

Научная статья

УДК 621.763:004.9

<https://doi.org/10.15828/2075-8545-2022-14-2-137-144>

CC BY 4.0

Биодобавки на основе коллагена в полимерных композиционных материалах

Алдар Батомункуевич Балданов* , Любовь Александровна Бохоева , Дмитрий Валерьевич Шалбуев ,
Туяна Булатовна Тумурова 

Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, Улан-Удэ, Россия

* Автор, ответственный за переписку: e-mail: aldarbaldanov@gmail.com

АННОТАЦИЯ: Введение. Полимерные композиционные материалы (ПКМ) на основе эпоксидных смол получают широкое распространение в строительной индустрии. Известно их использование в пролетных строениях мостов, плитах проезжей части, тротуарных настилах, арматуре для армирования бетонных конструкций, оболочек, для усиления существующих металлических и железобетонных сооружений; в малонагруженных конструкциях. Для улучшения эксплуатационных характеристик ПКМ используются различные наполнители микро- и наноразмеров. Межфазное взаимодействие между наполнителем и полимерной матрицей играет важную роль в определении прочности создаваемых композиционных материалов. **Методы и материалы.** В статье исследованы свойства ПКМ с наполнителем матрицы – биодобавками на основе коллагена, получаемого из твердых органосодержащих отходов предприятий кожевенной промышленности. Разработан принципиально новый способ получения биоактивного коллагенового продукта по относительно низкой цене, описанный в патенте RU № 2272808. Проведены исследования образцов из ПКМ на растяжение при добавлении сухого порошка коллагена в эпоксидное связующее. Сделан анализ срезов образцов, проведенных на растровом электронном микроскопе JSM-6510LVJEOL, изучены изменения структуры ПКМ с наполнителями. **Результаты.** При добавлении 1% коллагена в матрицу ПКМ происходит увеличение количества химических элементов: углерода (C) на 2,93%, кислорода (O) на 1,61%, магния (Mg) на 0,11%. Также уменьшаются количество микропор на 4,9% на поверхности матрицы и их размеры, которые служат концентратором напряжений. Результаты испытаний на растяжение показали, что при добавлении 1% коллагена в матрицу ПКМ несущая способность образцов увеличивается на 15,57%. Результаты, полученные в данной работе, могут привести к расширению областей применения коллагена, уменьшению отходов в кожевенном производстве за счет рециклизации. **Выводы и заключение.** Разработан принципиально новый способ получения биоактивного коллагенового продукта из твердых органосодержащих отходов предприятий кожевенной промышленности по относительно низкой цене. Установлено, что биоактивный коллагеновый продукт в виде порошка имеет низкую себестоимость и может применяться в качестве биодобавки в ПКМ.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: коллаген, биодобавка, полимерный композиционный материал, испытание, образцы, прочность.

БЛАГОДАРНОСТИ: Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Молодые ученые ВСГУТУ-2021.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Балданов А.Б., Бохоева Л.А., Шалбуев Д.В., Тумурова Т.Б. Биодобавки на основе коллагена в полимерных композиционных материалах // Нанотехнологии в строительстве. 2022. Т. 14, № 2. С. 137–144. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2022-14-2-137-144>.

ВВЕДЕНИЕ

За последние годы полимерные композиционные материалы (ПКМ) нашли применение в различных отраслях промышленности, т.к. имеют высокую прочность и модуль упругости, малый вес, технологичность, невосприимчивость к агрессивным внешним факторам, способность повторять практически любые формы [1] и т.д. Основным материалом

ПКМ служит матрица из полимерного связующего: эпоксидные, фенольные полиамидные смолы и др., и армирующий наполнитель из углеродных, стеклянных, борных и других волокон. Их комбинация позволяет получить высокопрочные конструкции с заранее заданными свойствами. В строительстве ПКМ используется в качестве усиления бетонных конструкций в виде полос [2], арматур [3], строительстве пешеходных мостов [4], навесов и ограж-

