

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ УКРАИНЫ
ВОСТОЧНОУКРАИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи

Леваничев Виталий Валерьевич

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ СОЕДИНЕНИЯ
СЛОЕВ В МНОГОСЛОЙНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛАХ,
ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ЕМКОСТЕЙ МЕТОДОМ СОЭКСТРУЗИОННО-
ВЫДУВНОГО ФОРМОВАНИЯ.**

05.03.05 - Процессы и машины обработки давлением.

Автореферат

Диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Луганск - 1997

021.47
020.22

AB36.769

Диссертационная работа является работой **ЛННБ України ім.В.Стефаніка**



Работа выполнена в Восточноукраинском государственном университете

00760859 (Z)

Научный руководитель:

кандидат технических наук, профессор Локотош Б.Н.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор Киричевский В.В.,

кандидат технических наук, доцент Карташева Л.И.

Ведущее предприятие - Луганское КБ АЛ «Ротор».

Защита диссертации состоится 11 февраля 1997г. В 13 час. на заседании специализированного ученого совета при Восточноукраинском государственном университете по адресу : 348034, г. Луганск, кв. Молодежный, 20а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета.

Автореферат разослан 11 января 1997г.

Отзывы на автореферат присылать по адресу университета.

Ученый секретарь
специализированного ученого совета
кандидат технических наук

Л.А.Рябичева

ИЗЛОЖЕНИЕ ОБЩЕЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ, АКТУАЛЬНОСТИ И СТЕПЕНИ ИССЛЕДОВАННОСТИ ТЕМАТИКИ ДИССЕРТАЦИИ.

Комплекс требований к полимерной таре применяемой для упаковки пищевых продуктов, лекарств, товаров бытовой химии, стал так широк и разнообразен, что практически невозможно создать моноплечный материал который бы удовлетворял им.

Основным путем получения полимерной тары и упаковки с заданным регулируемым комплексом свойств является конструирование многослойных полимерных материалов (МПМ). Поэтому весьма актуальной стала задача углубленного исследования процессов и разработки технологий получения МПМ.

Вторым направлением использования многослойности является утилизация изделий из полимеров. В данном случае из отходов полимерных материалов формируется внутренний слой в многослойной системе, и тем самым решается экологическая проблема утилизации отходов.

Новым шагом в изготовлении МПМ является созкструзия. Этот метод позволяет исключить многие технологические операции, необходимые для получения МПМ и является единственным способом изготовления МПМ, при использовании которого выдувным формованием возможно изготовить многослойные емкости (флаконы, бутылки). Именно таким емкостям в настоящее время отводится ведущее место в замене стеклянной и металлической тары, поэтому метод созкструзии представляет наибольший интерес для исследователей.

Ценные эксплуатационные и технологические свойства, присущие МПМ, которые состоят из слоев различной химической природы и структур, обладающих различными свойствами, могут быть реализованы в процессе эксплуатации материала только при условии, что МПМ ведет себя как единое целое. Это обеспечивается соответствующим уровнем взаимодействия между слоями системы. Проблема взаимодействия между слоями многослойного материала и путей повышения его прочности является определяющей как в создании теории конструирования МПМ, так и при оптимизации технологических процессов их получения.

Известно, что уровень связи между слоями МПМ существенно влияет на перенос вещества через стенку упаковки, приводя к снижению проницаемости материала. Межфазные связи увеличивают прочность МПМ в целом. В случае многослойной (например, трехслойной) системы опасность возникновения перенапряжений значительно меньше, чем для однослойного материала, как за счет "залечивания" дефектов, так и за счет процессов перераспределения

напряжений при деформировании ("эффект блокировки"). Такое перераспределение возможно, если слои взаимосвязаны между собой.

К настоящему времени описаны лишь качественные критерии подбора полимеров для соэкструзии. Такие критерии обладают следующими недостатками:

- рекомендации из разных источников плохо согласуются между собой;
- обладают внутренними противоречиями;
- не позволяют количественно прогнозировать уровень соединения слоев из разнородных полимеров;
- не учитывают регулируемые технологические параметры процесса получения МПМ.

ФОРМУЛИРОВКА ЦЕЛИ И ОСНОВНЫХ ЗАДАЧ НАУЧНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ.

Целью работы является повышение прочности соединения слоев в многослойной полимерной таре путем рационализации технологических режимов соэкструзионно-выдувного формования.

1. Поставленная цель определила следующие задачи исследования. Определить факторы влияющие на образование многокомпонентной системы при взаимодействии расплавов полимеров в процессе соэкструзионного формования многослойной заготовки, на основе анализа теорий сварки, смесей и адгезии полимеров. Рассмотреть возможность развития остаточных напряжений в многослойном соединении при плоско-параллельном деформировании и охлаждении на стадии раздувного формования полимерной тары.

2. В экспериментальном исследовании выделить основные регулируемые технологические факторы определяющие конечный уровень соединения слоев в получаемой многослойной полимерной емкости.

3. Разработать методику анализа и математическую модель процесса течения неньютоновских многослойных расплавов под давлением в соэкструзионной головке применимых для расчета уровня напряжений, времени взаимодействия на межфазной границе, при различной производительности, конструктивных параметрах головки экструдеров, материалах соэкструдатов, и, соответственно, для прогнозирования уровня межслойного соединения в полимерной таре, а также разработать методы интенсификации образования соединения слоев в многослойной упаковке.

4. Разработать практические рекомендации по выбору технологических режимов на соэкструзионно-выдувных установках различной производительности для получения многослойных выдувных емкостей с высокой прочностью соединения слоев.

ОБОСНОВАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ И ПРАКТИЧЕСКОЙ ЦЕННОСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ И ЕГО НАУЧНОЙ НОВИЗНЫ.

