

Проведены лабораторные и эксплуатационные испытания деталей машин из ДПКА и организовано их внедрение в производство.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Колдаева С. Н. Конструкционные коррозионно-стойкие пластики на основе древесины и стекловолокна с повы-

шенными антифрикционной и огнестойкостью. Автореферат канд. диссерт. – Новополоцк: ПГУ, 2005.

2. Нысенко Н. Т. Древесные пластики. – М.: Лесная промышленность, 1976.

3. Терешко Ю. Д., Екименко А. Н., Колдаева С. Н. Установка для измельчения волокнистых материалов. Решение на выдачу патента РБ а20040795, 2006.

УДК 189.211.621

Колдаева С.Н.

ДРЕВЕСНЫЕ ПЛАСТИКИ С ПОВЫШЕННОЙ ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬЮ НА ОСНОВЕ ТЕРМОПЛАСТИЧНОЙ МАТРИЦЫ, МОДИФИЦИРОВАННОЙ ТЕРМОРЕАКТИВНЫМ ОЛИГОМЕРОМ

Введение. Композиционные материалы на основе полимеров, измельченной древесины и других компонентов получили широкое применение в машиностроении. Их переработка осуществляется на гидравлических прессах при достаточно высоком давлении прессования (40 - 100 МПа). Это в значительной степени ограничивает возможность формирования крупногабаритных изделий сложной формы, а также профильных погонажных изделий. В этой связи возникла необходимость разработки новых материалов, пригодных для переработки в изделия при пониженном давлении. Наиболее технологичными являются материалы, в которых в качестве связующего используются термопластичные полимеры.

Однако древесные пластики на термопластичной матрице имеют недостаточно высокие физико-механические характеристики, что накладывает ограничения на их использование в качестве конструкционных материалов. Недостаточно высокие механические характеристики материалов этого класса обусловлены, главным образом, низкой адгезией термопластов к древесине. С целью улучшения указанных характеристик применяются различные приемы. В частности, ограничивают размеры частиц наполнителя (используется древесная мука) [1, 2]. Разрабатывались также способы модифицирования поверхности древесных частиц термореактивным олигомером. [3-5].

Задачей настоящего исследования являлось получение древесных пластиков на термопластичной матрице, пригодных к использованию в качестве конструкционных материалов и технологичных при переработке в профильные погонажные изделия. При этом рассматривалась возможность применения более крупной фракции наполнителя – опилочно-стружечной смеси, – что позволило бы в большей степени использовать положительные свойства древесины (высокую прочность, упругость, жесткость) для упрочнения материалов разрабатываемого класса. Для достижения поставленной цели на границе раздела фаз формировали прослойку из олигомера с высокой концентрацией полярных групп (эпоксидной и фенолформальдегидной смол), имеющего высокую адгезию к древесине. Введение в состав композиции термоотверждаемых смол возможно при формировании изделий плунжерной экструзией.

Материалы и методы исследования. Исследовали влияние состава композиции, содержащей измельченную древесину, термореактивную смолу и термопластичный полимер, а также технологии ее переработки на физико-механические свойства материалов. В качестве армирующих частиц использовали модифицированную измельченную древесину березы, а в качестве связующего – полиэтилен низкого давления (ПЭНД) марки 20906-040 (ГОСТ 16338-70). Образцы получали методом прямого прессования. Методом ИК - спектроскопии на спектрофотометре UR-20 оценивали химическое взаимодействие между компонентами композиционного материала. Структуру материалов исследовали на оптическом микроскопе NU-2. Влияние температурно-временных факторов на взаимодействие компонентов изучали на образцах натурального и модифицированного смолой ЛБС-3 и смолой ЭД-20 шпона с полиэтилено-

вым (ПЭ) покрытием. Полиэтиленовое покрытие формировали на образцах в герметичных пресс-формах при температуре 130 - 140°C и давлении 2 МПа с последующим охлаждением до 30°C. прочность сцепления покрытия с подложкой определяли методом нормального отрыва на машине ZD-4. ИК - спектры ПЭНД - покрытий снимались в области 1500 – 2000 см⁻¹. Оптимизация физико-механических свойств композиционного материала в зависимости от контролируемых факторов (состава композиции и давления прессования) производилась с использованием методов планирования эксперимента [6]. При выборе подходящего плана и составлении матрицы планирования использовались результаты предварительных опытов и предыдущих работ [3-5].

