

678
С 72

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

УДК 678.073:678.027.07 ~~539.5:539.621~~

СПИГЛАЗОВ
Александр Владимирович

**ВЯЗКОЕ ТЕЧЕНИЕ И ТРЕНИЕ
ВЫСОКОНАПОЛНЕННЫХ ТЕРМОПЛАСТИЧНЫХ
КОМПОЗИЦИЙ ПРИ ПРЕССОВАНИИ ПЛОСКИХ ИЗДЕЛИЙ**

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук
по специальности 05.17.06 – Технология и переработка
полимеров и композитов

Минск 2007

Работа выполнена в учреждении образования «Белорусский государственный технологический университет».

Научный руководитель

Ставров В.П.,

доктор технических наук, профессор,
УО «Белорусский государственный технологический университет», кафедра механики материалов и конструкций

Официальные оппоненты:

Богданович П.Н.,

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой материаловедения и обработки материалов, УО «Белорусский государственный университет транспорта»;

Снопков В.Б.,

кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой технологии клееных материалов и плит, УО «Белорусский государственный технологический университет»

Оппонирующая организация

ГНУ «Институт механики металлополимерных систем имени В.А. Белого» Национальной академии наук Беларуси (г. Гомель)

Защита состоится 26 ноября 2007 г. в 14⁰⁰ часов на заседании Совета по защите диссертаций Д 02.08.04 при УО «Белорусский государственный технологический университет» (Беларусь, 220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а) в аудитории 240 корп. 4. Тел.(8-017) 227-51-71; факс (8-017) 227-62-17, электронная почта: root@bstu/unibel.by/

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке УО «Белорусский государственный технологический университет».

Автореферат разослан 25 октября 2007 г.

Ученый секретарь

совета по защите диссертаций
кандидат технических наук, доцент



О.Я. Толкач

КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Композиционные материалы на основе термопластичных полимеров нашли применение в автомобилестроении, строительстве, при производстве товаров народного потребления. По технико-экономическим и экологическим соображениям наиболее целесообразно использование в качестве матриц вторичных полимеров и их смесей, а в качестве наполнителей – отходов стеклянных или полимерных волокон, отходов переработки древесины, технических сельскохозяйственных культур. Вследствие высокой вязкости таких композиций ограничены возможности получения из них изделий традиционными для термопластов методами экструзии, литья под давлением и термоформования.

Все большее распространение получает метод прессования, по которому стадии совмещения компонентов, пластикации композиции и формообразования изделий выполняются на одной установке (пласт-формование). При прессовании изделий из термопластичных композиций отмечается предел текучести, наблюдается скольжение на формообразующих поверхностях. Закономерности этих явлений изучены недостаточно и не известны соотношения, позволяющие определить режимы прессования композиций различного состава с учетом скольжения на поверхности и температуры, влияние состава композиции на смещение поверхностных слоев и вязкое течение в процессе прессования изделий. Особенности вязкого течения с учетом скольжения высоконаполненных пластифицированных композиций по формообразующей поверхности при прессовании, закономерности изменения показателей вязкопластических и фрикционных свойств в зависимости от состава композиций, температуры, давления, скорости скольжения и других факторов, необходимые для назначения экономически обоснованных параметров процесса прессования, нуждаются в более детальном изучении.

Решение указанных научных задач позволит расширить возможности и повысить эффективность переработки в изделия конструкционного назначения высоконаполненных композиций на основе вторичных полимерных материалов за счет снижения усилия формования и энергозатрат, и кроме того, расширить номенклатуру материалов, подвергаемых вторичной переработке.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами и темами. Исследования относятся к приоритетному направлению научно-технической деятельности в Республике Беларусь на 2006–2010 годы «Ресурсосберегающие и энергоэффективные технологии производства конкурентоспособной продукции» (технологии утилизации промышленных отходов; обеспечение высокого экологиче-



ского уровня готовой продукции; технологии и оборудование, обеспечивающие утилизацию отходов; разработка технологий глубокой переработки отходов (пластмасс), утвержденному Указом Президента Республики Беларусь от 6 июля 2005 г. № 315, и к приоритетному направлению прикладных научных исследований на 2006–2010 годы «Новые ресурсосберегающие и биосферносовместимые технологии и материалы» согласно Перечню, утвержденному Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 17 мая 2005 г. № 512.

Исследования выполнены в соответствии с заданием 2.15 ГНТП «Ресурсосбережение» (тема № ГР 1996787, НИЦ проблем ресурсосбережения НАН Беларуси, 1995–1997 гг.); по теме ГБ20-17 (№ ГР 2000930, 2000–2001 гг.), финансируемой Министерством образования Республики Беларусь; согласно заданию 4.13 ГПОФИ «Материал» (№ ГР 2004822, 2004–2005 гг.) и заданию 1.29 ГПСИ «Полимерные материалы и технологии» «Разработка технологических основ структуро- и формообразования изделий из смешанных вторичных термопластов и композиций на их основе» (№ ГР 20062706, 2006–2007 гг.).

Цель и задачи исследования.

Цель исследования – расширение возможностей и повышение эффективности переработки в изделия конструкционного назначения высоконаполненных композиций на основе полимеров, в том числе вторичных, за счет снижения энергозатрат и себестоимости.

Для достижения этой цели поставлены следующие основные задачи:

1. Разработать методы исследования вязкого течения высоконаполненных термопластичных композиций, учитывающие изменение температуры и скольжение на формообразующей поверхности при прессовании.

2. Установить основные закономерности влияния реологических свойств матричного полимера, степени наполнения и температуры на характеристики вязкого течения композиций и на другие технологические свойства, от которых зависят режимы прессования изделий.

3. Установить влияние степени наполнения и температуры на удельные силы и коэффициенты трения и на скольжение относительно формообразующей поверхности и влияние этих факторов на вязкое течение композиций при прессовании плоских изделий.

4. Разработать технологические рекомендации по прессованию плоских изделий из высоконаполненных термопластичных композиций и режимы, обеспечивающие снижение усилия и энергоемкости прессования и материальных затрат.

Объект исследования – технологический процесс прессования плоских изделий из высоконаполненных термопластичных композиций и явления, протекающие при формообразовании. **Предмет исследования** – параметры процесса и характеристики материала на стадии формования и в изделиях.

Выбор объекта исследования обусловлен возможностью достижения экономического эффекта за счет высокой степени наполнения термопластичных полимеров относительно дешевыми и экологически чистыми компонентами, в частности, растительного происхождения, а также расширения объемов эффективного использования вторичных полимеров и композиций, отличающихся низкой текучестью и потому не пригодных для переработки другими методами.

Положения, выносимые на защиту.

1. Разработанные методы исследования технологических свойств высоконаполненных композиций путем сжатия диска между плоскопараллельными плитами позволяют определить параметры степенного закона течения, предел текучести и коэффициенты трения на границе «диск-плита» с учетом скольжения при деформировании.

2. К основным закономерностям влияния степени наполнения и температуры на показатели вязкопластических, фрикционных и физико-механических свойств композиций на основе высоковязких термопластичных полимеров, в том числе вторичных и наполненных древесными частицами, льнокострой и полимерными отходами, относятся аномальное увеличение коэффициента консистенции и предела текучести композиций по мере возрастания степени наполнения, уменьшение показателя степени в законе течения и коэффициента трения на границе деформируемого слоя, а также снижение энергии активации вязкопластического течения и трения, обусловленные увеличением числа контактов между частицами наполнителя и хаотичности расположения частиц.

