

Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века. 2024. С. 166–172.  
*Woodworking: technologies, equipment, management of the XXI century. 2024. P. 166–172.*

Научная статья  
УДК 678

## КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ДИАЦЕТАТА ЦЕЛЛЮЛОЗЫ И ШЛИФОВАЛЬНОЙ ПЫЛИ БЕРЕЗОВОЙ ФАНЕРЫ

Кристина Алексеевна Усова<sup>1</sup>, Никита Семенович Штабнов<sup>2</sup>,  
Алексей Евгеньевич Шкуро<sup>3</sup>, Игорь Валерьевич Чупров<sup>4</sup>

<sup>1,3</sup> Уральский государственный лесотехнический университет,  
Екатеринбург, Россия

<sup>2</sup> Филиал ФГБУ «48 Центральный научно-исследовательский институт»  
Министерства обороны Российской Федерации, Екатеринбург, Россия

<sup>4</sup> ООО «БаринПАК», Новая Гожа, Республика Беларусь

<sup>1</sup> usovaka@m.usfeu.ru.com

<sup>2</sup> lol\_hukutos@mail.ru

<sup>3</sup> shkuruae@m.usfeu.ru

<sup>4</sup> barin@mail.ru

**Аннотация.** Композиты на основе эфиров целлюлозы обладают рядом значительных преимуществ, например, высокими физико-механическими характеристиками и способностью к биоразложению. Перспективным видом таких композитов являются материалы на основе диацетата целлюлозы. В настоящем исследовании была получена серия композитов с полимерной фазой диацетата целлюлозы и шлифовальной пылью березовой фанеры. Для полученных образцов определены показатели твердости, плотности, водопоглощения и потери массы после выдержки в активированном грунте. Проведен корреляционный анализ экспериментальных данных.

**Ключевые слова:** древесные композиты, диацетат целлюлозы, шлифовальная пыль, твердость, биоразложение

**Для цитирования:** Композиционные материалы на основе диацетата целлюлозы и шлифовальной пыли березовой фанеры / К. А. Усова, Н. С. Штабнов, А. Е. Шкуро, И. В. Чупров // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века. Екатеринбург, 2024. С. 166–172.

Original article

## COMPOSITE MATERIALS BASED ON CELLULOSE DIACETATE AND BIRCH PLYWOOD GRINDING DUST

**Kristina A. Usova<sup>1</sup>, Nikita S. Shtabnov<sup>2</sup>, Alexey E. Shkuro<sup>3</sup>,  
Igor V. Chuprov<sup>4</sup>**

<sup>1,3</sup> Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, Russia

<sup>2</sup> Branch of the federal state budgetary institution “48 Central Research Institute” of the Ministry of Defense of the Russian Federation, Yekaterinburg, Russia

<sup>4</sup> Barinpack LLC, New Gozha, Republic of Belarus

<sup>1</sup> usovaka@m.usfeu.ru.com

<sup>2</sup> lol\_hukutos@mail.ru

<sup>3</sup> shkuruae@m.usfeu.ru

<sup>4</sup> barin@mail.ru

**Abstract.** Composites based on cellulose ethers have a number of significant advantages, such as high physical and mechanical properties and biodegradability. A promising type of such composites are materials based on cellulose diacetate. In this study, a series of composites with a polymer phase of cellulose diacetate and birch plywood sanding dust were obtained. For the obtained samples, the indices of hardness, density, water absorption and weight loss after aging in soil were determined. A correlation analysis of the experimental data was carried out.

**Keywords:** wood composite materials, cellulose diacetate, sawdust, hardness, biodegradation

**For citation:** Composite materials based on cellulose diacetate and birch plywood grinding dust / K. A. Usova, N. S. Shtabnov, A. E. Shkuro, I. V. Chuprov // Woodworking: technologies, equipment, management of the XXI century. Yekaterinburg, 2024. P. 166–172.