Физико-механические испытания проводились на стандартных образцах. Оптимальная область изучалась с применением центрального композиционного ротатбельного планирования [6].

Результаты испытаний. Наилучшие результаты получены при обработке поверхности древесных частиц резольной фенолформальдегидной смолой ЛБС-3. По-видимому, этот эффект обусловлен близостью значений коэффициентов термического расширения и плотности (если рассматривать плотность прессованного древесного вещества без пор) наполнителя и полимера. Следует отметить также высокую адгезию фенолформальдегидной смолы к древесине.

Предварительное модифицирование древесных частиц фенолформальдегидным олигомером (ФФО) позволяет сформировать на поверхности частицы однородное покрытие, отличающееся высокой прочностью адгезионной связи. Разветвленная поверхность древесных частиц увеличивает площадь адгезионного контакта. Термопластичное связующее заполняет полости межклеточного пространства модифицированных древесных частиц. При этом термопластичный полимер вступает во взаимодействие не с древесиной, а с фенолформальдегидным олигомером, что существенно сказывается на адгезии фаз.

При высокой степени наполнения соотношение компонентов в композиции таково, что можно говорить не о модифицировании поверхности наполнителя, а о создании совместной матрицы с разной степенью сшивки вблизи поверхности наполнителя, т.е. о модифицировании термопластичной матрицы термореактивным олигомером.

Данные ИК-спектроскопии позволяют определить характер взаимодействия термопластичного полимера и термореактивного олигомера.

Изменение интенсивности полос поглощения ИК - спектров разрабатываемых материалов в области 600 - 800 см⁻¹ и появление полос поглощения 1600 - 1750 см⁻¹ (рис 1) свидетельствует о возможности химического взаимодействия между компонентами. Смещение полосы валентных колебаний ОН - группы с максимумом 3430 см⁻¹ в более коротковолновую область 3520 см⁻¹ связано с уменьшением энергии водородной связи между макромолекулами фенолформальдегидного олигомера. По-видимому, молекулярные цепочки ПЭ, не содержащие полярных функциональных

