

С.Н. Колдаева, к.т.н., доц.

В.А. Васюта, к.пед.н., доц.

Л.Н. Полищук, к.пед.н., доц.

*Мозырский государственный педагогический университет
имени И.П. Шамякина*

СПОСОБЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРЕССОВАНИЯ ПРИ ФОРМОВАНИИ ИЗДЕЛИЙ МЕТОДОМ ПЛУНЖЕРНОЙ ЭКСТРУЗИИ

Предложена и подтверждена экспериментально функциональная зависимость между усилием прессования, усилием уплотнения и трением о стенки матрицы при прессовании изделий методом плунжерной экструзии. Исследованы способы повышения технологичности пресс-материалов, определены допустимые концентрации антифрикционных модификаторов в составе пресс-композиций. Определены технологические параметры прессования для материалов разных составов.

Ключевые слова: *прессование изделий, плунжерная экструзия.*

Постановка проблемы. В настоящее время достаточно развита и продолжает прогрессировать технология переработки термопластичных полимеров и композитов на их основе в профильные погонажные изделия методом шнековой экструзии. Однако этот метод непригоден для переработки композитов на термореактивной матрице, что существенно ограничивает возможность применения получаемых изделий.

Несмотря на то, что профильные изделия из термопластов (ПП, ПЭ, ПВХ) получили широкое применение в ряде отраслей народного хозяйства, по показателям механической прочности, термостойкости они не могут быть использованы для замены металлов и других конструкционных материалов в системах охлаждения теплосетей, в химической и горнодобывающей промышленности.

Процесс плунжерной экструзии представляет собой новое техническое решение формования погонажных изделий из пресс-композиций на основе термопластичных и термореактивных полимерных связующих с высоким содержанием наполнителя [1–3]. В качестве наполнителя могут быть использованы не только измельченные древесные отходы, но и другие материалы, в том числе отходы различных волокон натурального и искусственного происхождения. Применение различных наполнителей открывает широкие возможности в разработке новых композиционных материалов, способных заменить металл, древесину и другие материалы конструкционного назначения. Предпосылкой к изучению основ предла-

гаемой технологии получения изделий является отсутствие сведений о разработках или применении подобной технологии.

Сущность метода заключается в циклическом продавливании пресс-материала через формующий канал с изменяющейся по длине температурой.

Изложение основного материала. Перед началом прессования канал устройства прогревают в зоне загрузки до температуры 60–70 °С, а по мере перемещения материала по каналу температура последнего повышается до оптимальной, характерной для выбранного материала. При этом должны выполняться следующие условия. В зоне низкой температуры материал уплотняется в холодном состоянии под действием давления, создаваемого пуансоном, и сопротивления перемещению, обусловленного межчастичным трением и трением о стенки канала, обеспечивая при этом образование пробки, которая предотвращает распрессовку уплотненного материала при движении пуансона в обратном направлении. В зоне установившейся температуры материал прогревается, и в случае переработки термопластичных пресс-композиций происходит плавление, а для термореактивных пресс-композиций – плавление и отверждение связующего. В зоне термостабилизации из отверждённого связующего образуется пробка, что предотвращает выброс материала в направлении экструдирования. Температура канала в этой зоне для реактопластов остается неизменной, а для термопластов резко понижается, вызывая охлаждение изделия и обеспечивая его формоустойчивость.

При обратном движении пуансона (холостой ход) в матричный канал поступает очередная порция пресс-материала, которая во время прессования (рабочий ход пуансона) сжимается между торцом пуансона, верхней поверхностью предыдущего слоя изделия и стенками канала устройства.

Важным фактором, влияющим на величину давления прессования при формировании изделий методом плунжерной экструзии, является сопротивление пресс-массы уплотнению, а также трение о стенки формующего канала. Последнее определяется фрикционными характеристиками матричного канала и пресс-массы в уплотненном и отвержденном состоянии, а также возможностью подачи смазки в зону фрикционного контакта. Нами проведены исследования, направленные на определение зависимости усилия уплотнения от высоты порции прессовки, а также на выявление возможностей снижения трения в канале для различных составов пресс-композиций.