Для реализации поставленных задач в диссертации:

- разработана математическая модель создания давления экструдером с переменной глубиной канала, учитывающая реологию перекачиваемого расплава и температуру переработки полимера;
- разработан метод анализа совместного течения расплавов полимеров под давлением, созданы алгоритмы и программное обеспечение расчета основных технологических параметров;
- получены уравнения регрессии для прогнозирования уровня межслойного взаимодействия полиолефинов и, соответственно, оценки эксплуатационных характеристик полимерной тары;
- разработан метод изменения скорости течения на межфазной границе повышающий уровень межслойного взаимодействия в МПМ;
- впервые показано, что уровень соединения слоев из полиолефинов регулируется интенсивностью сдвиговых деформаций в соэкструзионной головке, показателем текучести расплавов взаимодействующих полимеров, скоростью вторичного деформирования многослойной заготовки при раздуве.

Практическая значимость работы заключается в том, что рационализирован технологический процесс получения многослойной полимерной тары с высоким уровнем взаимодействия слоев в системе, такая упаковка имеет улучшенные эксплуатационные характеристики (повышенную стойкость к деформациям, колебаниям температуры, меньшую паро- и газопроницаемость).

Предложенные методы анализа, алгоритмы и программы расчета на ЭВМ позволяют уже на стадии проектирования многослойной упаковки, когда задается необходимый комплекс свойств тары и производительность установки, рассчитывать необходимые технологические и конструктивные параметры.

Математическая модель может использоваться для технико-экономической оценки существующего экструзионного оборудования. При разработке новых высокопроизводительных соэкструзионно-выдувных установок для оптимизации конструктивных параметров шнеков и каналов течения под различные полимерные материалы.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УРОВНЯ РЕАЛИЗАЦИИ И ВНЕДРЕНИЯ НАУЧНЫХ РАЗРАБОТОК.

Результаты, полученные в диссертационной работе, использовались

при проведении научно-исследовательских работ "Создание датчиков и модульных блоков компьютерных средств контроля технологических процессов с встроенными системами диагностики и возобновления точностных характеристик" (Гос. Рег. N 0193U002397), "Исследование адгезии и соэкструзии в процессах формования многослойных полимерных фасовочных емкостей для пищевых продуктов и химически активных веществ" (Гос. рег. N 0196U023022)

Разработано и создано устройство интенсификации уровня соединения слоев в многослойной полимерной таре, произведены производственные испытания на установке Луганского КБ автоматических линий.

Получены образцы емкостей 0.33, 0.5, 1л на основе полиэтилена НП и ВП, полипропилена (полимеры отечественного производства). В изготовленных емкостях проводилась стерилизация соков в автоклавах на Славяносербском консервном заводе.

Методика расчета каналов соэкструзионной головки для обеспечения проектной производительности использовалась при разработке модифицированной соэкструзионно-выдувной установки для Лисичанского «Желатинового завода».

Математическая модель процесса экструзии полимеров с различной реологической характеристикой при заданной температуре и производительности использовалась в разработке технологических режимов экструзионно-выдувного производства упаковок для конфет на Луганской «Фабрике игрушек.» и при проектировании линии по производству труб из полипропилена для ЧП «Звезда».

ИНФОРМАЦИЯ ОБ ОПРОБАЦИИ И ПУБЛИКАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ, СТРУКТУРЕ И ОБЪЕМЕ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ.

Результаты работы публиковались в журнале «Вестник Восточнoукраинского государственного университета. Серия Машиностроение» 1997г.

Материалы диссертации докладывались и обсуждались на научно-технических конференциях и семинарах: "Синтетические смолы и пластмассы. Технология производства и применения в отраслях промышленности" (г. Киев 1995г.), "Экология промышленного региона" (г. Донецк 1995г.), " Ресурсо- и энергосберегающие технологии в машиностроении" (г. Одесса 1995г.), "Оснастка-95" (г. Киев 1995г.), "Технология и оборудование для переработки полимерных материалов" (п. Славское 1996г.).

Публикации. Основное содержание диссертации изложено в 12

печатных работах.

Структура и объем работы. Диссертация изложена на 198 листах машинописного текста и содержит введение, пять глав, выводы, список литературы из 103 наименований, 45 рисунков на 35 стр., 52 таблицы на 18 стр., и приложения на 20 стр.

ДЕКЛАРАЦИЯ КОНКРЕТНОГО ЛИЧНОГО ВКЛАДА ДИССЕРТАНТА В РАЗРАБОТКУ НАУЧНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ, КОТОРЫЕ ВЫНОСЯТСЯ НА ЗАЩИТУ.

- Проведены экспериментальные исследования по определению влияния регулируемых технологических параметров соэкструзионно-выдувной установки на соединение слоев в многослойных полимерных емкостях.
- Разработана методика анализа процесса течения неньютоновских многослойных расплавов под давлением в соэкструзионной головке для расчета уровня напряжений, времени взаимодействия на межфазной границе, при различной производительности, конструктивных параметрах головки экструдеров, материалах соэкструдатов, и, соответственно, для прогнозирования уровня межслойного соединения в полимерной таре.
- Разработана математическая модель создания давления экструдером с переменной глубиной канала, учитывающая реологию перекачиваемого расплава и температуру переработки полимера.

ОБЩАЯ МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ.

Методы исследования базируются на диффузионной теории адгезии, теориях смесей и сварки полимерных материалов.

В основу математической модели положены процессы реологии расплавов полимеров, создания давления и перекачки расплава и теплообмена в экструдере.

Адекватность теоретических результатов, выводов и рекомендаций подтверждается данными, полученными на экспериментальной установке при исследованиях процессов соэкструзионно-выдувного формования на основе методов математической статистики.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ.

