 2(S_i + 1)}{H[1 - (2y/H)^{S_i+1}]} \right\}^{1/S_i} \frac{2m_i L}{H}. \quad (10)$$

Характеристики червяков и головки представляются на графиках, где «рабочие точки» каждого экструдера определяются пересечением этих характеристик. Такой метод позволяет изобразить на одной наладочной диаграмме многообразие возможных режимов соэкструзии многослойных структур. На рис. 3, 4 изображены полученные наладочные кривые соэкструзии пятислойной структуры при различной толщине слоев.

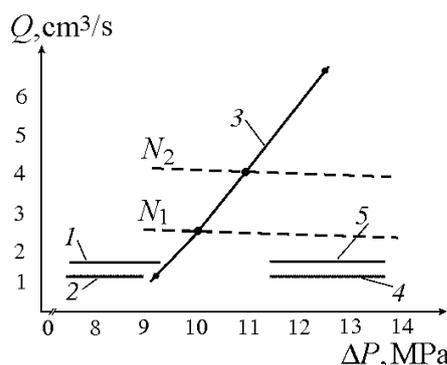
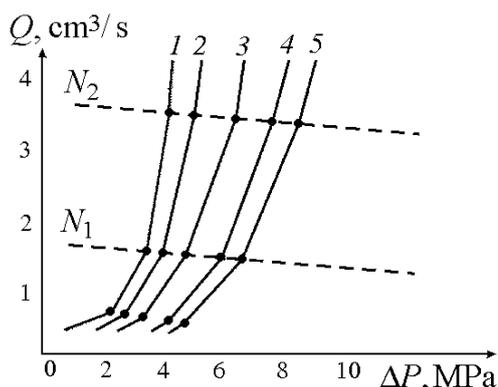


Рис. 3. Рабочая характеристика соэкструзионной машины: толщина слоев в МПС $h_1 = h_2 = h_4 = h_5 = 1.4$ мм, $h_3 = 0.9$ мм; $T = 180^\circ\text{C}$; частота вращения шнеков, rev/s: $N_1 = 0.7$, $N_2 = 1.55$; 1 – наружный слой, 2, 4 – адгезионный, 3 – средний, 5 – внутренний

Рис. 4. Изменение противодействия для слоев при изменении производительности среднего слоя: ширина формирующей щели 1.5 мм; $T = 170^\circ\text{C}$; частота вращения шнеков, rev/s: $N_1 = 0.9$, $N_2 = 1.7$

При соэкструзии многослойной структуры производительность экструзии каждого слоя мало зависит от температуры. Это происходит потому, что значения вязкости материала в червяке и головке при изменении температуры изменяются примерно одинаково.

Анализ процесса соэкструзии показывает, что он явно не оптимален. Развивающееся давление составляет 8–10 МПа, что в 7 раз меньше максимально возможного, соответствующего режиму нулевого расхода. Производитель-

ность установки можно увеличить, изменив глубину канала шнека в зонах загрузки и дозирования или конструкцию шнека по зонам, в особенности для экструдера среднего слоя. Однако следует учитывать, что при этом экструдер будет более чувствителен к колебаниям противодействия, которые могут возникать из-за нестабильности температурного поля или неоднородности соэкструдруемых материалов. Это, в свою очередь, приведет к изменению заданных толщин слоев в многослойном полимерном материале.

Анализ распределения давления в каналах течения головки выявляет следующий характерный конструктивный недостаток: противодействие, которое создается в подводящих каналах раздельного течения экструдера наружного слоя, недостаточно для обеспечения формирования качественной многослойной трубчатой заготовки. Если на входе в канал совместного течения не сформирован кольцевой слой, возникающий при совместном течении, поток вынужденного течения как бы «выносит» этот дефект наружу из головки.

Для экструдеров внутреннего и среднего слоев перепад давления в канале раздельного течения составляет 3–4 МПа, что больше перепада давления в патрубке и копильнике в 6–7 раз. В то же время для экструдера наружного слоя такое отношение лежит в пределах 3–4. На практике это приводит к тому, что на полимерном изделии появляется разрыв наружного слоя. В данной конструкции головки указанный недостаток можно устранить расширением каналов течения в патрубке и копильнике.

Выводы

1. Впервые разработан технологический процесс обработки композиционных вторичных полимерных материалов давлением, позволяющий перерабатывать отходы полимерных материалов в новые качественные изделия, используя метод соэкструзии пятислойной структуры.

2. Разработан метод анализа совместного течения расплавов полимеров под давлением в формующих каналах соэкструзионной головки и создана модель расчета необходимой производительности, температурного режима, перепада давления для каждого слоя при заданной толщине слоев в многослойном полимерном материале. Модель позволяет находить основные технологические факторы на стадии конструирования многослойного изделия и определять параметры течения на межфазной границе, регулирующие прочность соединения слоев в материале.

1. *Ф. Люкс*, Упаковка и экология, Изд-во МГУ, Москва (1999).
2. *А.В. Козак*, Упаковка № 1, 30 (2002).
3. *В.И. Повстугар*, Строение и свойства поверхности полимерных материалов, Химия, Москва (1988).
4. *Е.А. Малицкова, И.И. Потапов*, Переработка отходов пластмасс, Авис Оригинал, Москва (1997).
5. *И.И. Кочур, В.М. Струтинский*, Упаковка № 3, 24 (2001).
6. *Э. Бернхардт*, Переработка термопластичных материалов, Химия, Москва (1965).
7. *Е.Н. Брежинский*, Переработка пластических масс, Химия, Ленинград (1985).
8. *Р.В. Торнер*, Основные процессы переработки полимеров, Химия, Москва (1972).

V.V. Dyadichev

TECHNOLOGY OF PROCESSING
THE COMPOSITE POLYMER STUFFS
BY A METHOD OF ÑÏEXSTRUSION

The master schedule of processing the composite secondary polymer stuffs by pressure is designed permitting to refine the waste of polymer stuffs in new qualitative items by using a method of ñÏexstrusion of frame. The method of the analysis of joint flow of polymer melts under pressure in moulding channels of ñÏexstrusion head is worked out, the model of calculation of indispensable productivity, temperature schedule, pressure differential for each layer is built for a given depth of layers in a multilayer polymer stuff.

Fig. 1. A flow diagram of a ñÏexstrusion complex of salvaging polymer waste under pressure

Fig. 2. The scheme of calculation of a segment of joint flow

Fig. 3. Operating characteristic of coextrusion plant: depth of layers in multilayer polymer structure $h_1 = h_2 = h_4 = h_5 = 1.4$ mm, $h_3 = 0.9$ mm; $T = 180^\circ\text{C}$; rotational speed of feed screws, rev/s: $N_1 = 0.7$, $N_2 = 1.55$; 1 – outer layer, 2, 4 – adhesion, 3 – central, 5 – inner

Fig. 4. Changes in backpressure for layers with those in central-layer productivity: width of reshaping slot 1.5 mm; $T = 170^\circ\text{C}$; rotational speed of feed screws, rev/s: $N_1 = 0.9$, $N_2 = 1.7$