В первом приближении считали, что связь между усилием прессования F_1 , сопротивлением пресс-массы прессованию (усилием уплотнения)

F_2 и трением о стенки матрицы $F_{\dot{\sigma}\dot{\sigma}} = \xi f_{\dot{\sigma}\dot{\sigma}} p \times 2\pi r h$, выражается уравнением

$$F_1 = F_2 e^{-2 f_{\dot{\sigma}\dot{\sigma}} h / r},$$

где p – давление прессования; r – радиус поперечного сечения полости матрицы; f_{mp} – коэффициент трения пресс-массы о стенки пресс-формы; ξ – коэффициент бокового распора; h – высота брикета в данный момент.

В случае переработки дисперсных композитов, исходя из энергетического критерия текучести для области высоких давлений экструзионного канала, коэффициент бокового распора можно принять равным [1]:

$$\xi = 1 - \frac{1}{P_z} \sqrt{4\tau_s^2 - 3\tau_0^2},$$

где τ_0 – удельная сила трения; τ_s – касательное напряжение, соответствующее пределу текучести.

Таким образом, коэффициент бокового распора зависит от констант прессуемого материала и возрастает с ростом приложенной нагрузки. Для приближенных расчетов можно считать $\xi = const$ и использовать значения, полученные в механике сыпучих сред. Определение коэффициента f_{mp} вызывает значительные трудности вследствие изменения фазового состава пресс-композиции при продвижении по формирующему каналу.

Усилие прессования определяли по манометрическому давлению P_M . Например, для 160-тонного пресса при давлении в гидросистеме пресса 320 кгс/см²:

$$D = D_f \cdot 160 / 320.$$

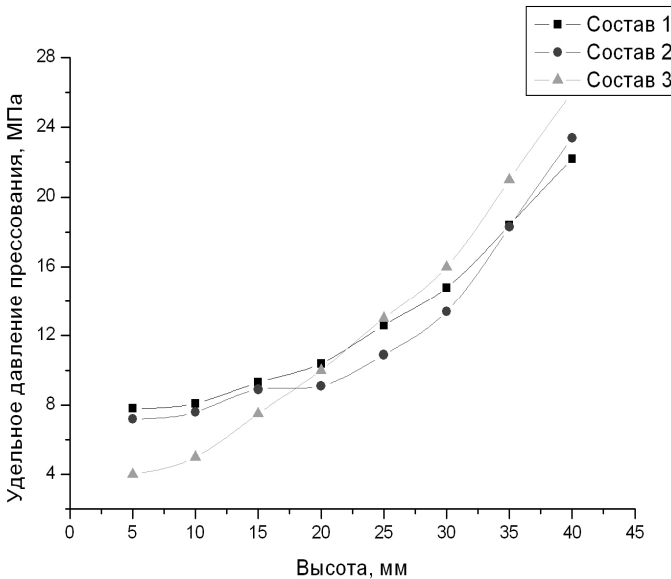


Рис. 1. Зависимость удельного давления прессования от высоты свободнасыпной пресс-массы

Усилие преодоления внутреннего трения и уплотнения частиц наполнителя определяли экспериментально в лабораторных условиях на гидравлическом прессе ПГПР усилием 4 тонны. Для этого на стол гидропресса насыпали небольшое количество пресс-материала и вдавливали в него пуансон. Диаметр пуансона 12,7 мм, т. е. площадь его поперечного сечения составляла $\approx 1 \text{ см}^2$. Предварительно определяли насыпную плотность пресс-материала. Требуемую плотность брикета получали вдавливанием пуансона в небольшое количество пресс-материала высотой H до получения брикета толщиной h . Отношение H/h равно отношению требуемой плотности к плотности свободнасыпного пресс-материала. Усилие уплотнения определяли как произведение площади поршня гидропресса на манометрическое давление (площадь поршня гидропресса ПГПР равна $26,4 \text{ см}^2$).