Во введении дана характеристика проблемы, проведен короткий анализ состояния вопроса, доведена актуальность работы, сформулирована цель работы, определены научная новизна и практическая ценность работы, приведены сведения об реализации и апробации результатов работы, ее структура.

В первой главе рассмотрены современные методы производства многослойных полимерных материалов. Показано, что метод соэкструзии является наиболее прогрессивным и единственно возможным способом изготовления многослойных емкостей. Рассмотрены методы оптимизации

различных технологических процессов получения МПМ (каширования, экструзионного ламинирования и др.) с целью достижения максимальной прочности соединения слоев.

В доступных анализу материалах подбор совместно экструдруемых полимеров, для получения МПМ с различной прочностью соединения слоев, осуществляется лишь по качественным методам. Такие методы основываются на термодинамической совместимости полимеров, при этом никакие регулируемые технологические параметры процесса не учитываются. Такие критерии подбора не дают также реального представления об уровне прочности между слоями, критических нагрузках приводящих к расслоению МПМ, к тому же противоречат друг другу.

В тоже время прочность соединения слоев в многослойной упаковке определяет ее эксплуатационные характеристики (стойкость к деформациям, колебаниям температуры, паро- и газопроницаемость и др.).

Проведенный анализ показал необходимость исследования и рационализации регулируемых параметров технологии соэкструзионно-выдувного формования для получения емкостей с высоким межслойным взаимодействием.

Во втором разделе диссертации проведен анализ процесса возникновения многофазной системы при взаимодействии расплавов полимеров.

Современная физико-химия адгезии полимеров, разрабатываемая В.Л. Вакулой, Л.М. Притыкиным, Э. Кинлоком, в основном рассматривает взаимодействие жидкого субстрата и твердой подложки и отдает предпочтение явлениям смачивания и растекания, поэтому механическое перенесение выводов этой теории на исследуемый процесс соэкструзии неприемлемо.

В случае взаимодействия расплавов полимеров при их совместном течении в соэкструзионной головке, процесс соединения слоев наиболее полно описывает диффузионная теория адгезии, предложенная С.С. Воюцким, где показано, что взаимодиффузия макромолекул с 1 до 2 нм приводит к увеличению адгезионной прочности в 5-9 раз. Основными определяющими факторами здесь являются молекулярная масса и время контакта фаз.

Очень близки по сущности процессы смешения и сварки полимерных материалов, где также взаимодействуют расплавы или нагретые поверхности нескольких полимеров. В описание межфазного взаимодействия полимеров большой вклад внесли Ю.С. Липатов, В.Н. Кулезнев, В.Е. Чалых и др.

В теории смесей качество получаемых материалов прежде всего определяется совместимостью смешиваемых компонентов, поскольку

необходимый уровень деформаций всегда развивается для обеспечения требуемой дисперсности среды. Совместимость компонентов прогнозируется параметром Флори-Хаггинса, причем наблюдается тройное влияние температуры на данный параметр. Увеличение температуры улучшает совместимость и приводит к росту межфазного взаимодействия полимеров, и, соответственно, интенсификации взаимодиффузионных процессов.

Высокая скорость образования прочных сварных соединений, при сварке термопластов в вязкотекучем состоянии, обусловлена главным образом процессами течения макрообъемов расплавов. Это подтверждает тот факт, что при сварке, чем ниже температура, тем больше должно быть сварочное давление, необходимое для получения сварных соединений с максимальной прочностью. Поэтому в процессах сварки полимерных материалов оптимизированы давление (напряжение, скорость сдвига), температура и время сварки.

Вторичное формование присутствует во всех процессах соэкструзионного получения многослойной полимерной тары и упаковки. При этом МПМ находится в вязкотекучем состоянии и способен к накоплению больших обратимых деформаций. Уровень таких деформаций зависит от скорости и кинематики деформирования материала. Обратимые деформации влияют на эксплуатационные свойства многослойной упаковки, поскольку уменьшают прочность связи между слоями и могут служить причиной самопроизвольного разрушения МПМ.

Итак, решение вопроса образования соединения слоев при соэкструзии лежит на стыке теорий адгезии, смешения и сварки полимерных материалов.

Во третьем разделе приведены результаты исследования влияния технологических факторов на уровень соединения слоев в многослойной таре.

Рассмотрены конструктивные особенности установки, проведен анализ геометрии шнеков и каналов головки, показана номенклатура полимеров оптимально перерабатываемых в исследуемом процессе: полиэтилен высокой и низкой плотности (ПЭВП и ПЭНП), полипропилен (ПП) и полистирол (ПС) (все полимеры отечественного производства).

Применяемая в экспериментальной установке микропроцессорная система контроля и управления температурой осуществляет двухзонное регулирование в 15 зонах переработки полимеров. Электропривод с обратной связью по скорости и току стабильно поддерживает заданную частоту вращения каждого шнека. Частота вращения дополнительно измеряется и отображается на табло тахометра. Смена дорна или матрицы

позволяет регулировать толщину и диаметр многослойной соэкструзионной заготовки.

Для исследования возникающих соединений слоев выделены следующие регулируемые технологические параметры:

-длина молекул соэкструдатов, задаваемая подбором сырья по показателю текучести расплава (ПТР), X2, X3;

-сдвиговые деформации на межфазной границе при течении многослойного потока в головке, они варьируются изменением ширины формирующей щели, X4;

-температура расплавов, улучшающая совместимость и подвижность макромолекул, задается системой контроля и управления температурой, X1;

-время течения в очаге деформации, изменяется в зависимости от длины канала формования, X5;

-давление вторичного деформирования, X6.