© Балданов А.Б., Бохоева Л.А., Шалбуев Д.В., Тумурова Т.Б., 2022

дающих конструкций, а также основных несущих элементов, подвергнутых воздействию агрессивной среды [5]. Потребность в таких материалах приводит к исследованиям, связанным с разработкой улучшенных физико-механических свойств ПКМ, таких как: жесткость, вязкость разрушения и несущая способность. Значительное количество недавних исследований показало, что добавление нанодобавок (наночастицы и нановолокна) в эпоксидную матрицу ПКМ улучшает механические свойства таких материалов [6–10]. Введение углеродных нанотрубок в форме дисперсий приводит к увеличению прочности клеевого соединения на отрыв, увеличению механических свойств, к росту микротвердости образцов [11]. Авторы работы [12] исследовали однонаправленный армированный стекловолокном ПКМ с наноразмерными наполнителями из оксида алюминия, диоксида кремния и тригидрата оксида алюминия микронного размера в эпоксидной смоле. При диапазоне наполнения 10 мас. %, прочность на растяжение, изгиб и ударная вязкость улучшились на 9, 20 и 28% по сравнению со стеклом без наполнителя и стеклом, наполненным оксидом алюминия. В работах [13–15] представлены результаты исследований нанокompозитов с диоксидом кремния, опубликованные за последние десять лет. Включение наночастиц диоксида кремния резко увеличивает прочность при сжатии и умеренно увеличивает прочность при растяжении. Максимальный эффект наночастиц при внедрении в ПКМ имеет место при диапазоне размеров частиц 10–25 нм [16].

Согласно исследованию, проведенным компанией Abercade [17], нанодобавки можно разделить на четыре группы: порошки чистых металлов, смеси, оксиды металлов, сложные оксиды. Порошки чистых металлов составляют значительную и все возрастающую долю всего объема производства нанопорошков – 80%. Сложные оксиды и смеси имеются в ограниченном количестве. Результаты испытаний на прочность многослойных ПКМ с наполнителями в виде нанодисперсных добавок и других порошкообразных веществ представлены в работе [18]. Исследования по добавлению биодобавок в эпоксидную матрицу ПКМ ограничены, однако в работе [19] они улучшают такие механические свойства, как: жесткость, вязкость разрушения и несущую способность.

Одними из перспективных наполнителей матрицы КМ являются биодобавки на основе коллагена, получаемые из органосодержащих отходов. По своим свойствам их можно отнести к биоактивным веществам, обладающим оптимальными коллоидно-химическими свойствами. Органосодержащие отходы представляют собой вторичные продукты, образующиеся в процессе переработки кожевенного, мехового, рыбного и мясного сырья. На пред-

приятиях кожевенной промышленности образуется значительное количество твердых органосодержащих отходов, которые содержат до 50% белковых веществ и могут активно применяться в качестве биополимеров. Основным белком таких отходов представлен фибриллярным белком – коллагеном, составляющим основу соединительной ткани организма и обеспечивающим ее прочность и эластичность.

Коллаген составляет около 20–30% от общего количества белков в организме и обладает уникальной структурой, внутри- и межмолекулярными связями, аминокислотной последовательностью [20–21]. В молекуле коллагена три отдельные полипептидные цепи, богатые пролином и содержащие в каждом третьем положении глицин, закручены одна вокруг другой, образуя тройную спираль. Эти молекулы, в свою очередь, упаковываются в волокна, в которых соседние молекулы скреплены ковалентными сшивками между соседними лизинговыми остатками. Множество сшитых вместе стержнеобразных молекул коллагена образуют прочные нерастяжимые коллагеновые фибриллы, которые обладают прочностью на растяжение, сравнимой с прочностью стали [21]. Коллагеновая соединительная ткань состоит из волокон коллагеновых фибрилл, характеризующихся поперечно-исчерченной структурой. В сухожилиях фибриллы коллагена расположены в виде поперечно связанных параллельных пучков, обладающих очень высокой прочностью на разрыв и практически нерастяжимых. Фибриллы коллагена могут выдерживать нагрузку, вес которой, по меньшей мере, в 10 000 раз превышает их собственный вес [22]. Хотя коллаген традиционно используется в фармацевтической и медицинской промышленности, он также может найти широкое применение в качестве наполнителей для композитов.

Целью работы является исследование влияния биоактивного коллагенового продукта, полученного из органосодержащих отходов кожевенной промышленности, на прочность ПКМ.

В настоящее время имеется значительное количество способов получения биоактивных коллагеновых продуктов в виде наноразмерного порошка из органосодержащих отходов кожевенной промышленности. Разработано несколько способов получения из твердых органосодержащих отходов предприятий кожевенной промышленности больших объемов наноразмерного порошка по относительно низкой цене. Авторами данной статьи представлен способ получения коллагена из биологического материала, основанного на растворении сырья в уксусной кислоте и ацетоне [23]. Технология получения биополимера, в котором в качестве кислотного растворителя используется кисломолочная композиция, представляющая собой симбиоз кислототолерантных