На рисунке 1 представлены полученные зависимости удельного давления прессования от высоты свободнасыпной пресс-массы для различных древесных пресс-композиций – армированных древопластов по патентам РБ № 10587 С1 2008.04.30, № 15677 С1 2012.04.30, №

12726 C1 2009.12.30 [4–6].

Рецептурные составы композиций представлены в таблице 1. Характер кривых на рисунке 1 позволяет заключить, что с увеличением высоты свободнонасыпного пресс-материала при получении брикета одинаковой плотности удельное давление прессования увеличивается нелинейно – так, что для его определения следует пользоваться тарировочным графиком или таблицей.

Для экспериментального определения силы трения использовали оригинальную методику и оригинальное устройство [7] для измерения силы трения пресс-массы о стенки матричного канала в процессе формования изделия (рис. 2).

Определение силы трения производили следующим образом. В матрицу 1 пресс-формы с нижним пуансоном 2, опирающимся на удаляемую опору 3, загружали порции пресс-материала, и верхним пуансоном 4 создавали давление, обеспечивающее плотность брикета 5, равную $1,4 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$. После формования брикета верхний пуансон поднимали в крайнее верхнее положение, выталкивателем гидропресса приподнимали нижний пуансон. При опускании выталкивателя опору и нижний пуансон удаляли.

Силу трения холодного брикета о стенки пресс-формы определяли по показаниям динамометра ДОСМ-0,5 при продавливании брикета верхним пуансоном. Ввиду различия в показаниях динамометра вначале продавливания брикета и при установившемся движении снимали оба показания.

Скорость продавливания брикета (т. е. скорость движения ползуна пресса вниз) – 2,5 мм/с.

В эксперименте делалось допущение, что коэффициент трения является величиной постоянной, т. е. силу трения пресс-материала в зоне разогрева и отверждения определяли без разграничения агрегатных состояний пресс-материала. Безусловно, такой интегрированный подход недостаточно точен. Тем не менее, он вполне пригоден для определения оптимальных технологических параметров процесса плунжерной экструзии.

Таблица 1

Рецептурные составы конструкционных армированных древопластов

Наименование ингредиента	Состав 1 Патент РБ № 10587 C1 2008.04.30	Состав 2 Патент РБ № 12726 C1 2009.12.30	Состав 3 Патент РБ № 15677 C1 2012.04.30
	содержание, вес. %		
Измельченная	44,8–60,6	51,9–66,3	51–67

древесина			
Полиоксадиазольное волокно	10–15	5–9	8–14
Углеродное волокно	5–8	3–4	
Полиэфирное волокно			3,5–5,5
Составное связующее (фенолформальдегидная и кремнийорганическая смолы в соотношении 3:1), сухой остаток	22–28	23–30	20–25
Поливиниловый спирт	2–3		
Мочевина	0,1–0,4		
Поливинилбутираль	0,2–0,5	2–3	
Стеарат алюминия	0,1–0,3		
Окись хрома			0,3–0,9
Глицерин			0,3–1,0
Сульфат алюминия			0,1–0,4
Смесь гексаметилентетрамина с хлористой медью			0,8–2,2
Стеарат цинка	–	0,5–2,3	
Стальная проволока или трос		0,2–0,9	

В эксперименте делалось допущение, что коэффициент трения является величиной постоянной, т.е. силу трения пресс-материала в зоне разогрева и отверждения определяли без разграничения агрегатных состояний пресс-материала. Безусловно, такой интегрированный подход недостаточно точен. Тем не менее, он вполне пригоден для определения оптимальных технологических параметров процесса плунжерной экс-