3. Модель вязкопластического течения высоконаполненных композиций при неизотермическом режиме с трением на формообразующей поверхности дает оценку усилия, кинетики изменения толщины и относительного смещения поверхностных слоев с учетом взаимного влияния вязкого течения и охлаждения поверхностных слоев на конечную толщину изделия, пригодную для оптимизации режимов прессования плоских изделий, а ее параметры адекватно оцениваются по результатам сжатия дисков между плоскопараллельными плитами.

4. Увеличение степени наполнения композиций оказывает конкурирующее влияние на физико-механические свойства, вязкое течение и скольжение при формообразовании, поэтому основные параметры процесса прессования плоских изделий заданной толщины подлежат оптимизации по технико-экономическим критериям. Оптимальная по критерию наименьшей технологической себестоимости степень наполнения композиций «полипропилен-древесные опилки» в плоских изделиях, получаемых пласт-формованием, находится в области 40–60 мас. %, но зависит от параметров изделия и процесса его формообразования.

5. Температура формообразующих поверхностей, от которой зависят эффективные значения показателей вязкопластических свойств и коэффициента

трения высоконаполненных термопластичных композиций, существенно влияет на усилие прессования, энергоемкость процесса формирования и качество поверхности плоских изделий. Оптимальное по критерию энергоемкости процесса значение температуры (~80 °С при прессовании плоских изделий из древесно-наполненных композиций) соответствует балансу тепла, отдаваемого формуемой заготовкой и рассеиваемого пресс-формой.

6. Разработанные рекомендации по технологическим процессам прессования изделий из высоконаполненных композиций в форме проектов технических условий на изделия и технологической инструкции, а также конструкции специальных средств технологического оснащения обеспечивают экономически обоснованное производство изделий из ранее не утилизовавшихся полимерных отходов.

Личный вклад соискателя. Соискатель принимал участие в постановке задач исследования, разработке теоретических основ исследуемых явлений, выполнил расчеты и эксперименты, обработал и проанализировал их результаты, подготовил публикации по теме исследований, выступил с докладами на научных конференциях. С участием автора разработаны проекты технологической инструкции и технических условий на изделия из высоконаполненных композиций, опытно-промышленная установка для пласт-формования, изготовлены опытные партии изделий.

Апробация результатов диссертации. Результаты исследований докладывались на ежегодных научно-технических конференциях БГУ в 1996–2007 гг.; на международной научно-технической конференции «Полимерные композиты – 2000» (Гомель, ИММС НАНБ, 2000); на IV международной научно-технической конференции «Ресурсосберегающие экотехнологии: возобновление и экономия энергии, сырья и материалов» (Гродно, 2001); «Symposium mechaniki zniszczenia materialów i konstrukcji» (Augustow, 2001); на международной научно-технической конференции «Современные технологии, материалы, машины и оборудование» (Могилев, 2002); на международной научно-технической конференции «Энерго- и материалосберегающие экологически чистые технологии» (Гродно, 2002); на международной научно-технической конференции «Полимерные композиты – 2003» (Гомель, ИММС НАНБ, 2003); на V международной научно-технической конференции «Современные проблемы машиноведения» (Гомель, 2004); на международной научно-технической конференции «Поликомтриб – 2005» (Гомель, 2005);

Опубликованность результатов. Результаты исследований изложены в 25 работах: из них 9 статей, опубликованных в научных и научно-технических журналах, 8 материалов конференций, и 6 тезисов докладов на научно-технических конференциях, получены два патента на полезные модели. Общий объем публикаций по теме диссертации составляет 110 страниц.

Структура и объем диссертации. Диссертация включает введение, общую характеристику работы, пять глав основной части, заключение, библиографический список и приложения. Общий объем диссертации 156 с., в т.ч. 55 иллюстраций и 18 таблиц на 31 с., приложения на 16 с. и список литературы из 190 источников на 16 с.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В главе 1 на основе анализа литературных источников отмечается, что композиционные материалы с термопластичной матрицей удовлетворяют возрастающим технико-экономическим и экологическим требованиям, поэтому находят все более широкое применение в различных отраслях техники, в т. ч. приоритетных в Республике Беларусь. При использовании относительно дешевых наполнителей минерального или растительного происхождения, а также отходов производства стремятся к высоким степеням наполнения композиций, однако при этом затруднено формование изделий традиционными методами (А.И. Свириденко, В.Г. Барсуков, Б.И. Купчинов, В.М. Шаповалов).

Известно, что выбор подходящего метода формообразования изделий из композиционных материалов может быть обоснован оценкой технологической себестоимости изделий (М. Akerho, В.Т. Astrom, M.G. Bader). Применение этого подхода для оптимизации состава высоконаполненных термопластичных композиций и параметров процесса прессования изделий из них не известно.

Метод прессования изделий из термопластичных композиций неоднозначно оценивается в отечественной литературе, в то же время его все шире используют в технологически развитых странах для изготовления плоских изделий массового производства. К наиболее перспективным относится вариант метода, при котором изделия получают прессованием предварительно пластифицированных заготовок (сокращенно «пласт-формование»). Однако нуждаются в разработке и обосновании как методы определения показателей технологических свойств высоконаполненных композиций, так и модели их вязкопластического течения, пригодные для оптимизации состава композиций и режимов прессования изделий по экономическим критериям.

Наиболее близкая модель течения высоконаполненной полимерной композиции при прессовании плоских изделий – сжатие между плоскопараллельными плитами диска или полосы (В.Г. Дедюхин, В.П. Ставров, В.Г. Барсуков, A.G. Gibson, G. Kotsicos, M. Michaeli, A. Oelgarth). Известные из литературы сведения о закономерностях скольжения по поверхности плит, о влиянии состава композиций, температуры, давления, скорости скольжения и других факторов на вязкое течение и трение, необходимые для обоснования модели деформирования заготовки при прессовании и расчета экономически обоснованных режимов, недос-

таточны и противоречивы, а потому требуют более тщательного изучения. На основании анализа литературы сформулированы основные задачи исследования.

Во второй главе дано теоретическое обоснование применяемых моделей вязкопластического течения и трения высоконаполненных композиций, в том числе с учетом теплопередачи на границе и изменения толщины деформируемого слоя. Предложен алгоритм решения связанной задачи вязкого течения и теплопроводности при сжатии диска между плоскопараллельными плитами, позволяющий учесть взаимное влияние на конечную толщину диска вязкого течения и охлаждения поверхностных слоев [4, 9, 18].

Влияние структуры композиций и свойств компонентов на сопротивление смещению относительно формообразующих поверхностей анализировали на основе модели «насыщенного» контакта. Среднее касательное напряжение на поверхности τ_s (сопротивление сдвигу или удельную силу трения) выражали через касательные напряжения τ_n и τ_p на границах участков, занятых наполнителем и матричным полимером соответственно, и их объемные доли P_n, P_p , пропорциональные длинам l_n и l_p участков наполнителя и матричного полимера в направлении скорости смещения, согласно формуле :

$$\tau_s = \tau_n P_n + \tau_p P_p. \quad (1)$$

Для наполнителя, находящегося в твердом состоянии, принят закон трения Кулона $\tau_n = f_n p$, где f_n – коэффициент трения наполнителя; p – давление; для вязкопластичных композиций – закон Зибеля, связывающий касательные напряжения на поверхности с пределом текучести τ_0 соотношением $\tau_s = f_s \tau_0$, где f_s – коэффициент трения по Зибелю.

Ввиду технических трудностей прямого измерения касательных напряжений на поверхности при прессовании изделий из высоконаполненных термопластичных композиций обоснованы методы косвенной оценки скольжения на формообразующей поверхности, его влияния на усилие сжатия и толщину сжимаемого диска по смещению точек поверхностного слоя и кинетике изменения толщины, а также по конечной толщине диска как функции усилия.