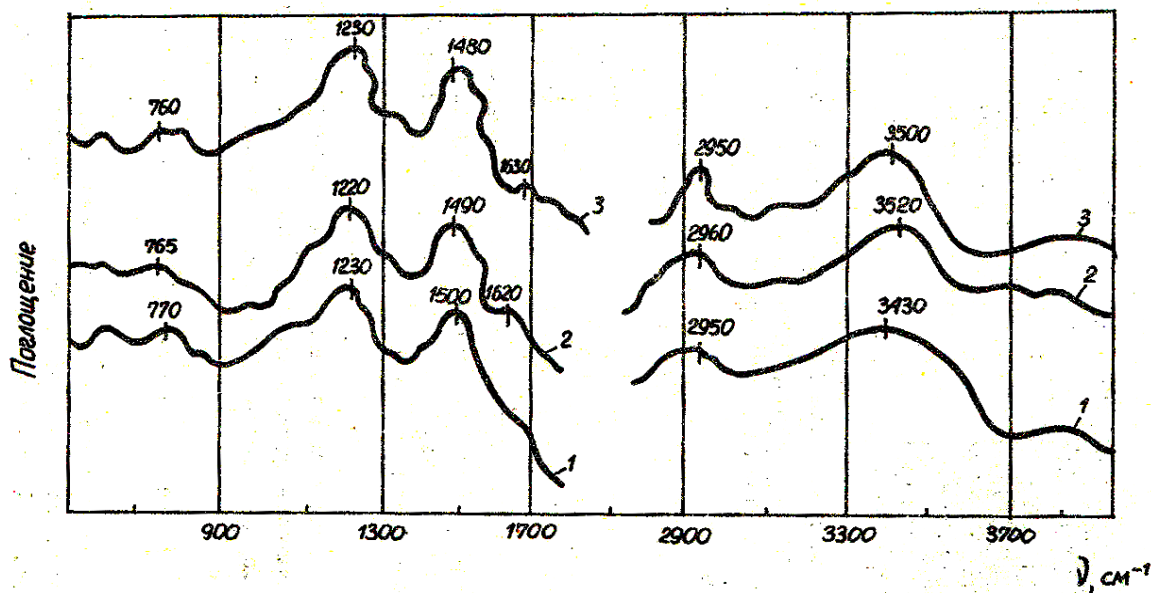


Рис. 1. ИК – спектры ЛБС-3 (1), 80% ЛБС-3 плюс 20% ПЭНД (2), 2% ЛБС-3 плюс 18% ПЭНД плюс 80% измельченной древесины (3).

групп, внедряясь между макромолекулами смолы, ослабляют водородные связи между ними.

Исследования влияния соотношения термопластичного и терморективного связующего в композиции на механическую прочность и водопоглощение древесных пластиков показали, что наилучшими характеристиками обладает материал с содержанием ФФО от 1,0 до 2,5 %. Снижение гидрофобности и механических характеристик композита при меньшем содержании терморективного связующего может быть связано с нарушением сплошности пограничного слоя ФФО на поверхности частицы. При большем - смола заполняет полости межклеточного пространства (поры), уменьшая при этом пористость древесины и, соответственно, площадь адгезионного контакта. При содержании смолы в пределах 1,0 – 2,5 мас.% сохраняется развитая жесткая система открытых пор древесных частиц, что облегчает их заполнение полимером.

Поверочные расчеты. Решая уравнения Навье-Стокса для случая заполнения вязкой жидкостью пористой системы древесины, получаем зависимость, связывающую технологические параметры процесса формования композиционного материала и геометрические размеры древесных частиц [7]:

$$\tau = \frac{8\mu}{PR^2} \cdot X_m^2 \left[\frac{n^2}{2} - bn - b \ln(1-n) \right], \quad (1)$$

где τ – время выдержки композиционного материала под давлением P , необходимое для заполнения пор древесных частиц среднего радиуса R связующим с вязкостью μ на глубину X , L – средняя длина пор; P_0 – начальное давление воздуха в порах.

$$X_m = (1 - P_0/P) \cdot \frac{L}{2}; \quad b = \frac{L}{2} X_m - 1; \quad n = X/X_m.$$

Средний радиус пор R является функцией прессующего давления: $R = f(P)$. Для древесных частиц с влажностью 8-10% в значительном диапазоне их размеров изменение среднего радиуса пор под действием давления до 8 МПа хорошо аппроксимируется линейной зависимостью:

$$R = R_0 - 3,83 \times 10^{-12} P, \quad (2)$$

где R_0 – начальный средний радиус пор измельченной древесины.

Анализ формул (1) и (2) показывает, что оптимальным давлением, при котором поры древесных частиц наиболее быстро заполняются термопластичным связующим, является

давление 2 – 4 МПа. При таком давлении в пористой системе древесных частиц не наблюдается глубоких структурных изменений, поры легко заполняются связующим. С увеличением давления происходит деформация частиц путем изгиба и уплотнения, что, в свою очередь, вызывает деформацию межклеточных полостей. Проникновение связующего в поры древесины затрудняется.

С увеличением длины древесных частиц и вязкости термопластичного связующего процесс заполнения пор может быть достаточно продолжительным.