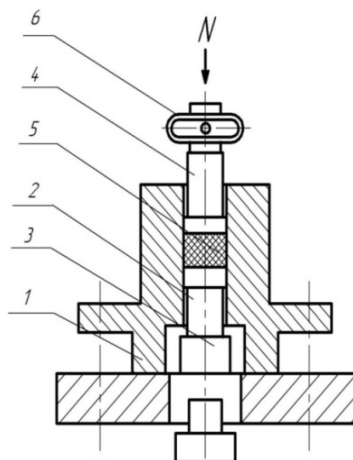


Рис. 2. Устрійство для вимірювання трия при пресуванні

Как было сказано выше, определение коэффициента трения пресс-материала о стенки канала представляет собой достаточно сложную задачу. В области порошковой металлургии проведено большое количество исследований с весьма разноречивыми результатами. К сожалению, работ по переработке композиционных древесных пластиков крайне недостаточно, и они, в основном, носят эмпирический характер. Основной причиной является сложность в определении границ переходов пресс-материала из одного агрегатного состояния в другое, особенно при переходе фенолформальдегидной смолы из резитола в резит.

В таблице 2 приведены результаты измерений силы трения холодных брикетов из пресс-композиций составов 1–3.

Полученные результаты были использованы для определения необходимой высоты порции прессовки при переработке конструктивных древопластов различных составов.

С целью повышения технологичности пресс-материалов к переработке плунжерной экструзией в состав пресс-композиций вводили антифрикционные добавки. Присутствие антифрикционных модификаторов улучшает прессуемость пресс-композиций за счет снижения внутреннего трения, улучшения текучести композиций и диспергирования частиц наполнителя и волокон. Достигаемое таким образом улучшение технологичности материалов приводит к снижению концентрации в них остаточных напряжений. Однако антифрикционные добавки очевидно обуславливают падение прочности адгезионных связей, что снижает армирующий эффект и коррозионную стойкость. Проведенные нами исследования направлены на определение оптимальной концентрации антифрикционных модификаторов в составе пресс-композиций.

Таблица 2

Зависимость силы трения от высоты холодного брикета

Наименование пресс-композиции		Высота брикетов, мм					
		20	40	60	80	100	120
		сила трения, Н					
Состав	в начале движения	1400	2800	4100	5500	7300	8500

1	установившееся движение	750	1600	2500	3200	3700	4800
Состав 2	в начале движения	1450	2800	4200	5500	7300	8700
	установившееся движение	750	1650	2500	3300	3750	5100
Состав 3	в начале движения	1500	3100	4700	5700	7000	9500
	установившееся движение	900	1900	2800	3600	4700	5700

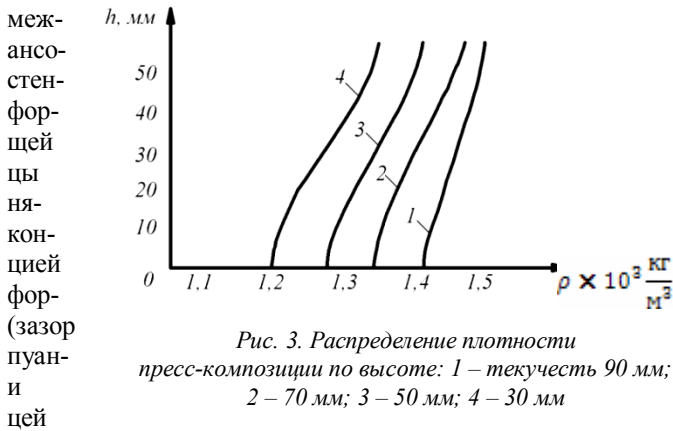
Технологичность пресс-материалов количественно оценивали по распределению плотности изделия в пределах одной прессовки. Плотность порции пресс-материала в зависимости от величины удельного давления прессования определяли при формовании деталей типа дисков. Побочные факторы, т. е. внешнее и внутреннее трение, неравномерность прогрева древесной пресс-композиции и др., устраняли формованием дисков, отношение высоты которых к диаметру составляло 1: 25 при диаметре дисков 50 мм. Результаты исследования плотности пресс-композиции в зависимости от текучести и удельного давления прессования сведены в таблице 3.