В результате интегрирования уравнения неразрывности найдено расстояние r от точки до оси диска как функция текущей толщины h :

$$r = r_0 \sqrt{h_0/h} + \frac{2}{3} C (h - h_0 \sqrt{h_0/h}), \quad (2)$$

где r_0 – начальная координата точки; h_0 – начальная толщина диска; C – постоянная, зависящая от закона течения и коэффициента композиции.

Усилие сжатия диска объемом V из пластичной композиции с пределом текучести по Треска τ_0 и с трением на поверхности (F_1) и из нелинейно-вязкой композиции со степенным законом течения с трением (F_2) задано формулами:

$$F_1 = 2\tau_0 \frac{V}{h} \left[1 + f_s \sqrt{\frac{V}{9\pi \cdot h^3}} \right] \text{ и } F_2 = \sqrt{3^{1+n}} \mu \cdot V \cdot t^{-n} I^n, \quad (3)$$

где $I = \int_h^{h_0} \left(1 + \frac{2f_s x^{-1,5}}{\sqrt{27(1-f_s^2)^n}} \right) x^{-1-s} dx$; μ – коэффициент консистенции; n – пока-

затель степени в законе течения; t – время от начала деформирования.

Исследовали композиции на основе термопластов, используемых и производимых предприятиями Республики Беларусь, в том числе на основе полипропилена (ПП), ПЭВД и ПЭНД, преимущественно вторичных, содержащих от 30 до 60 мас. % древесных опилок (ДО), классифицированных по размерам: менее 2 мм; 2–5 мм и более 5 мм; и наполненных льнокострой (ЛК) до 60 мас. %, а также ранее не утилизировавшиеся отходы АБС-ПВХ пленки, в т.ч. с включениями пенополиуретана (до 15 мас. %, размер частиц от 0,1 до 3 мм) [3, 5, 8, 11, 12].

Образцы и изделия получали на экспериментальной установке, содержащей пластикатор (червячный экструдер ЧП32×25), накопители и средства перемещения заготовки, пресс-формы и гидравлический пресс с номинальным усилием 500 кН, и на опытно-промышленной установке на базе одночервячного экструдера ЧП45×25 и пресса ДА2238А с номинальным усилием 6300 кН.

Вязкопластические, прочностные и теплофизические свойства компонентов и композиций различного состава определяли с помощью технических средств, в т.ч. оригинальных [24], оснащенных преобразователями усилия, перемещения и температуры, подключенными к ПЭВМ через АЦП типа ADAM, и программных средств обработки результатов, обеспечивающих регистрацию измеряемых величин и оценку погрешностей измерения.

Для анализа скольжения композиций по формообразующей поверхности использовали оригинальную методику, включающую измерение смещений точек поверхности. Сжимали между плитами образцы в виде прямоугольного параллелепипеда с размерами 80×20×11 мм (в режиме двумерного течения) и диски диаметром 50 мм и толщиной 10–12 мм (в режиме трехмерного течения).

Коэффициент трения по Кулону определяли, измеряя сопротивление сдвигу сжатых заданным усилием цилиндрических образцов диаметром 30 мм и высотой 5 мм с помощью тензорезисторного силоизмерителя, подключенного к ПЭВМ через АЦП типа ADAM. Эффективные коэффициенты трения рассчитывали по кривым течения дисков, сжимаемых между плоскопараллельными плитами, на основе формул, вытекающих из соотношений (3).

В третьей главе изложены результаты исследования структуры и свойств высоконаполненных термопластов различного состава.

Распределение древесных частиц в композициях ПП-ДО по ориентациям в плоскости плит, отпрессованных из предварительно пластицированной композиции, практически равномерное. С уменьшением исходной длины частиц возрастает дисперсия углов, задающих отклонение частиц от плоскости. По мере увеличения доли наполнителя C_n возрастают коэффициент консистенции и предел текучести композиций, но уменьшаются показатель степени в законе течения (рисунок 1) и температурная зависимость показателей вязкопластических свойств композиций. Энергия активации композиций ПП-ДО, рассчитанная по коэффициенту консистенции и пределу текучести, при 60 мас. % ПП более чем в 4 раза выше, чем у матричного полимера.

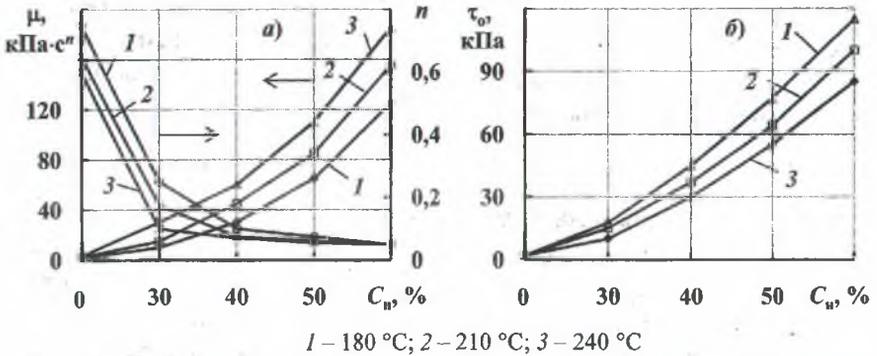


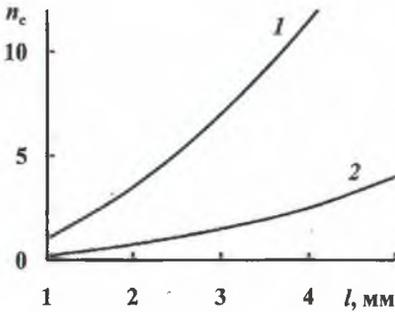
Рисунок 1 – Зависимость параметров степенного закона течения (а) и предела текучести (б) композиций ПП-ДО (2–5 мм) от степени наполнения и температуры

Установлено, что причиной аномального увеличения вязкости и предела текучести с ростом степени наполнения являются увеличение числа контактов между частицами наполнителя (рисунок 2) и хаотичности в их расположении (отклонений от плоскости сдвига). Это подтверждается также наличием тесной корреляции показателей вязкопластических свойств с другими показателями, зависящими от структуры.

С увеличением степени наполнения композиций «полиолефины-льнокостра» до предельной (40–45 об. % при относительной длине частиц 4–5) и с возрастанием вязкости матричных полимеров коэффициент консистенции и предел текучести композиций возрастают на 2–3 порядка, а модули упругости и прочность снижаются, причем в большей мере при растяжении, чем при изгибе.

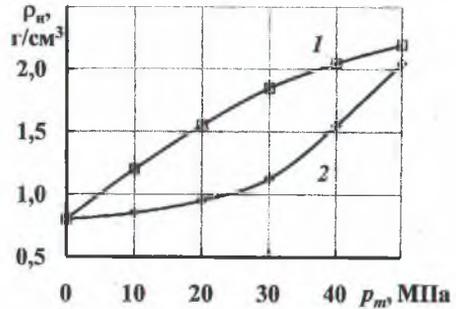
На механические свойства композиций с ЛК существенное влияние оказывают также почти трехкратное уплотнение (рисунок 3) и разрушение частиц наполнителя при пластикации в червячном экструдере, затекание расплава матричного полимера в межфибрилярное пространство частиц. Давление, при котором достигается плотность композиции, близкая к предельной, превышает

50 МПа, и его зависимость от вязкости матричного полимера возрастает по мере увеличения степени наполнения.