Показано, что основным ограничением диапазона варьирования первых трех факторов является формоустойчивость заготовки во времени. Для этого необходимо чтобы выполнялось соотношение:

$$\mu = 1.555 L^2 \rho / v$$

где μ -эффективная вязкость, Па·с; $\mu = f(T, \text{ПТР})$, T- температура, °С; v - скорость движения полимерной трубки, м/с; $v = f(Q, H, T)$, Q- производительность, м³/с; L- необходимая длина заготовки, м; H -ширина формирующей щели, м; ρ -плотность расплава, кг/м³.

Верхний предел варьирования давления раздува ограничивается возможностью разрыва трубки, нижний - степенью прижима к стенкам пресс-формы (при малом давлении раздува происходит коробление поверхности тары).

В качестве матрицы планирования эксперимента использована 1/4 реплика от полного факторного эксперимента.

Предварительно были построены калибровочные кривые при различной температуре экструзии и ширине формирующей щели.

Во всех экспериментах производительность для внешнего и внутреннего слоя поддерживалась постоянной, путем установки требуемой частоты вращения шнеков по калибровочным кривым экструзии исследуемых полимеров (зависимость массовой производительности от частоты вращения шнека, $Q=f(N)$).

Исследованы четыре структуры: ПЭВП-ПП, ПЭНП-ПП, ПЭВП-ПЭНП, ПЭВП-ПЭВП.

Уровень взаимодействия слоев оценивался по сопротивлению расслаиванию, которое измерялось на разрывной машине модели РМУ-0.05-1

У 4.2. ГОСТ 7855-74 N12.

На основе регрессионного анализа получены уравнения вида:

$$Y = a + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_5 x_5.$$

Адекватность полученных уравнений оценивалась по критерию Фишера.

Анализ значимости коэффициентов уравнений по критерию Стьюдента показал, что уровень соединения слоев в многослойном полимерном материале определяется прежде всего интенсивностью сдвиговых деформаций в головке, показателем текучести соэкструдатов, давлением раздувного формования. Температура расплавов более значима для менее совместимых систем, время взаимодействия в очаге деформации для аутогезионного соединения.

Но данные соотношения имеют узкий диапазон, где варьирование технологических факторов позволяет прогнозировать изменение уровня соединения слоев и рационализировать таким образом параметры производственного процесса.

Четвертый раздел работы посвящен разработке математической модели соэкструзионно-выдувного формования, которая позволяет рассчитать характеристики течения многослойного потока на границе раздела слоев в головке (напряжение и скорость сдвига, перепад давления по каналам характерной геометрии, время взаимодействия, скорость деформирования при раздуве), расширяет возможность применения выводов диссертационной работы на исследуемый процесс с целью достижения более высокой производительности и прочности соединения МПМ.

Для описания реологической характеристики полимера выбрана эмпирическая модель степенной жидкости.

Получены соотношения для рассматриваемых полимеров в виде:

$$\mu = m_0 \exp\{-0.01(T - T_0)\} \gamma^{n-1};$$

где μ -вязкость, m_0 -константа вязкости при T_0 , T -температура переработки, γ -скорость сдвига, n -индекс течения расплава.

Эпюра скоростей в многослойном потоке рассчитывается по уравнению:

$$U_{ji}(y) = \frac{H}{2(1/n_i + 1)} \left(\frac{H \cdot \Delta P}{2 \cdot \mu_i \cdot L} \right)^{1/n_i} \left[1 - \left(\frac{2 \cdot y}{H} \right)^{1/n_i + 1} \right] \quad (y > 0);$$

где y -координата скорости в потоке, L -длина канала, ΔP -перепад давления, H -толщина канала, i -номер слоя.

Напряжение сдвига: $\tau(y) = (\Delta P / L) \cdot y$;

При этом должны выполняться условия несмешивания слоев, на границе

раздела слоев:

$$\tau_{ji} = \tau_{ji+1}, \quad U_{ji} = U_{ji+1}; \quad \text{для} \quad y_i = y_{i+1}.$$

При расчете, каждый слой разбивается на заданное количество микрослоев с шириной

$$w_j = \pi \cdot (R_j + r_j), \quad \text{толщиной} \quad sh_j = R_j - r_j \quad \text{и определяется координатой} \quad y_j.$$

Поэтому производительность микрослоя j определяется:

$$Q_{ij} = U_{ij} \cdot w_j \cdot sh_j;$$

Производительность всего слоя:

$$Q_i = \sum_{j=1}^{\text{toch}} Q_{ij};$$

где toch - количество микрослоев на которое разбивается слой полимера при моделировании.

Перепад давления в каналах головки, по заданной производительности определяется по соотношению:

$$\Delta P = \left[\frac{2 \cdot (1/n_i + 2) \cdot Q_i}{W_k \cdot H_k^2} \right]^{ni} \cdot \frac{2 \cdot \mu_i \cdot L_k}{H_k};$$

Для случая течения в коническом канале, полагая, что локальный поток является кольцевым, данное уравнение можно использовать при описании течения в пределах участков малой длины, расположенных друг за другом в направлении изменения геометрических параметров канала.

Таким образом определяются основные характеристики соэкструзионной головки - перепад давления при заданной производительности, температуре и реологической характеристике материала.

Математическое описание работы винтового насоса для исследуемого процесса, может быть получено интегрированием уравнения по длине шнека:

$$\Delta P = \int_0^l \mu \cdot \frac{X_1 \cdot N \cdot h(l) \cdot \left[1 - \frac{0.55}{w} h(l) - \delta/h(l) \right] - Q}{X_2 \cdot \left[1 - \frac{0.63}{w} h(l) \right] \cdot h^3(l)} dl;$$

где $h(l)$ - зависимость глубины канала от длины червяка: $h(l) = h_1 - (h_1 - h_2) \frac{l}{L}$

h_1 - глубина канала в зоне загрузки, h_2 - глубина канала в зоне дозирования, L - длина червяка, l - текущая длина шнека, w - ширина канала, δ - зазор между гребнем витков и цилиндром экструдера, Q - производительность, N - частота вращения шнека, μ - вязкость полимера, скорость сдвига определяется по формуле: $\gamma = \pi \cdot D \cdot N / h$, и зависит от частоты вращения шнека.