Предлагаемая таблица является тарифовочной, она была использована при расшифровке результатов экспериментов по исследованию процесса плунжерной экструзии. Удельное давление определяли по показанию манометра гидропресса.

Таблица 3

Зависимость плотности пресс-композиции от текучести и удельного давления прессования

Текучесть, мм	Удельное давление прессования, МПа								
	50	45	40	35	30	25	15	10	5
	плотность пресс-композиции, (кг/м ³) 10 ³								
30	1,34	1,33	1,31	1,30	1,29	1,28	1,26	1,27	1,17
50	1,37	1,37	1,35	1,34	1,31	1,29	1,28	1,25	1,19
70	1,45	1,43	1,40	1,37	1,35	1,33	1,32	1,29	1,27
90	1,51	1,51	1,50	1,50	1,49	1,48	1,46	1,41	1,34



Трение
ду пу-
ном и
кой
мую-
матри-
устря-
лось
струк-
пресс-
мы
между
соном
матри-

0,15 мм). В экспериментах исследовали распределение плотности по высоте образца в зависимости от текучести пресс-материала при постоянной температуре прессования $T = 140^\circ \text{C}$, времени выдержки под давлением 55–60 с на 1 мм толщины изделия и удельном давлении 50 МПа.

Текучесть древесной пресс-композиции по Рашигу определяли по ГОСТ 5689. Для экспериментов использовали пресс-композицию со значениями величин текучности, указанными в таблице 3. Текучесть регулировали изменением влажности в пределах, регламентированных техническими условиями. Для определения характера распределения плотности из древесной пресс-композиции прессовали сплошные цилинд-

ры
ром
вы-
60
ще
ние
га-
не-
се-
Из

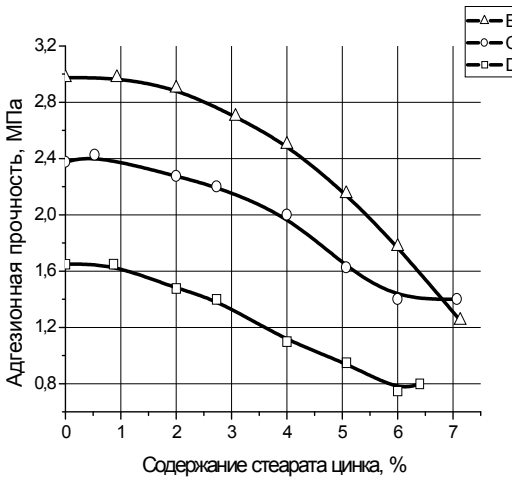


Рис. 4. Зависимость адгезионной прочности соединений древесина – связующее от содержания в связующем стеарата цинка: В – ФФС (связующее); С – отходы ППС (связующее); D – отходы ПВХ (связующее)

диам-
мет-
8,0 и
сотой
мм. Прес-
сую-
давле-
прила-
лось к
верхне
му
че-
нию.
полу-
чен-
изде-
выреза
ли
разцы
диа-
мет-

ром 8 и высотой 5 мм и определяли их плотность. Характер зависимости распределения плотности по данным эксперимента представлен на рисунке 3.

Как видно из рисунка, максимальная плотность независимо от текучности пресс-композиции достигается в сечениях, находящихся непосредственно под пуансоном, и снижается по мере удаления от него. Более резкое падение плотности приходится на пресс-композицию с наименьшей текучестью, а для пресс-композиции с наибольшей текучестью различие в плотности незначительное. Таким образом, наиболее пригодной является пресс-композиция с высоким значением текучности.

Проведенные испытания механических свойств подтвердили паде-

ние характеристик с ростом неравномерности плотности по высоте прессовки.

В качестве антифрикционных добавок в композиции вводили так называемые «сухие смазки» – соли высших жирных кислот – стеараты кальция и цинка. Графическое изображение зависимости адгезионной прочности соединений древесина – связующее от содержания в связующем стеарата цинка приведено на рисунке 4.