1 – 60 мас. %; 2 – 30 мас. %

Рисунок 2 – Зависимость среднего числа контактов от длины частиц



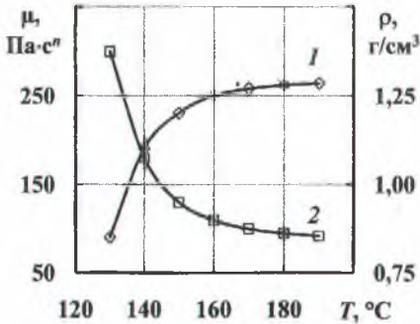
матрица: 1 – ПЭИ; 2 – ПП

Рисунок 3 – Зависимость плотности композиций с ЖК от давления

Между коэффициентом температуропроводности и плотностью композиций различного состава, а также между плотностью и коэффициентами консистенции

при различных температурах имеется тесная корреляция (рисунок 4).

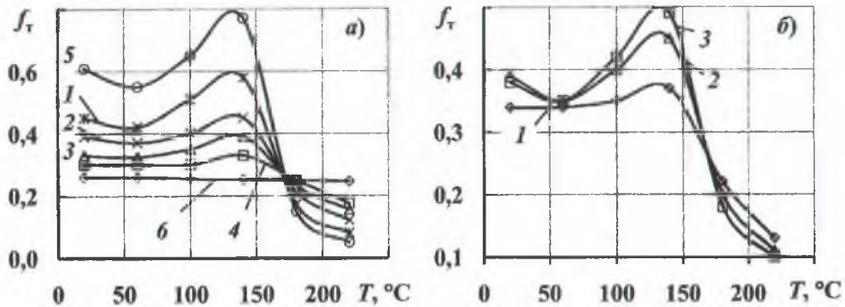
Твердые (древесные опилки) и пористые (частицы пенополиуретана) наполнители композиции АБС-ПВХ неоднозначно влияют на показатели текучести композиций ввиду скольжения на границе. Они увеличивают жесткость материала, но снижают показатели прочности. Добавки термопластичных полимеров ПВХ и ПЭНД снижают коэффициент консистенции, предел текучести расплавов и модули упругости материала.



1 – плотность; 2 – коэффициент консистенции

Рисунок 4 – Зависимость свойств композиции АБС-ПВХ от температуры

Четвертая глава посвящена изучению закономерностей скольжения и трения на формообразующей поверхности. Показано, что зависимость удельных силы и коэффициентов трения от состава композиций и температуры удовлетворительно характеризует формула (1). С увеличением степени наполнения возрастает вклад наполнителя, причем в большей мере – мелкодисперсного, при этом уменьшается зависимость удельных сил трения и коэффициентов трения от температуры (рисунок 5). Энергия активации процесса трения композиций ПП+ДО (50 мас. %) в 3–4 раза меньше энергии активации для матричного полимера.

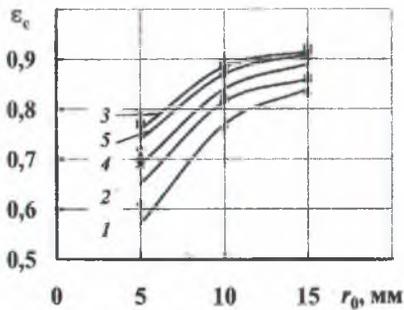


a – степень наполнения (частицы 2–5 мм): 1 – 30 мас. %; 2 – 40; 3 – 50;

4 – 60 мас. %; 5 – ПП без наполнителя; 6 – уплотненные ДО;

б – длина частиц (40 мас. %): 1 – менее 2 мм; 2 – 2–5 мм; 3 – более 5 мм.

Рисунок 5 – Зависимость коэффициента трения композиций ПП-ДО от температуры при давлении 1,85 МПа и скорости скольжения 30 мм/с



Температура плит:

1 – 20 °С; 2 – 80 °С; 3 – 140 °С;

4 – 80 °С и ПП-пленка; 5 – 80 °С и смазка.

Точки – результаты эксперимента;
линии – расчет по формуле (2)

Рисунок 6 – Фактор скольжения как функция расстояния точек поверхности до центра диска из композиции ПП-ДО

На течение между плитами, температура которых ниже температуры композиции, и на конечную толщину диска при заданном усилии сжатия влияют условия теплопередачи на границе и коэффициенты трения. Коэффициент теплопередачи при толщине 5–8 мм дисков из композиций ПП-ДО (30–60 мас. %) равен 50–60 Вт/(м²·К), критерий Био $Bi = 2$ –4.

Сжатие высоконаполненных композиций между плитами сопровождается скольжением поверхностных слоев, при этом неоднородность смещения по координатам в большей мере проявляется при трехмерном деформировании и возрастает с увеличением коэффициента трения (рисунок 6).

Процесс деформирования и относительное смещение поверхностных слоев при сжатии заготовки между плитами и коэффициенты трения адекватно оцениваются на основе модели трехмерного течения нелинейновязкого диска с трением на поверхности (см. формулы (2) и (3)).

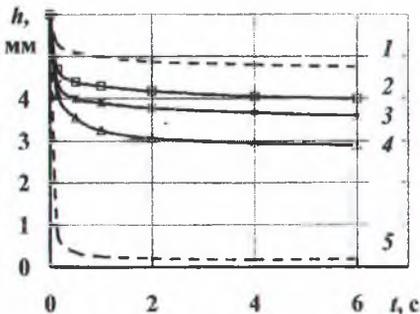
Модель трехмерного течения дает значения эффективных коэффициентов трения и их зависимости от условий скольжения на границе (таблица 1).

Таблица 1 – Эффективные коэффициенты трения композиций

Композиция	Условия на границе и температура поверхности				
	полированная и хромированная поверхность			ПП-пленка	графитовая смазка
	20 °С	80 °С	140 °С	80 °С	80 °С
ПП+ДО (30 мас. %)	0,60	0,35	0,12	0,26	0,17
ПП+ДО (40 мас. %)	0,31	0,19	0,05	0,14	0,09
ПП+ДО (50 мас. %)	0,17	0,10	0,03	0,07	0,05
АВС-ПВХ	0,30	0,18	0,06	0,24	0,08

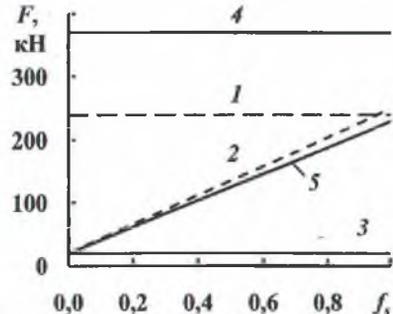
Охлаждение поверхностного слоя ниже температуры плавления ограничивает скольжение точек поверхностного слоя диска. Влияние охлаждения пренебрежимо мало, если течение завершается через 3–5 с после приложения усилия, что соответствует охлаждению поверхностного слоя на глубину 0,05 от конечной толщины изделия до температуры плавления матричного полимера. При этом толщина дисков, формируемых из композиций с различной степенью наполнения и в широком диапазоне коэффициентов трения, достаточно точно рассчитывается на основе моделей пластичного тела с пределом текучести по Треска и нелинейно-вязкопластичного тела с трением на границе (рисунок 7).

Усилия прессования дисков объемом 1 дм³ и толщиной 5 мм из композиции ПП+ДО (40 мас. %, 2–5 мм) при температуре 210 °С, рассчитанные с учетом скольжения и трения, в области типичных значений эффективных коэффициентов трения в 2,5–4 раза меньше, чем при условии прилипания, но в 3–5 раз выше, чем в предположении об идеальном скольжении на границе (рисунок 8).