Константы геометрии:

$$X_1 = \pi^2 \cdot D^2 \cdot (1 - e/t) \cdot \sin\varphi \cdot \cos\varphi ;$$

$$X_2 = \pi \cdot D \cdot (1 - e/t) \cdot \sin^2\varphi / 6 ;$$

здесь D - диаметр шнека, e - ширина гребня витка, t - шаг червяка, φ - угол наклона витка.

Для шнека с отношением $l > h/w > 0.6$ коэффициенты формы канала определяются из соотношений

$$F_d = 1 - (0.55/w) \cdot h(l), F_p = 1 - (0.63/w) \cdot h(l);$$

Интегрируя уравнение получаем:

$$\Delta P = \frac{L \cdot \mu}{(h_1 - h_2) \cdot X_2} * [Q \cdot I_2 - N \cdot X_1 \cdot I_1] ;$$

$$\text{где } I_1 = f(h_1, h_2, \delta, w); I_2 = f(h_1, h_2, \delta, w)$$

Полученное уравнение, при моделировании, решается относительно частоты вращения шнека численным методом деления отрезка пополам.

Время взаимодействия в очаге деформации определяется как сумма времени течения на каждом участке совместного течения:

$$t = l_1/U_1 + l_2/U_2 + l_3/U_3 ;$$

где l - длина данного участка совместного течения, U - скорость течения на границе раздела слоев на данном участке.

На основе анализа конструкции соэкструзионной головки, канал совместного течения был разбит на 4 участка. Для каждого подводящего канала раздельного течения выделены 5-7 участков с различными геометрическими параметрами.

Начальная скорость деформирования:

$$\varepsilon(0) = \frac{1}{2} \left(\frac{P_0}{P_u} \right)^{-1/k} \left(\frac{G_u}{V_0} \right)$$

где P₀ - давление в заготовке, P_u - давление раздува, V₀ - начальный объем заготовки, G_u = v · W · S_H - объемный расход поступающего в заготовку газа, W - скорость истечения газа в заготовку, S_H - площадь поперечного сечения отверстия ниппеля, v - коэффициент расхода подводящей системы, k - показатель адиабаты.

Время раздува до нужного объема V₁ :

$$\phi = \frac{V_1 - V_0}{G_u \cdot (P_0/P_u)^{-1/k}}$$

Для полного описания процесса раздувного формования необходимо учитывать динамику охлаждения формообразованной тары в форме, тогда функция T=f(t) определяется:

$$\frac{T - T_0}{T_1 - T_0} = \left(1 - \frac{x}{(24 \cdot \alpha \cdot t)^{1/2}} \right)^3;$$

где T - текущая температура в точке относительно поверхности пресс-формы с координатой x , T_0 - температура расплава, T_1 - температура охлаждающей поверхности пресс-формы, x - толщина тары относительно охлаждающей поверхности (определяющая точку расчета), t - время, α - температуропроводность полимера.

Уравнения позволяют определить основные параметры вторичного формования и рассчитать параметры для оценки остаточных напряжений.

Моделирующая программа разработана с использованием компилятора Borland Pascal 7.0. Для отображения результатов разработана графическая библиотека. Моделирующая программа обрабатывает 127 входных данных, в том числе 72 геометрических параметра соэкструзионной головки. В результате расчета строится эпюра скоростей многослойного потока, в табличной форме выводится 15 основных характеристик процесса и 50 дополнительных, которые позволяют построить наладочные кривые процесса соэкструзии трехслойного материала для получения МПМ с заданной толщиной каждого слоя при выбранных технологических параметрах производства (рис. 1).

Для проверки адекватности предложенной модели исследовалось изменение толщины каждого слоя при варьировании частоты вращения экструдера среднего слоя, и, соответственно, производилось моделирование системы. Рассчитанное значение F -критерия не превышает табличного для 5% уровня значимости. Результаты представлены на рис. 2.

В пятой главе произведена рационализация технологических параметров соэкструзионно-выдувного формования с целью получения многослойной тары с высоким уровнем межслойного взаимодействия. Предложен метод интенсификации процесса соединения слоев.

Наладочные кривые созкструзии трёхслойной структуры ПЭВП-035 -- ПЭВП-035 -- ПЭВП-035

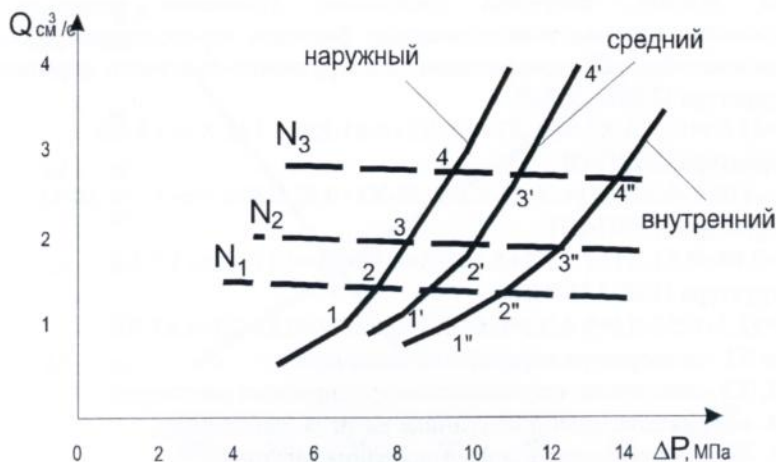


Рис.1.