При оптимизации состава композиционного материала в качестве параметров выбраны разрушающие напряжения при изгибе (σ_u) и водопоглощение (W) материалов, а в качестве факторов - давление прессования (P), содержание в композиции ПЭНД ($C_{пэ}$) и терморективного олигомера (C_ϕ).

Давление прессования существенно влияет на свойства композиционных материалов только при высокой степени наполнения композита древесными частицами. С увеличением содержания связующего в композиции можно получать материалы с удовлетворительными физико-механическими свойствами при давлении 3 - 4 МПа (рис. 3).

После обработки экспериментальных данных были получены уравнения, отражающие, соответственно, влияние давления (P) и состава ($C_{пэ}$, C_ϕ) на σ_u и W композиционного материала:

$$\begin{aligned} \sigma_u = & -22,84 + 14,94 \cdot P + 1,676 \cdot C_{пэ} + 2,48 \cdot C_\phi - \\ & -0,94P^2 - 0,0136 \cdot C_{пэ}^2 - 0,0191 \cdot C_\phi^2 - 0,066 \cdot PC_{пэ} - \\ & -0,0294 \cdot C_{пэ}C_\phi - 0,261 \cdot C_\phi P, \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} W = & 67,73 - 9,19 \cdot P - 0,484 \cdot C_{пэ} - 1,707 \cdot C_\phi + \\ & + 0,001 \cdot C_\phi^2 + 0,071 \cdot PC_{пэ} + 0,262 \cdot C_\phi P. \end{aligned} \quad (4)$$

Влияние содержания ПЭНД на предел прочности композиционного материала при статическом изгибе (σ_u) можно описать уравнением регрессии второй степени. При заданных значениях давления прессования P и содержания модификатора C_ϕ можно определить содержание в композиции связующего, обеспечивающее получение изделий с достаточно высокими прочностными характеристиками, по первой про-

изводной уравнения (3) – $\frac{d\sigma_u}{dC_{нэ}}$. В нашем случае это выглядит следующим образом:

$$C_{нэ} = \frac{16,76 - 0,66 \cdot P - 0,294 \cdot C_{ф}}{0,272} \quad (5)$$

Таким образом, оптимальное по критерию механической прочности содержание ПЭНД уменьшается с ростом P и количества терморективной смолы $C_{ф}$ в композиции (рис. 2).

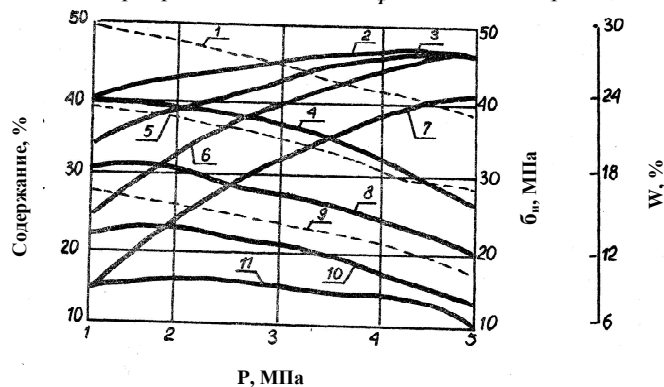


Рис. 2. Зависимость оптимального содержания ПЭНД в композиции (1, 5, 9), σ_u (2, 3, 6, 7) и W (4, 8, 10, 11) от давления прессования P . Содержание фенолформальдегидного олигомера, %: 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5

Заключение. Полученные результаты позволяют определить оптимальный по критерию механической прочности состав композиционного материала, перерабатываемого при давлении 3 - 4 МПа в замкнутом объеме при температуре 130 - 140°C в зоне формования и 40 - 50°C в зоне термостабилизации. Время выдержки под давлением составляет 0,5 - 0,8 мин на 1мм толщины изделия при содержании термопластичного полимера 18 - 21 мас.%, терморективного связующего - 1,0 - 2,5 мас.%; остальное количество составляет измельчен-

УДК 634.0.381

Екименко А.Н.