1 – прилипание; 2 – полированная поверхность; 3 – ПП-пленка; 4 – графитовая смазка; 5 – «идеальное» скольжение

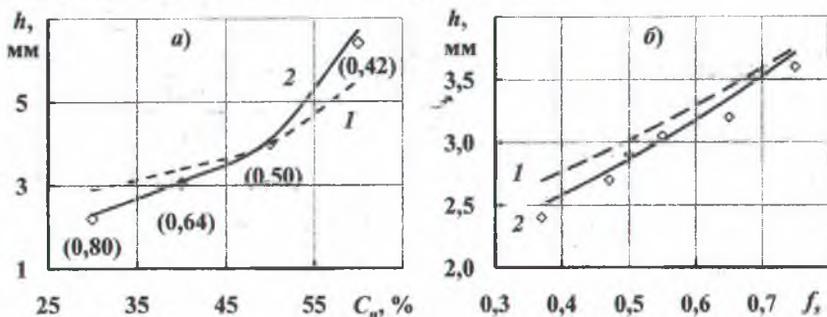
Рисунок 7 – Изменение толщины диска, сжимаемого между плитами с различными условиями на границе



1 – пластичное тело; 2 – нелинейно-вязкопластичное тело с трением; 3 – с идеальным скольжением; 4 – с прилипанием; 5 – пластичное тело с пределом текучести по Треска с трением

Рисунок 8 – Зависимость усилия прессования от коэффициента трения

Результаты эксперимента и расчетов (см. рисунки 7–9) свидетельствуют о необходимости учета скольжения на границе «заготовка-формообразующие поверхности» при назначении усилия прессования высоконаполненных термопластичных композиций и адекватности предложенных моделей.



1 – пластичное тело (по Треска); 2 – нелинейно-вязкое тело;

точки – экспериментальные данные, в скобках указаны коэффициенты трения

Рисунок 9 – Зависимость толщины диска от степени наполнения (а) и от коэффициентов трения (б) композиции ПП+ДО (40 мас. %, 2–5 мм)

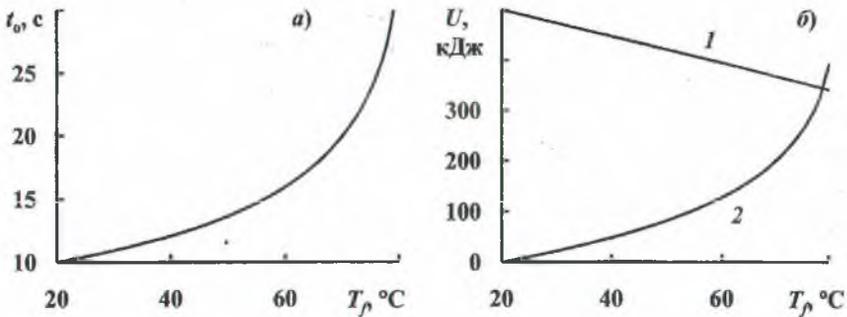
Параметры пластичного тела с пределом текучести по Треска и с трением на границе проще определить из эксперимента, чем параметры нелинейно-вязкопластичного тела, в то же время модель довольно точно учитывает особенности деформирования высоконаполненных композиций при прессовании.

В пятой главе приведены примеры применения результатов исследования для назначения параметров процесса прессования плоских изделий из высоконаполненных термопластичных композиций. Показано, что зависимость показателей качества и технологичности изделий от основных параметров процесса прессования не однозначна (таблица 2) ввиду конкурирующего характера влияния степени наполнения на физико-механические и технологические свойства, в т.ч. на вязкое течение и скольжение при формообразовании.

Таблица 2 – Влияние параметров процесса прессования на технико-экономические показатели изделий

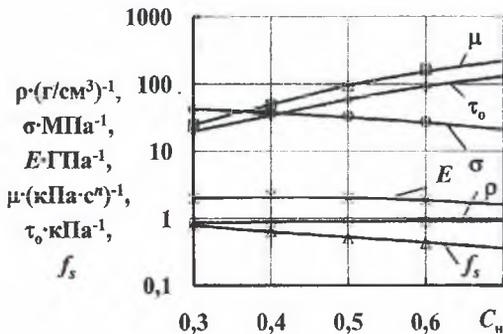
Показатели		Температура		Уси- лие	Время цикла
		заго- товки	формы		
Технические (качество)	плотность	↑	↑	↑	↑
	точность	↓	↓	↑	↑
Экономические (технологичность)	материалоемкость	↑	↓	↑	↑
	энергоёмкость	↑	↑	↑	↑
	производительность	↓	↓	↑	↓

Возможности оптимизации параметров по технико-экономическим критериям показаны на примере прессования из композиции ПШ+ДО (50 мас. %, 2–5 мм) плоских изделий толщиной 4 мм, диаметром 720 мм и массой 1,5 кг. Характеристики технологических свойств приняты по экспериментальным данным, приведенным в главе 3, а параметры процесса рассчитаны на основе соотношений, указанных в главе 4. По мере увеличения температуры формообразующей поверхности, от которой зависят эффективная вязкость, предел текучести и коэффициент трения композиции, почти линейно снижается усилие прессования, но быстро возрастает продолжительность охлаждения (рисунок 10, а) и, соответственно, производительность процесса, однако возрастает его энергоемкость. Оптимальная по критерию минимума энергоемкости процесса температура формообразующих поверхностей (около 80 °С) соответствует балансу тепла, отдаваемого заготовкой и рассеиваемого пресс-формой (см. рисунок 10, б).



1 – тепло, поступающее с заготовкой; 2 – отдаваемое пресс-формой

Рисунок 10 – Зависимость продолжительности охлаждения (а) и количества тепла (б) от температуры формообразующей поверхности



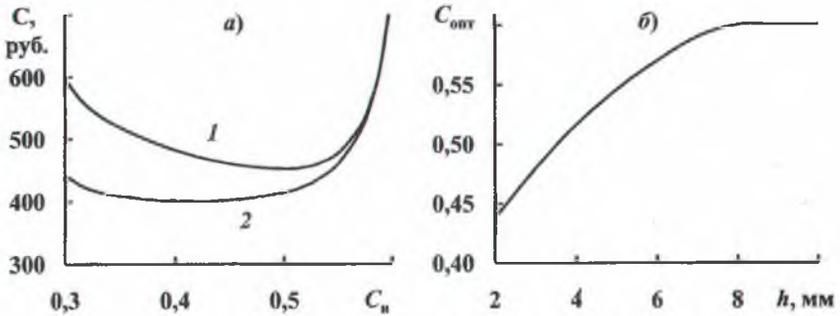
линии – по уравнению регрессии,
точки – эксперимент

Рисунок 11 – Зависимость свойств композиций ПШ-ДО от степени наполнения

При оптимизации состава композиций, используемых для изготовления изделий конструкционного назначения, следует учитывать зависимость от степени наполнения как технологических свойств, так и прочности (рисунок 11).

Установлено, что степень наполнения, оптимальная по критерию наименьшей технологической себестоимости, находится в области

40–60 мас. % (рисунок 12, а), и зависит от параметров изделия, процесса его формообразования и надежности в условиях эксплуатации. С увеличением толщины изделия она возрастает до предельного значения ~60 мас. % (рисунок 12, б).



по критериям: 1 – жесткости; 2 – прочности

Рисунок 12 – Зависимость технологической себестоимости от степени наполнения (а) и оптимальной степени наполнения от толщины изделия (б)

В результате применения разработанных методов оптимизации режимов пласт-формования из высоконаполненных композиций на основе различных термопластичных полимеров, в т.ч. вторичных, получены не только плоские изделия, но и изделия относительно сложной конфигурации, имеющие утолщения, ребра, бобышки, углубления, закладные детали и т.п., а также декоративные покрытия – шпон, ткань, полимерные пленки – и слой пенопласта.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1 Основные научные результаты диссертации

Разработаны методы исследования высоконаполненных композиций путем сжатия диска между плоскопараллельными плитами, позволяющие определить параметры степенного закона течения, предел текучести и коэффициенты трения на границе «диск-плита» с учетом скольжения при деформировании, включая оригинальные методы оценки скольжения на формообразующей поверхности по смещению точек поверхностного слоя и взаимного влияния вязкого течения и охлаждения поверхностных слоев на конечную толщину изделия [1, 2, 4, 9, 23, 24].