толщина каждого слоя в МПМ 0,33 мм; $T=170^{\circ}\text{C}$;
 1,1',1'' - точки, определяющие необходимую частоту вращения шнеков;
 $N_1=0,72$ об/с; $N_2=1,04$ об/с; $N_3=1,45$ об/с

Зависимость толщины слоёв от частоты вращения шнеков.
 Структура ПЭВП-ПЭВП-ПЭВП



Рис.2.

суммарная толщина МПМ 4 мм

На основе совместного анализа экспериментальных данных и результатов моделирования, с применением программного обеспечения по статистической обработке Winstat, получены следующие уравнения регрессии для прогнозирования влияния технологических факторов на соединение слоев при получении многослойной тары методом соэкструзионно-выдувного формования.

Структура ПЭВП-ПЭВП:

$$Y=217.5+0.075 \cdot X_1+6.3 \cdot X_2+9.8 \cdot X_3+0.91 \cdot X_4+0.142 \cdot X_5+5.8 \cdot X_6$$

Структура ПЭВП-ПП:

$$Y=-110.1+0.825 \cdot X_1+10.15 \cdot X_2+4.92 \cdot X_3+0.92 \cdot X_4+0.196 \cdot X_5+4.58 \cdot X_6$$

Структура ПЭНП-ПП:

$$Y=2.04+0.51 \cdot X_1+7.3 \cdot X_2+5.13 \cdot X_3+0.95 \cdot X_4+0.178 \cdot X_5+3.7 \cdot X_6$$

Структура ПЭВП-ПЭНП:

$$Y=92.5+0.52 \cdot X_1+9.4 \cdot X_2+6.64 \cdot X_3+0.98 \cdot X_4+0.14 \cdot X_5+5.67 \cdot X_6$$

где X_1 -температура переработки полимеров;

X_2, X_3 -показатели текучести соэкструдированных расплавов;

X_4 -напряжение сдвига на границе раздела полимеров;

X_5 -начальная скорость деформирования заготовки;

X_6 -время совместного течения в очаге деформации.

Таким образом технологические параметры соэкструзионно-выдувного формования, для повышения уровня взаимодействия слоев, необходимо задавать следующим образом.

1. Показатели текучести расплавов соэкструдатов должны составлять 4-6г/10мин. Не следует пытаться достичь повышения уровня межслойного взаимодействия за счет увеличения ПТР выше рекомендуемых значений, так как это приведет к снижению когезионной прочности, и, соответственно, прочности соединения, также потребуются более высокая термостабилизация процесса для улучшения формоустойчивости заготовки.

2. Технологический процесс следует вести с максимально возможным напряжением сдвига на границе раздела полимеров. Верхний предел увеличения напряжения сдвига определяется эффектом дробления поверхности экструдата. Критическое значение для большинства полимерных материалов составляет 0.1МПа. Это максимальное значение допустимых напряжений сдвига можно увеличить примерно в 3раза, если сделать стенки канала, подводящего материал к формующей щели наклонными так, чтобы величина угла между стенками канала составляла 20-26градусов. Это следует учитывать при проектировании соэкструзионных головок.

Влияние технологических параметров созкструзионно-выдувного формирования на прочность соединения слоёв в МПМ

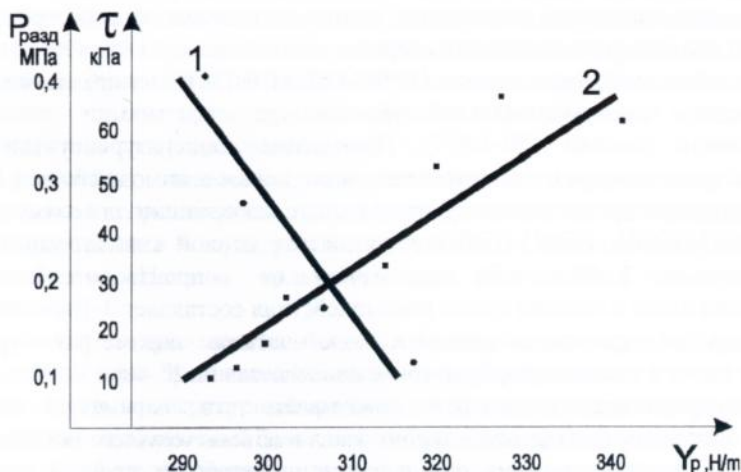


Рис.3. 1 - при изменении давления раздува
2 - при изменении напряжения сдвига

• • - экспериментальные значения

— — — - рассчитанные по уравнению регрессии

Напряжение сдвига изменяется от 0 в центре канала до максимального значения на стенке, поэтому зависит не только от производительности и противодавления, но и от распределения слоёв в канале.

При созкструзии симметричного трехслойного материала ($H_1=H_2=H_3$), оптимальный уровень напряжений сдвига составляет 40-60кПа, при максимальной производительности для данной геометрии формирующей щели и соотношении частот вращения шнеков 1:1.8:1.

Такое отношение объясняется тем, что средняя скорость течения среднего слоя в 1.5-2 раза выше, чем у внутреннего и наружного слоёв, поэтому экструдеру среднего слоя необходимо развивать большую производительность. Следует избегать конструирования МПМ, когда граница слоёв совпадает с центром канала, где $\tau=0$.

Давление вторичного деформирования 0.15-0.20МПа обеспечит минимальное развитие высокоэластических деформаций в полимере, соответственно остаточных напряжений в МПМ. При этом будет обеспечена начальная скорость раздува $50-60с^{-1}$, при диаметре отверстия ниппеля 2мм.

Увеличение цикла вторичного формования не приведет к уменьшению производительности установки в целом, в тоже время такого давления достаточно для прижима полимерной тары к стенкам пресс-формы, что необходимо для быстрого охлаждения тары.