Сегодня биоразлагаемые материалы являются перспективной темой научных исследований. Хотя ожидания от их разработки и применения несколько завышены, трудно спорить с тем, что такие материалы могут сыграть существенную роль в борьбе с пластиковым загрязнением окружающей среды. Большой интерес представляют полимерные материалы на основе целлюлозы [1], т. к. это самый распространенный полимер на планете. Саму по себе целлюлозу трудно переработать традиционными для пластмасс методами, так как температура ее плавления выше температуры ее же разложения, что препятствует переходу целлюлозы в вязко текучее состояние. Однако продукты химической модификации целлюлозы (в частности эфиры) вполне могут плавиться и, следовательно, могут быть

переработаны высокопроизводительными методами, например, литьем под давлением или экструзией [2]. Судя по физико-механическим свойствам и способности к биоразложению, диацетат целлюлозы является одним из основных кандидатов на роль полимерной матрицы для получения биокompозитов с лигноцеллюлозными наполнителями [3]. Для снижения себестоимости производства таких композитов в качестве лигноцеллюлозного наполнителя возможно использовать отходы сельского и лесного хозяйства. Одним из таких перспективных для получения биокompозитов отходов является пыль, образующаяся при обработке (шлифовании) березовой фанеры. Таким образом, сегодня в борьбе с пластиковым загрязнением окружающей среды актуальной задачей является разработка новых экономически выгодных биоразлагаемых композиционных материалов на основе лигноцеллюлозных ресурсов, способных сохранять требуемые свойства в течение заданного периода эксплуатации.

Целью настоящего исследования являлось изучение свойств композитов на основе диацетата целлюлозы и шлифовальной пыли березовой фанеры в зависимости от процентного содержания их компонентного состава.

Диацетат целлюлозы, использованный в качестве полимерной матрицы для получения композиционных материалов, был получен с помощью щелочного гетерогенного гидролиза промышленного триацетата целлюлозы. Подробная методика получения диацетата целлюлозы описана в работе [3].

Степень замещения использованного в работе диацетата составляла 2,09. В качестве наполнителя применяли шлифовальную пыль березовой фанеры (ШПф), предоставленную ЗАО «Фанком». В качестве пластификаторов использовали триацетин и триэтилцитрат. Соотношение между диацетатом целлюлозы и пластификаторами в составе полимерной матрицы композита оставалось постоянным для каждого опыта. Компонентный состав исследованных композиционных материалов представлен в табл. 1. Компоненты совмещались методом вальцевания при температуре 150–160 °С. Стандартные образцы для испытаний изготавливали методом горячего прессования.

*Таблица 1*

Компонентный состав исследованных композиционных материалов

№	Содержание компонента, масс. %			
	Диацетат целлюлозы	Триацетин	Триэтилцитрат	Шлифовальная пыль березовой фанеры
1	60,0	25,0	15,0	0,0
2	48,0	20,0	12,0	20,0
3	42,0	17,5	10,5	30,0
4	36,0	15,0	9,0	40,0
5	30,0	12,5	7,5	50,0

Для полученных образцов были определены следующие показатели: плотность, твердость по Шору (шкала D), водопоглощение за 7 суток и потеря массы после выдержки в течение 60 суток в активированном грунте. Методика приготовления активированного грунта приведена в работе [4].

Результаты определения физико-механических свойств, водопоглощения и потери массы после выдержки в активированном грунте образцов композитов с диацетатом целлюлозы и шлифовальной мукой березовой фанеры приведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты определения свойств образцов композитов

№ Опыта	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Твердость по Шору (D)	Водопоглощение за 7 суток, %	Потеря массы за 60 суток, %
1	1265	86	11,0	10,8
2	1305	94	13,5	8,0
3	1295	96	16,1	9,2
4	1295	100	21,1	9,5
5	1300	95	20,0	8,4

Для наглядности зависимости свойств образцов композитов (см. табл. 2) от их компонентного состава (см. табл. 1) были построены графики (рис. 1–4).