ИССЛЕДОВАНИЕ АРМИРОВАННЫХ ДРЕВОПЛАСТОВ И ПРИМЕНЕНИЕ ИХ В МАШИНОСТРОЕНИИ

1. Введение

Основная причина ограниченного использования древесных пластиков (ДПК) в машино- и станкостроении для изготовления сложно-нагруженных деталей заключается в низкой прочности этих материалов при работе на ударный изгиб [1, 2].

Поскольку большинство машиностроительных деталей во время эксплуатации испытывает действие динамических ударов и вибрационных нагрузок, к ним предъявляются высокие требования работы на удар. К настоящему времени наметились некоторые направления по улучшению свойств ДПК путем армирования их металлом или стеклянными волокнами [3, 4].

В первом случае металлическая арматура в виде проволоки, штифтов, втулок, болтов, гаек, колец или пластин закладывается непосредственно в пресс-форму и запрессовывается в изделие во время формования. Однако применение металлической арматуры в качестве упрочняющего средства ДПК приводит к значительному удорожанию изделий, увеличению веса и усложнению технологического процесса.

ная древесина. Плотность полученного материала составляет 1,04 - 1,05 кг/м³, предел прочности при статическом изгибе: 35 - 45 МПа, водопоглощение: 4 - 9 %.

Для переработки композиционного материала при пониженном давлении разработано оборудование, дающее возможность получать крупногабаритные изделия трубчатой и плоской формы [8-10]. Разрабатываемые изделия могут быть использованы в строительстве и сельском хозяйстве.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Франц Смутка. Древесная экструзия – новая технология, кампания "ТЕХНОПЛАСТ Кунштштоффтехник ГмБХ" (Австрия). http://www.proplex.ru/dealers/oid/N74_08.html
2. Ф. Смутка. Экструзия древесно-волоконистых материалов: пути развития. // Строительные материалы и технологии, 2003. №1. – С. 10-14.
3. Купчинов Б.И., Немогай Н.В., Мельников С.Ф. Состав и технология переработки древесно-полимерных композиционных материалов на основе ПЭ // Пластические массы, 1982. №1. – С. 44-46.
4. Купчинов Б.И., Немогай Н.В., Мельников С.Ф. Технология конструкционных материалов и изделий на основе измельченных отходов древесины. - Минск: Наука и техника, 1992. – 199 с
5. Прушак В.Я., Колдаева С.Н., Михайлов М.И. Технология древесно-полимерных композитов для деталей машин. – Гомель: Информтрибо, 1992. – 225 с.
6. Саутин С.Н. Планирование эксперимента в химии и химической технологии. – Л.: Химия, 1975.
7. Л.Д.Ландау, Е.М. Лившиц Теоретическая физика. Том IV. Гидродинамика. – М.: Наука, 1988.
8. Установка для формования трубчатых изделий. А.с. 547367 СССР. М. Кл. В29 5/00.
9. Устройство для формования изделий сложной конфигурации из древесно-прессовочных масс. А.с. 655564 СССР. М. Кл. В29 5/00.
10. Устройство для изготовления погонажных изделий. Патент РБ №2463 В 29N 3/00.

При применении металлической арматуры нарушается монолитность изделий. В деталях и конструкциях из-за различия в коэффициентах линейного расширения разнородных материалов могут возникать значительные внутренние напряжения, вызывающие трещины и коробления, которые отрицательно сказываются на работе армированных конструкций.

При армировании ДПК стеклянными волокнами наблюдается значительное улучшение физико-механических свойств, но при этом резко возрастает, в 3-4 раза, коэффициент трения, и такие изделия нельзя использовать для изготовления трущихся деталей машин. Кроме того, использование стеклянного волокна в процессе производства ДПК и при изготовлении из него деталей машин требует специальных защитных средств органов дыхания, рук, лица, так как оно поражает кожу и слизистую оболочку горла.

2. Результаты исследований и их обсуждение

Для устранения этих недостатков в Институте инновационных исследований разработан способ изготовления ударо-