4. Для слабосовместимых систем ПЭВП-ПП, ПЭНП-ПП изготовление МПМ следует вести при максимальной температуре переработки по зонам соэкструзионной головки 180-190°C. Повышение температуры увеличивает совместимость полимеров и соответственно межслойное взаимодействие в МПМ.

5. Рациональное время взаимодействия в очаге деформации для совместимых систем ПЭВП-ПЭНП, ПЭВП-ПЭВП определяется длиной канала совместного течения равным 70-80мм. В зависимости от производительности и распределения слоев в головке время взаимодействия составляет 3-10с.

В результате рационализации технологических параметров уровень соединения слоев в многослойной упаковке повышается на 25-40%.

Реология расплавов полимеров показывает, что параметры течения полимеров определяют поведение макромолекул в объеме текущего потока.

Рассмотрим процесс течения при соэкструзии наиболее простой системы, когда текут три одинаковых материала. Допустим произошло увеличение частоты вращения экструдера среднего слоя, тогда в точке вливания потока произойдет утолщение слоя, увеличится скорость потока в целом. При этом в части потока, которая расположена ниже относительно точки вливания потока, будет развиваться распределение скоростей заданное в месте соединения расплавов.

Это значит, что на границе раздела многослойной структуры, которая еще не выдавилась из головки и сохранила предыдущее распределение слоев, во-первых увеличится скорость течения, во-вторых произойдет увеличение скорости сдвига, соответственно произойдет разворот контуров взаимодействующих макромолекул в сторону увеличения скорости сдвига именно в данной части потока. Если затем уменьшить частоту вращения до прежнего значения, будет наблюдаться обратная картина: уменьшение толщины среднего слоя и соответственно уменьшение скорости сдвига на границе раздела полимеров.

Изменяя колебательным образом частоту вращения экструдера среднего слоя можно произвести как бы "притирку" слоев в головке. Для регулирования частоты вращения, задающее напряжение изменяется от 0 до 10В переменным сопротивлением. Поэтому если последовательно с регулировочным включить дополнительное сопротивление и периодически вводить и выводить из цепи управления частотой вращения, задающее

напряжение будет изменяться от U_{\min} до U_{\max} , при этом аналогично будет изменяться частота вращения шнека от N_{\min} до N_{\max} . Амплитуда колебаний (10..15 об/мин) определяется величиной дополнительного сопротивления $R_{\text{доб}}$, а период колебаний периодичностью введения $R_{\text{доб}}$ в цепь управления (3..4 с).

С целью определения возможности реализации предложенного метода был изготовлен экспериментальный образец устройства интенсификации взаимодействия слоев при соэкструзии.

В устройстве включение дополнительного сопротивления, в схему формирования управляющего напряжения производится электронным ключом, который управляется генератором низкой частоты, в качестве которого применен мультивибратор. Питание мультивибратора производится от управляющего напряжения.

Испытания на производстве были проведены на установке по производству многослойной тары Луганского КБ автоматических линий.

Был задан температурный режим по зонам контроля и регулирования температуры, необходимый для получения качественной упаковки и частота вращения, обеспечивающая заданную производительность. Задавались технологические параметры, оптимизированные в предыдущих разделах диссертации.

Экструдерами внешнего и наружного слоя подавался полиэтилен высокой плотности, в экструдер среднего слоя поочередно подавался полиэтилен низкой плотности и полипропилен. Уровень взаимодействия слоев оценивался по сопротивлению расслаиванию.

При применении устройства интенсификации межслойного взаимодействия полимеров произошло увеличение степени взаимодействия слоев на 26-29%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

1. Показано, что прочность соединения слоев в многослойной упаковке определяет ее эксплуатационные характеристики (стойкость к деформациям, колебаниям температуры, паро- и газопроницаемость).

2. Установлено, что прочность соединения слоев из полиолефинов, в процессе соэкструзионно-выдувного формования полимерных емкостей, регулируется интенсивностью сдвиговых деформаций в головке, показателем текучести расплава взаимодействующих полимеров, давлением вторичного деформирования многослойной заготовки.

3. Разработана математическая модель создания давления экструдером с переменной глубиной канала, позволяющая определить частоту вращения для обеспечения заданной производительности процесса, при различной реологической характеристике перекачиваемого расплава, температуре

переработки, конструкции головки, рассчитать необходимую мощность привода шнека.

4. Разработан метод анализа совместного течения расплавов полимеров под давлением в формующих каналах соэкструзионной головки, созданы алгоритмы и программное обеспечение расчета необходимой производительности, температурного режима, перепада давления для каждого слоя при заданной толщине слоев в МПМ, что позволяет рассчитать основные технологические факторы на стадии конструирования многослойной емкости, и определить параметры течения на межфазной границе регулирующие прочность соединения слоев в МПМ.

5. Получены уравнения регрессии для прогнозирования уровня межслойного взаимодействия полиолефинов и соответственно оценки эксплуатационных характеристик полимерной тары.

6. Показано, что при обеспечении напряжения сдвига в пределах 40-60кПа, подбора полимеров с показателем текучести расплава 4-6г/10мин, давления раздувного формования 0.15-0.2МПа при сечении ниппеля 2мм и взаимодействии расплавов в головке в течении 5-10с происходит повышение прочности соединения слоев на 25-35%.

7. Разработан метод обеспечивающий переменную скорость течения на межфазной границе и повышающий уровень межслойного взаимодействия на 26-29% в многослойной упаковке.

8. Предложенные методы расчета и математическая модель могут использоваться для технико-экономической оценки действующего экструзионного оборудования, проектирования экструзионных и соэкструзионных головок, шнеков, при разработке новых высокопроизводительных соэкструзионно-выдувных установок.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В ТАКИХ РАБОТАХ.