Вывод. Как показали исследования, адгезионная прочность соединений древесина – связующее при внесении до 1 мас.% стеарата цинка практически не меняется, а в образцах с ЛБС-3 даже несколько увеличивается (кривая В). Вероятно, это вызвано тем, что введение небольших количеств стеарата цинка в структуру полимера способствует увеличению подвижности макромолекул, за счет чего ускоряются релаксационные процессы и снижаются остаточные напряжения, что приводит к увеличению прочности граничного слоя, а, следовательно, и адгезионной прочности. С увеличением концентрации стеарата цинка адгезионная прочность снижается, что может быть обусловлено вытеснением стеарата цинка при прессовании на границу раздела фаз, где он выполняет функцию антиадгезива.

Список использованной литературы:

1. Устройство для изготовления погонажных изделий : пат. 4975 Респ. Беларусь, МПК(2006) В 27 N 5/00 / *Валетов В.В., Колдаева С.Н., Васюта В.А. и др.* // Афіцыйны бюлетэнь // Нац. цэнтра інтэлект. уласнасці. – 2009. – № 1. – С. 164.
2. Устройство для изготовления пластмассовых труб : пат. 5318 Респ. Беларусь, МПК(2006) В 29 С 43/00 / *Валетов В.В., Колдаева С.Н., Васюта В.А. и др.* // Афіцыйны бюлетэнь / Нац. цэнтра інтэлект. уласнасці. – 2009. – № 3. – С. 203.
3. Устройство для изготовления погонажных изделий из прессмасс : пат. 7062 Респ. Беларусь, МПК(2009) В 29 С 55/00 / *Валетов В.В., Колдаева С.Н., Васюта В.А., Полищук Л.Н. и др.* // Афіцыйны бюлетэнь / Нац. цэнтра інтэлект. уласнасці. – 2011. – № 1. – С. 183.
4. Состав для изготовления древесного пластика : пат. 10587 Респ. Беларусь, МПК(2008) С08 К 13/00, С08 L 61/00 / *Терешко Ю.Д., Екименко А.Н., Колдаева С.Н. и др.* // Афіцыйны бюлетэнь / Нац. цэнтра інтэлект. уласнасці. – 2008. – № 2. – С. 59.

5. Состав для изготовления древесного пластика : пат. 12726 Респ. Беларусь, МПК(2009) С 08L 61/00, С 08К 13/00 / *Терешко Ю.Д., Екименко А.Н., Колдаева С.Н. и др.* // Афіцыйны бюлетэнь / Нац. цэнтра інтэлект. уласнасці. – 2009. – № 6. – С. 92.
6. Полимерная пресс-композиция : пат. 15677 Респ. Беларусь, МПК(2009) С 08L 97/02 / *Валетов В.В., Колдаева С.Н., Васюта В.А., Полищук Л.Н. и др.* // Афіцыйны бюлетэнь / Нац. цэнтра інтэлект. уласнасці. – 2012. – № 2. – С. 183.
7. *Колдаева С.Н.* Технологические основы формирования труб из терморезактивных полимерных композитов / *С.Н. Колдаевна.* – Мозырь : Белый Ветер, 2011. – 207 с.

КОЛДАЕВА Светлана Николаевна – кандидат технических наук, доцент Мозырского государственного педагогического университета имени И.П. Шамякина.

Научные интересы:

– разработка технологических параметров прессования.

ВАСЮТА Валентин Алексеевич – декан факультета ИП; кандидат педагогических наук, доцент Мозырского государственного педагогического университета имени И.П. Шамякина.

Научные интересы:

– плунжерная экструзия;

– применение информационных технологий при обучении.

ПОЛИЩУК Людмила Николаевна – заведующая кафедрой, кандидат педагогических наук, доцент Мозырского государственного педагогического университета имени И.П. Шамякина.

Научные интересы:

– применение информационных технологий при обучении.

Статья поступила в редакцию 29.05.2012