Установлены закономерности влияния степени наполнения и температуры на показатели вязкопластических, фрикционных и физико-механических свойств композиций на основе высоковязких термопластичных полимеров, в том числе вторичных, наполненных древесными частицами, льнокострой и полимерными отходами. Энергия активации вязкопластического течения полипропилена при наполнении древесными частицами до 60 мас. % уменьшается

более чем в 4 раза. Дано объяснение аномального увеличения коэффициента консистенции и предела текучести композиций и уменьшения при этом показателя степени в законе течения по мере возрастания степени наполнения увеличением числа контактов между частицами наполнителя и хаотичности расположения частиц [5, 6, 7, 8, 12, 19, 23].

С увеличением степени наполнения композиций «полиолефины-льнокостра» до предельной (40–45 об. % при относительной длине частиц 4–5) и с возрастанием вязкости матричного полимера коэффициент консистенции и предел текучести композиций возрастают на 2–3 порядка, а модуль упругости и прочность снижаются. Показано, что при пластикации в червячном экструдере плотность частиц наполнителя увеличивается почти в три раза, а расплав матричного полимера затекает в межфибрилярное пространство частиц [11, 12, 13, 14, 20].

Твердые (древесные опилки) и пористые (частицы пенополиуретана) наполнители композиций на основе АБС-ПВХ снижают эффективную вязкость и предел текучести композиций, увеличивают жесткость материала, но снижают показатели прочности [11, 16, 18].

Установлено, что с увеличением степени наполнения уменьшается зависимость удельных сил трения и коэффициентов трения от температуры, причем в большей мере в случае мелкодисперсного наполнителя. Энергия активации процесса трения композиций полипропилена и древесных частиц (50 мас. %) с размерами 2–5 мм по поверхности стальной плиты в 3–4 раза меньше энергии активации этого процесса для матричного полимера [1, 3, 4, 7, 9, 10, 21].

При сжатии высоконаполненных композиций между плитами неоднородность скольжения поверхностных слоев в большей мере проявляется при трехмерном деформировании и возрастает с увеличением коэффициента трения. Модель сжатия между плоскопараллельными плитами нелинейно-вязкопластичного диска с трением на поверхности дает адекватную оценку усилия, кинетики изменения толщины, относительного смещения поверхностных слоев, предела текучести и эффективных коэффициентов трения [2, 4, 5, 9, 15].

Найдены зависимости основных параметров процесса прессования плоских изделий заданной толщины от фактора скольжения и коэффициента трения по формообразующей поверхности, позволяющие оптимизировать режимы прессования по технико-экономическим критериям, с учетом конкурирующего влияния степени наполнения на физико-механические свойства, вязкопластическое течение и скольжение при формообразовании [2, 4, 5, 15, 16, 17].

Установлено, что на усилие прессования, энергоемкость процесса формования и качество поверхности плоских изделий существенно влияет температура формообразующих поверхностей, от которой зависят эффективные значения параметров закона вязкого течения, предела текучести и коэффициента трения высоконаполненной композиции. Оптимальное по критерию энергоемкости

процесса значение температуры (~80 °С при прессовании плоских изделий из древесно-наполненных композиций) соответствует балансу тепла, отдаваемого формуемой заготовкой и рассеиваемого пресс-формой.

Оптимальная по критерию наименьшей технологической себестоимости степень наполнения композиций ПП-ДО в плоских изделиях, получаемых пласт-формованием, находится в области 40–60 мас. %, но индивидуальна в зависимости от параметров изделия, процесса его формообразования и надежности в условиях эксплуатации. С увеличением толщины изделия она возрастает до предельного значения ~60 мас. % [6, 7].

2 Рекомендации по практическому использованию результатов

На основании проведенных исследований разработана установка с накопителем оригинальной конструкции [25]. Опытно-промышленная установка для пласт-формования, смонтированная на Осиповичском заводе автомобильных агрегатов, предназначена для выпуска на этом предприятии изделий конструкционного назначения из ранее не утилизировавшихся отходов АБС-ПВХ пластика с включениями пенополиуретана в объеме до 35 т в год с расчетным экономическим эффектом более 212,79 млн. руб. (акт опытно-промышленной проверки от 02.07.2007 г.). Прорабатывается возможность использования результатов исследований для производства плоских формообразующих элементов транспортных средств – грузовых автомобилей и автобусов, тракторов, самоходных сельскохозяйственных и дорожных машин, выпускаемых на Минском автомобильном заводе, на Минском тракторном заводе, на «Гомсельмаше», в ОАО «Амкор», а также при переработке в изделия конструкционного назначения отходов термопластичных полимеров и их смесей на Осиповичском заводе автомобильных агрегатов, СП «Амипак», УП «Белвнешпродукт» и на других предприятиях республики.

Рекомендации относительно осуществления основных стадий процесса изготовления изделий пласт-формованием и оптимальных параметров процесса, основанные на результатах исследования, сформулированы в проектах технических условий и технологической инструкции. Результаты исследования используются также при отработке режимов получения изделий из иных композиций, в частности, содержащих смеси полимеров и стекловолоконистые отходы изделий из стеклопластиков контактного формования, в рамках задания 1.29 ГППИ «Полимерные материалы и технологии».

Методы определения параметров процесса пласт-формования и оптимизации состава высоконаполненных термопластичных композиций, разработанные в ходе выполнения диссертационных исследований, внедрены в учебный процесс по специальности 1.360108 – конструирование и производство изделий из композиционных материалов.

СПИСОК ПУБЛИКАЦЫЙ

Стат'ы

1. Спиглазов, А.В. Закономерности трения композиций «полипропилен-древесные частицы» в состоянии переработки / А.В. Спиглазов, В.П. Ставров // Трение и износ. – 2003. – Т. 24, № 4. – С. 425–428.
2. Stavrov, V.P. Role of friction at compression molding of high-filled thermoplastics / V.P. Stavrov, A.V. Spiglasov // The Annals of University «Dunarea de Jos» of Galati, Tribology. – 2003. – Vol. 1, № 8. – P. 375–379.
3. Спиглазов, А.В. Прессование изделий из термопластичных композиций, наполненных древесными частицами / А.В. Спиглазов, В.П. Ставров // Материалы, технологии, инструменты. – 2004. – Т. 9, № 1. – С. 81–86.
4. Спиглазов, А.В. Влияние трения на вязкое течение высоконаполненных термопластичных композиций, сжимаемых между плоскопараллельными плитами / А.В. Спиглазов, В.П. Ставров, А.И. Свириденко // Доклады НАН Беларуси. – 2004. – Т. 48, № 1. – С. 110–113.
5. Спиглазов, А.В. Структура и механические свойства композиций «полипропилен-древесные частицы» в плоских изделиях, получаемых пласт-формованием / А.В. Спиглазов, В.П. Ставров, А.В. Дорожко, А.Л. Наркевич, Е.В. Хайновская // Материалы, технологии, инструменты. – 2004. – Т. 9, № 2. – С. 39–43.
6. Ставров, В.П. Оптимальное наполнение древесными частицами термопластичных полимеров при формовании плоских изделий / В.П. Ставров, А.В. Спиглазов // Материалы, технологии, инструменты. – 2004. – № 4. – С. 82–86.
7. Спиглазов, А.В. Влияние размеров древесных частиц и степени наполнения на текучесть композиций с термопластичными полимерными матрицами / А.В. Спиглазов, В.П. Ставров // Пластические массы. – 2004. – № 12. – С. 50–52.
8. Спиглазов, А.В. Льюкостра как наполнитель вторичных полиолефинов / А.В. Спиглазов, А.Н. Калинка, В.П. Ставров, А.И. Свириденко // Материалы, технологии, инструменты. – 2005. – Т. 10, № 4. – С. 18–22.
9. Stavrov, V.P. Rheological parameters of molding thermoplastic composites high-filled with wood particles / V.P. Stavrov, A.V. Spiglasov, A.I. Sviridenok // Journal of Applied Mechanics and Engineering. – 2007. – Vol. 12, № 2. – P. 527–536.