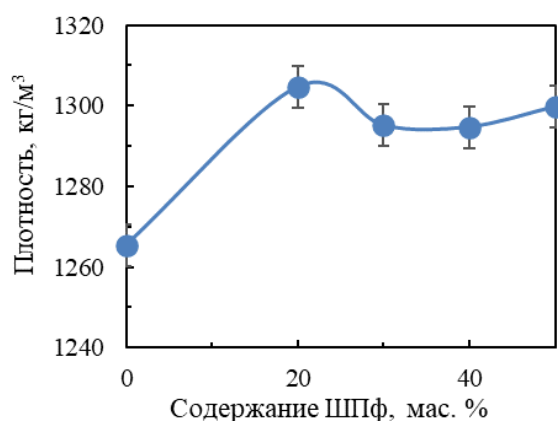


Рис. 1. Зависимость плотности от содержания шлифовальной пыли березовой фанеры

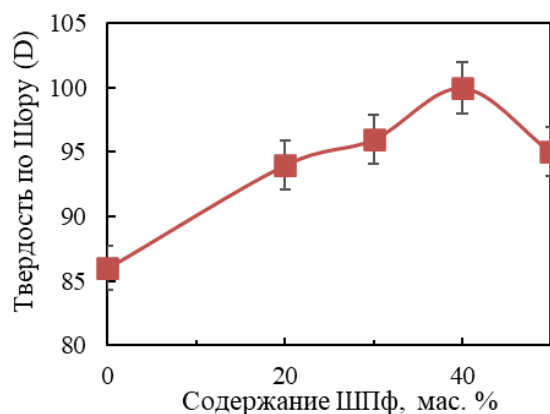


Рис. 2. Зависимость твердости от содержания шлифовальной пыли березовой фанеры

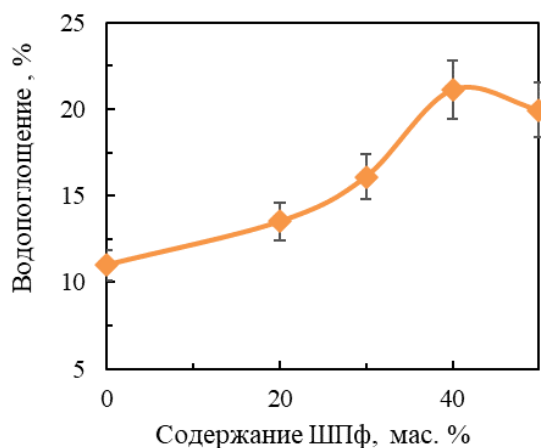


Рис. 3. Зависимость водопоглощения за 7 суток от содержания шлифовальной пыли березовой фанеры

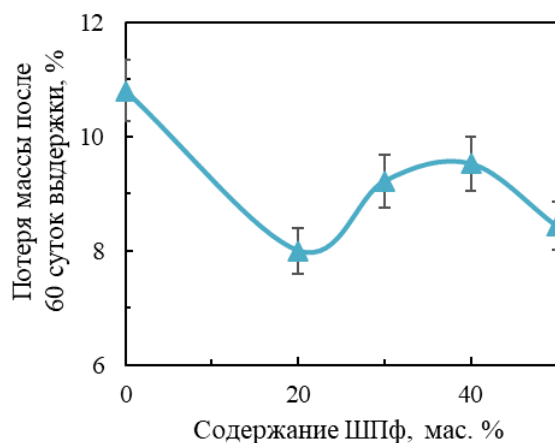


Рис. 4. Зависимость потери массы после выдержки в грунте в течение 60 суток от содержания шлифовальной пыли березовой фанеры

Плотность, твердость и водопоглощение за 7 суток возрастают при введении в полимерную фазу диацетата целлюлозы лигноцеллюлозного наполнителя. Также наблюдалось значительное снижение показателя потери массы после выдержки в грунте в течение 60 суток. Такое падение можно объяснить наличием в используемом наполнителе существенного количества лигнина (18,3 масс. %), который, как известно, является природным биоцидом и препятствует разложению биокомпозитов на основе производных целлюлозы.