1. Локотош Б.Н., Дядичев В.В., Леваничев В.В. Исследование технологических режимов при формировании многослойной полимерной трубки в соэкструзионной головке. // Вестник Восточноураинского государственного университета. Серия машиностроение, 1997. - с. 31-33.

2. Леваничев В.В. Межфазная адгезия полимеров при совместной экструзии.// Оснастка-95; Сб. докл. межд. науч.-техн. конф., Ялта, 1995. - с. 74-77.

3. Локотош Б.Н., Леваничев В.В., Дядичев В.В. Моделирование технологического процесса совместной экструзии.// Вестник Восточноураинского государственного университета. Серия машиностроение, 1997. - с. 48-51.

4. Локотош Б.Н., Дядичев В.В., Леваничев В.В., Козак В.А. Микропроцессорная система управления технологическим процессом соэкструзионной установки. // Проблемы и перспективы развития сертификации промышленной продукции; тез. докл. науч.-техн. конф., п.Сколе, 1995. - с. 43-44.
5. Локотош Б.Н., Дядичев В.В., Леваничев В.В. Исследование основных характеристик соэкструзионной установки.// Синтетические смолы и пластмассы. Технология производства и применения в отраслях промышленности; тез. Науч.-техн. конф., Киев, 1995. - с. 29.
6. Локотош Б.Н., Леваничев В.В., Дядичев В.В. Утилизация использованных многослойных полимерных материалов.// Экология промышленного региона; тез. Докл. науч.-техн. конф., Донецк, 1995. -с. 31.
7. Локотош Б.Н., Дядичев В.В., Леваничев В.В. Анализ течения неньютоновских многослойных расплавов при совместной экструзии. // Лазерные и физико-технические методы обработки материалов; тез. науч.-техн. Конф., Одесса, 1995. - с. 42-43.
8. Дядичев В.В., Леваничев В.В., Козак В.А. Ресурсосберегающая технология и оборудование для изготовления многослойной полимерной тары.// Ресурсо- и энергосберегающие технологии в машиностроении; тез. Науч.-техн. конф., Одесса, 1995. - с.48.
9. Леваничев В.В. Анализ влияния технологических параметров соэкструзионно-выдувного формования на адгезию между слоями полимеров.// Технология и оборудование для переработки полимерных материалов; тез. науч.-техн. Конф., п.Славянское, 1996. - с. 24-25.
10. Локотош Б.Н., Леваничев В.В., Дядичев В.В. Возникновение адгезионного соединения при совместной экструзии полимеров.// Организация и технология ремонта механизмов машинной оснастки; тез. Науч.-техн. конф., Ялта, 1996. - с. 17-18.
11. Локотош Б.Н., Леваничев В.В., Дядичев В.В. Оценка термодинамической совместимости полимеров при совместной экструзии.//Производство и ремонт механизмов и машин в условиях конверсии; Сб. тез. докл. науч.-техн. конф., Ялта, 1995. - с. 122-123.
12. Локотош Б.Н., Леваничев В.В., Дядичев В.В. Взаимодиффузия полимеров при формировании адгезионного соединения на соэкструзионной установке.// Синтетические смолы и пластмассы технология производства и применения в отраслях промышленности; тез. Докл. науч.-техн. конф., Киев, 1995. - с. 67.

АНОТАЦІЯ

Леванічев В. В. Опрацювання технологічних режимів сполучення шарів у багат шарових полімерних матеріалах при виготовленні ємкостей засобом соекструзійно-видувного формування.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук по спеціальності 05.03.05 - процеси та машини обробки тисненням. Східноукраїнський державний університет, Луганськ 1997.

Захищається 12 наукових робіт, що містять теоретичні та експериментальні дослідження опрацювання технологічних режимів сполучення шарів у багат шарових полімерних матеріалах при виготовленні ємкостей засобом соекструзійно-видувного формування.

Установлено, що міцність сполучення шарів із поліолефінів збільшується під час зростання напруги зсуву на кордоні розділу у процесі первинного формування, показнику текучості соекструдатів та під час зменшення швидкості вторинного деформування.

Здійснено промислове впровадження розробленого засобу інтенсифікації процесу сполучення шарів, надаються дані про ефективність застосування розроблених технологічних режимів у виробництві багат шарової полімерної упаковки.

ANNOTATION.

Levanichev V.V. Working out of technological regimes of joining layers in the multilayers polymer materials in making tanks by the method of coextrusion-blow moulding.

The thesis for candidate of engineering degree on specialty 05.03.05 - processes and machines of working by pressure. East-Ukrainian State University, Lugansk, 1997.

12 scientific works are defended. They contain theoretical and experimental researches on the working out of technological regimes of joining layers in the multilayers polymer materials in making tanks by the method of coextrusion-blow moulding.

It has been determined that the increase strength joining between layers are connected with growth of shearing stress on the interface in process initial moulding, fluidity index coextrudates and with the decreasing velocity of the secondary deformation.

The industrial introduction of the worked out method of intensification of process of joining layers has been put into practice; the summarised data of the efficiency of using worked out technological processes in production of multilayer polymer packages have been made.

Ключові слова: соекструзійно-видувна машина, багатошарові полімерні упаковки, міцність зв'язку шарів, напруження зсуву, високоеластична деформація, реологія полімерів, опір розшаруванню.

Подписано к печати 10.01.1997г. Формат 60x84., 1 п. л.

Тираж 100 экз. Заказ 3.

Ротапринт ВУГУ. 348034, г. Луганск, кв. Молодежный, 20а

441228

AB 36.769

AB 36.769

AB 36.769
1/1/01

Faint, illegible text covering the majority of the page, likely representing the body of a bill or document.