Материалы конференций

10. Ставров, В.П. Формуемость термопластичных композиций на основе вторичных растительных ресурсов и термопластичных полимеров / В.П. Ставров, А.В. Марков, А.В. Спиглазов, И.А. Свириденко // Ресурсосберегающие технологии в лесном хозяйстве, лесной и деревообрабатывающей промышленности: материалы междунар. науч.-техн. конф., Минск, 24–25 ноября 1999 г. / Белорус.

гос. технол. ун-т; редкол.: И.М. Жарский [и др.]. – Минск, 1999. – С. 342–345.

11. Ставров, В.П. Пласт-формование изделий из вторичных термопластов и волокнистых отходов льно- и деревопереработки / В.П. Ставров, А.В. Спиглазов, А.И. Свириденко // Ресурсо- и энергосберегающие технологии: материалы междунар. науч.-техн. конф., Минск, 1–10 ноября 2000 г. / Белорус. гос. технол. ун-т; редкол.: И.М. Жарский [и др.]. – Минск, 2000. – С. 102–104.

12. Свириденко, А.И. Особенности структуры, деформационных и прочностных свойств композиций полипропилен-льнокостра / А.И. Свириденко, А.В. Спиглазов, В.П. Ставров // *Symposium mechaniki zniszczenia materialow i konstrukcji: materialy*, Augustow, 23–26 maja 2001 r.; komitet naukowy: Z. Mroz [i dr.]. – Bialystok, 2001. – S. 287–294.

13. Свириденко, А.И. Ресурсосберегающая технология получения материалов на основе термопластичных полимеров и отходов растительного сырья / А.И. Свириденко, В.П. Ставров, А.С. Назаров, А.В. Спиглазов, А.А. Закурин, В.В. Ардукевич // Ресурсосберегающие экотехнологии: возобновление и экономия энергии, сырья и материалов: материалы 4-й междунар. науч.-техн. конф., Гродно, 11–13 октября 2001 г. / НИЦ проблем ресурсосбережения НАН Беларуси; редкол.: А.И. Свириденко [и др.]. – Гродно, 2001. – Ч. 2. – С. 3–11.

14. Ставров, В.П. Особенности переработки в изделия термопластов, наполненных льнокострой / В.П. Ставров, А.В. Спиглазов, А.И. Свириденко // Ресурсосберегающие экотехнологии: возобновление и экономия энергии, сырья и материалов: материалы 4-й междунар. науч.-техн. конф., Гродно, 11–13 октября 2001 г. / НИЦ проблем ресурсосбережения НАН Беларуси; редкол.: А.И. Свириденко [и др.]. – Гродно, 2001. – Ч. 2. – С. 137–146.

15. Спиглазов, А.В. Прессование изделий из высоконаполненных и предварительно пластицированных термопластов / А.В. Спиглазов, В.П. Ставров // Современные технологии, материалы, машины и оборудование: материалы междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 16–17 мая 2002 г. / Могилевский гос. технич. ун-т; редкол.: И.С. Сазонов [и др.]. – Могилев, 2002. – С. 250–251.

16. Спиглазов, А.В. Переработка отходов термопластов и стеклопластиков в изделия методом пласт-формования / А.В. Спиглазов, А.Л. Наркевич // Новые технологии рециклинга отходов производства и потребления: материалы междунар. науч.-техн. конф., Минск, 24–26 ноября 2004 г. / Белорус. гос. технол. ун-т; редкол.: И.М. Жарский [и др.]. – Минск, 2004. – С. 447–450.

17. Спиглазов, А.В. Формообразование изделий из полимерных отходов строительного производства / А.В. Спиглазов, В.П. Ставров, А.А. Пушница // Наука и технология строительных материалов: материалы междунар. науч.-техн. конф. / Белорус. гос. технол. ун-т; редкол.: И.М. Жарский [и др.]. – Минск, 2005. – С. 230–232.

Тезисы докладов

18. Спиглазов, А.В. Механические свойства термопластов, наполненных волокнами растительного происхождения / А.В. Спиглазов, А.И. Свириденко, В.П. Ставров // Полимерные композиты – 2000: тезисы докл. междунар. науч.-техн. конф., Гомель, 12–13 сентября 2000 г. / ИММС НАН Беларуси; редкол.: В.Н. Адери́ха [и др.]. – Гомель, 2000. – С. 25.

19. Калинка, А.Н. Льнокостра как наполнитель вторичных термопластов / А.Н. Калинка, А.В. Спиглазов, В.П. Ставров, А.И. Свириденко // Энерго- и материалосберегающие экологически чистые технологии: тезисы докл. междунар. науч.-техн. конф. / НИЦ проблем ресурсосбережения НАН Беларуси; редкол.: А.И. Свириденко [и др.]. – Гродно, 2002. – С. 54.

20. Спиглазов, А.В. Формование изделий из высоковязких композиций на основе вторичных термопластов / А.В. Спиглазов, В.П. Ставров // Энерго- и материалосберегающие экологически чистые технологии: тезисы докл. междунар. науч.-техн. конф. / НИЦ проблем ресурсосбережения НАН Беларуси; редкол.: А.И. Свириденко [и др.]. – Гродно, 2002. – С. 55–56.

21. Спиглазов, А.В. Прессование изделий из высоконаполненных термопластичных композиций / А.В. Спиглазов, В.П. Ставров // Полимерные композиты–2003: тезисы докл. междунар. науч.-техн. конф. / ИММС НАН Беларуси; редкол.: В.Н. Адери́ха [и др.]. – Гомель, 2003. – С. 191–192.

22. Ставров, В.П. Панели из армированных термопластов, получаемые прессованием пластицированных композиций / В.П. Ставров, А.В. Спиглазов, А.Л. Наркевич, Д.А. Кирсанов, А.А. Пушница // Современные проблемы машиноведения: тезисы докл. междунар. науч.-техн. конф., Гомель, 1–2 июля 2004 г. / Гомельский гос. технич. ун-т; редкол.: В.М. Кенько [и др.]. – Гомель, 2004. – С. 30–31.

23. Спиглазов, А.В. Вязкое течение и трение при прессовании плоских изделий из высоконаполненных термопластичных композиций / А.В. Спиглазов // Полимерные композиты и трибология: тезисы докл. междунар. науч.-техн. конф., Гомель, 18–21 июля 2005 г. / ИММС НАН Беларуси; редкол.: В.Н. Адери́ха [и др.] – Гомель, 2005. – С. 100–101.

Патенты

24. Устройство для определения вязких свойств полимеров, наполненных твердыми частицами: пат. на пол. модель 1257 Респ. Беларусь, МПК7 G01N 11/00 / В.П. Ставров, А.В. Спиглазов. – № и20030230; заявл. 23.05.03; опубл. 30.03.04 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2004. – № 1 (40). – С. 236.

25. Установка для прессования изделий из пластмасс: пат. на пол. модель 1258 Респ. Беларусь, В29С 43/00 / В.П. Ставров, А.В. Спиглазов. – № и20030231; заявл. 23.05.03; опубл. 30.03.04 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2004. – № 1 (40). – С. 268.