Для определения характера зависимости между содержанием шлифовальной пыли березовой фанеры и выходными данными эксперимента был проведен корреляционный анализ. Результаты корреляционного анализа представлены в табл. 3.

Таблица 3

### Результаты корреляционного анализа

	Содержание ШПф	Плотность	Твердость по Шору (D)	Водопоглощение за 7 суток	Потеря массы за 60 суток
Содержание ШПф	1,00	0,72	0,82	0,94	-0,58
Плотность	0,72	1,00	0,77	0,77	0,77
Твердость по Шору (D)	0,82	0,77	1,00	0,85	0,85
Водопоглощение за 7 суток	0,94	0,56	0,85	1,00	-0,35
Потеря массы за 60 суток	-0,58	-0,94	-0,52	-0,35	1,00

Полученные данные свидетельствуют о наличии очень сильной линейной корреляции между содержанием шлифовальной пыли березовой фанеры и показателем водопоглощения, а также очень сильной отрицательной корреляции между показателями плотности и потери массы после выдержки в активированном грунте. Сильная корреляционная зависимость обнаруживается между содержанием шлифовальной пыли и твердостью по Шору, а также между твердостью по Шору и водопоглощением за 7 суток. Коэффициент парной линейной корреляции  $r_{xy} = 0,72$  также говорит о наличии линейной связи умеренной тесноты между плотностью и содержанием наполнителя.

Следует отметить, что по физико-механическим свойствам композиты на основе диацетата целлюлозы незначительно уступают образцам с триацетатом целлюлозы, однако превосходят образцы ДПК с полиолефиновыми полимерными матрицами. В то же время композиты на основе диацетата целлюлозы обладают значительно более высоким потенциалом к биоразложению по сравнению с аналогами на основе триацетата целлюлозы [4]. При этом введение шлифовальной пыли березовой фанеры в состав композита приводит к снижению степени биоразложения материала очевидно из-за присутствия в наполнителе лигнина.

Использование шлифовальной пыли березовой фанеры в качестве наполнителя композиционных материалов на основе диацетата целлюлозы позволит вовлечь этот малоиспользуемый отход в производство инновационных биокompозитов.

Определение оптимального содержания шлифовальной пыли березовой фанеры позволит сохранить ключевые физико-механические характеристики таких композитов на требуемом уровне с возможностью биоразложения при компостировании в грунте.

## Список источников

1. Long Y. Biodegradable polymer blends and composites from renewable sources. St. Petersburg : Scientific foundations of technology, 2013. 488 p.
2. Рогозин З. А. Химические превращения и модификация целлюлозы. М. : Химия, 1979. 205 с.
3. Шкуро А. Е., Глухих В. В., Усова К. А. Получение биокompозитов с полимерной фазой пластифицированных ацетатов целлюлозы с различной степенью ацетилирования // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2023. № 4 (394). С. 155–168.
4. Исследование физико-механических свойств композиционных материалов с полимерной фазой диацетата целлюлозы и древесной мукой / П. С. Захаров, К. А. Усова, А. Е. Шкуро, В. В. Илюшин // Деревообрабатывающая промышленность. 2023. № 1. С. 99–105.

## References

1. Long Y. Biodegradable polymer blends and composites from renewable sources. St. Petersburg : Scientific foundations of technology, 2013. 488 p.
2. Rogozin Z. A. Chemical transformations and modification of cellulose. M. : Chemistry, 1979. 205 p.
3. Shkuro A. E., Glukhikh V. V., Usova K. A. Preparation of biocomposites with a polymer phase of plasticized cellulose acetates with varying degrees of acetylation // News of higher educational institutions. Forest journal. 2023. No. 4 (394). P. 155–168.
4. Study of the physical and mechanical properties of composite materials with the polymer phase of cellulose diacetate and wood flour / P. S. Zakharov, K. A. Usova, A. E. Shkuro, V. V. Ilyushin // Woodworking industry. 2023. No. 1. P. 99–105.