РЕЗЮМЕ

Спиглазов Александр Владимирович

Вязкое течение и трение высоконаполненных термопластичных композиций при прессовании плоских изделий

Ключевые слова: термопластичные полимеры, композиции, пластикация, диск, вязкость, предел текучести, скольжение, коэффициент трения, прессование, плоские изделия, усилие, толщина, энергоемкость, себестоимость, оптимизация.

Цель исследования – расширение возможностей и повышение эффективности переработки высоконаполненных композиций на основе полимеров, в том числе вторичных, за счет снижения энергозатрат и себестоимости.

Объект исследования – технологический процесс прессования плоских изделий из высоконаполненных термопластичных композиций и явления, протекающие при формообразовании.

Предмет исследования – параметры процесса и характеристики материала на стадии формования и в изделиях.

Методы исследования. Параметры степенного закона течения композиций, предел текучести, относительное скольжение и коэффициент трения на границе определены по кривым течения диска, сжимаемого заданным усилием между плоскопараллельными плитами.

Результаты и их новизна. Впервые установлены закономерности влияния степени наполнения и температуры формообразующих поверхностей на показатели вязкопластических и фрикционных свойств и скольжение на границе при формовании композиций, наполненных древесными частицами, льнокострой и полимерными отходами, аномальное увеличение коэффициента консистенции и предела текучести, уменьшение коэффициента трения на границе и энергии активации процессов вязкопластического течения и трения.

Показана адекватность моделей вязкопластического течения при неизо-термическом режиме с трением на формообразующей поверхности для оптимизации состава композиций и режимов прессования плоских изделий по критериям энергоемкости процесса и технологической себестоимости изделий.

Степень использования результатов. Изготовлены опытные образцы и партии изделий из композиций различного состава, в том числе из ранее не утилизировавшихся отходов АБС-ПВХ пленки с включениями пенополиуретана. Разработаны проекты технических условий на изделия и технологической инструкции на процесс их изготовления, конструкции специальных средств технологического оснащения, обеспечивающие экономически обоснованное производство изделий.

РЭЗІЮМЭ

Спіглазаў Аляксандр Уладзіміравіч

Вязкае цячэнне і трэнне высоканапоўненых тэрмапластычных кампазіцый пры прасаванні плоскіх вырабаў

Ключавыя словы: тэрмапластычныя палімеры, кампазіцыйны пластыфікацыя, дыск, вязкасць, граніца цякучасці, слізганне, каэфіцыент трэння, прасаванне, плоскія вырабы, намаганне, таўшчыня, энергаёмкасць сабекошт, аптымізацыя.

Мэта даследавання – пашырэнне магчымасцей і павышэнне эфектыўнасці перапрацоўкі высоканапоўненых кампазіцый на аснове палімераў, у тым ліку другасных, за кошт зніжэння энергызатрат і сабекошту.

Аб'ект даследавання – тэхналагічны працэс прасавання плоскіх вырабаў з высоканапоўненых тэрмапластычных кампазіцый і з'явы, характэрныя пры формаўтварэнні.

Прадмет даследавання – параметры працэсу і характарыстыкі матэрыялу на стадыі фармавання і ў вырабах.

Метады даследавання. Параметры ступеннага закону цячэння кампазіцый, граніца цякучасці, адноснае слізганне і каэфіцыент трэння на мяжы вызначаны па крывых цячэння дыска, які сціскаецца зададзеным намаганнем паміж плоскапаралельнымі плітамі.

Вынікі і іх навізна. Упершыню ўстаноўлены заканамернасці ўплыву ступені напуўнення і тэмпературы формаўтваральных паверхняў на паказчыкі вязкапластычных і фрыкцыйных уласцівасцей і слізганне на мяжы пры фармаванні кампазіцый, напуўненых драўнянымі часцінкамі, ільнокастрыцай і палімернымі адходамі, анамальнае павелічэнне каэфіцыента кансістэнцыі і граніцы цякучасці, памяншэнне каэфіцыента трэння на мяжы і энергіі актывацыі працэсаў вязкапластычнага цячэння і трэння.

Паказана адэкватнасць мадэлей вязкапластычнага цячэння пры неізатэрмічным рэжыме з трэннем на формаўтваральнай паверхні для аптымізацыі саставу кампазіцыі і рэжымаў прасавання плоскіх вырабаў па крытэрыях энергаёмкасці працэсу і тэхналагічнага сабекошту вырабаў.

Ступень выкарыстання вынікаў. Распрацаваны доследныя ўзоры і партыі вырабаў з кампазіцый рознага саставу, у тым ліку з раней не утылізаваных адходаў АБС-ПВХ плёнкаў з уключэннямі пенаполіурэтану. Падрыхтаваны праект тэхналагічных умоў на вырабы і праект тэхналагічнай інструкцыі на працэс іх вырабу, канструкцыі спецыяльных сродкаў тэхналагічнага аснашчэння, што забяспечвае эканамічна абгрунтаваную вытворчасць вырабаў.

SUMMARY

Spiglasov Alexander Vladimirovich

Viscous flow and friction of high filled thermoplastic compounds at hot compression molding of flat components

Key words: thermoplastics, high filled compounds, squeeze of disk, viscosity, yield strength, sliding, coefficient of friction, flat components, hot compression molding, thickness, force, power-consumption, cost, optimization.

Aim of research – increase of use and processing efficiency of high filled thermoplastic compounds including secondary ones due to reduction of power-consumption and production costs.

Object of research – hot compression molding of flat articles from high filled thermoplastic compounds and process phenomenon.

Subject of research – process parameters and characteristics of high filled thermoplastic molding compounds and materials in products.

Methods of research. Parameters of power law of flow, yield strength, relative sliding, and coefficient of friction on forming surface are estimated from force-thickness-time dependences by squeeze of discs between plane-parallel plates.

The research results and their novelty. For the first time laws of influence of filler content and forming surface temperature on parameters of viscous flow, yield stress, relative sliding and friction at hot compression molding of thermoplastic compounds high filled with wood sawdust, linen sheave, and polymer wastes are established, as well as abnormal increase of consistency factor and yield strength, decrease of friction coefficient on forming surface and reduction of activation energy of viscous flow and friction.

Adequacy of models of viscous flow, plasticity and sliding on forming surface at non-isothermal hot compression molding of flat articles for optimization of filler content and process parameters by criterions of power consumption and process prime costs are shown.

Use of results. An experimental lots of articles from different compounds including formerly non-utilized ABS-PVC-film with PU-foam wastes on optimal pressing force, temperature and time-parameters in industrial conditions are made. Project of specifications on articles and technological manual on their manufacturing, a construction of special equipment for economically advantageous production are developed.



Спиглазов Александр Владимирович

**ВЯЗКОЕ ТЕЧЕНИЕ И ТРЕНИЕ
ВЫСОКОНАПОЛНЕННЫХ ТЕРМОПЛАСТИЧНЫХ
КОМПОЗИЦИЙ ПРИ ПРЕССОВАНИИ ПЛОСКИХ ИЗДЕЛИЙ**

Подписано в печать 23.10.2007. Формат 60×84 1/16. Бумага офсетная.
Гарнитура Таймс. Печать офсетная. Усл. печ. л. 1,3. Уч.-изд. л. 1,2.
Тираж 90 экз. Заказ *520*.

Учреждение образования
«Белорусский государственный технологический университет».
220006, Минск, Свердлова, 13а.
ЛИ № 02330/0133255 от 30.04.2004.

Отпечатано в лаборатории полиграфии учреждения образования
«Белорусский государственный технологический университет».
220006, Минск, Свердлова, 13.
ЛП № 02330/0056739 от 22.01.2004.