прокариотических микроорганизмов с продуктами их метаболизма, и используется для снижения потерь белка и сохранения большего числа внутри и межмолекулярных связей в структуре коллагена. На технологию изготовления коллагена получен патент [24]. Готовый коллагеновый продукт представляет собой порошок, с размерами фракций до 1 мкм, коричневого цвета, хорошо растворимый в воде.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для проведения экспериментальных работ были изготовлены образцы из стеклоткани (марка Т-10 (92) ГОСТ 19170-2001). В качестве термореактивной матрицы была использована эпоксидно-диановая неотвержденная смола марки ЭД-20 ГОСТ 10587-84, в качестве отверждающего агента для эпоксидной смолы — полиэтиленполиамин ТУ 2413-357-0203447-99. Для равномерного распределения сухого коллагена (1 или 2%) в матрице была использована ультразвуковая ванна AG SONIC TC-150B с водой, нагретой до 45°C, представленная на рис. 1в. Ультразвуковая ванна позволяет снижать возникновение пузырьков воздуха, образующихся в процессе механического перемешивания, способствует равномерному распределению частиц. Замечено, что незначительное количество коллагена размерами до 1 мкм остается нерастворенным (рис. 1б). Разработано и изготовлено специальное устройство для изготовления препрега для образцов с нанодобавками (рис. 1д).

Технологический процесс изготовления образцов состоит из следующих операций. Армирующий наполнитель раскраивают на необходимые размеры, укладывают на нижнюю формовочную пластину (рис. 1д), поверхность формы покрывают гладкой полиэтиленовой пленкой, на нее выкладывают необходимое число слоев материала и между слоями наносят связующее с различной концентрацией коллагена (рис. 1а, б, г). Далее готовый пакет равномерно зажимают гидравлическим прессом (10 т) до упора и оставляют спрессованным на 170 ч при температуре 30°C. Полученный образец разрезают алмазным диском на полоски необходимых размеров.

Проведен анализ определения количественного состава частиц биополимера коллагена в матрице композита на растровом электронном микроскопе JSM-6510LVJEOL с системой микроанализа INCA, установленном в центре коллективного пользования «ПРОГРЕСС» ВСГУТУ (рис. 2). Исследовались срезы образцов размером 1×1 см после испытаний на растяжение, вырезанные с участков разрушения. Были рассмотрены срезы образцов с концентрацией коллагена 1%, 2%; контрольные образцы без коллагена (0%) со слоями [90]₂. Выявлено, что при добавлении 1% или 2% коллагена в ПКМ происходит увеличение количества химических элементов: углерода (С) — на 2,93%, кислорода (О) — на 1,61%, магния (Mg) — на 0,11%. Результаты исследования представлены в табл. 1.

Исследования поверхности матрицы с добавлением коллагена 1%, 2% и матрицы без добавления

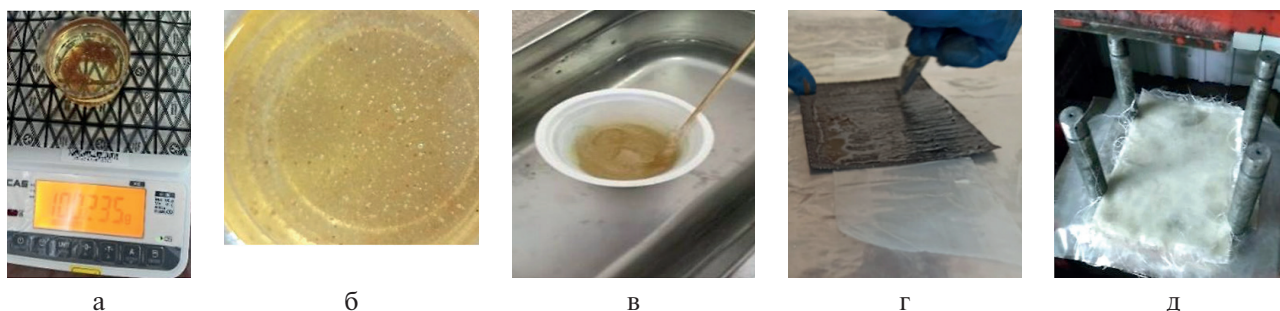


Рис. 1. Этапы изготовления ПКМ с добавками коллагена

Таблица 1

Среднее количество примесей в образцах, %

% содержания биополимера		С	О	Na	Mg	Si	P	S	Cl	K	Ca
100%	В биополимере	47,65	47,97	0,18	0,08	0,13	0,85	0,67	0,43	0,07	1,54
0%	В матрице	34,07	36,5	0,08	1,32	14,33	0,11	0,08	0,11	0,24	9,13
1%	В матрице	36,78	38,6	0,1	1,46	13,34	0,09	0,1	0,13	0,2	9,1
2%	В матрице	39,94	39,72	0,08	1,54	13,78	0,1	0,11	0,17	0,24	9,3

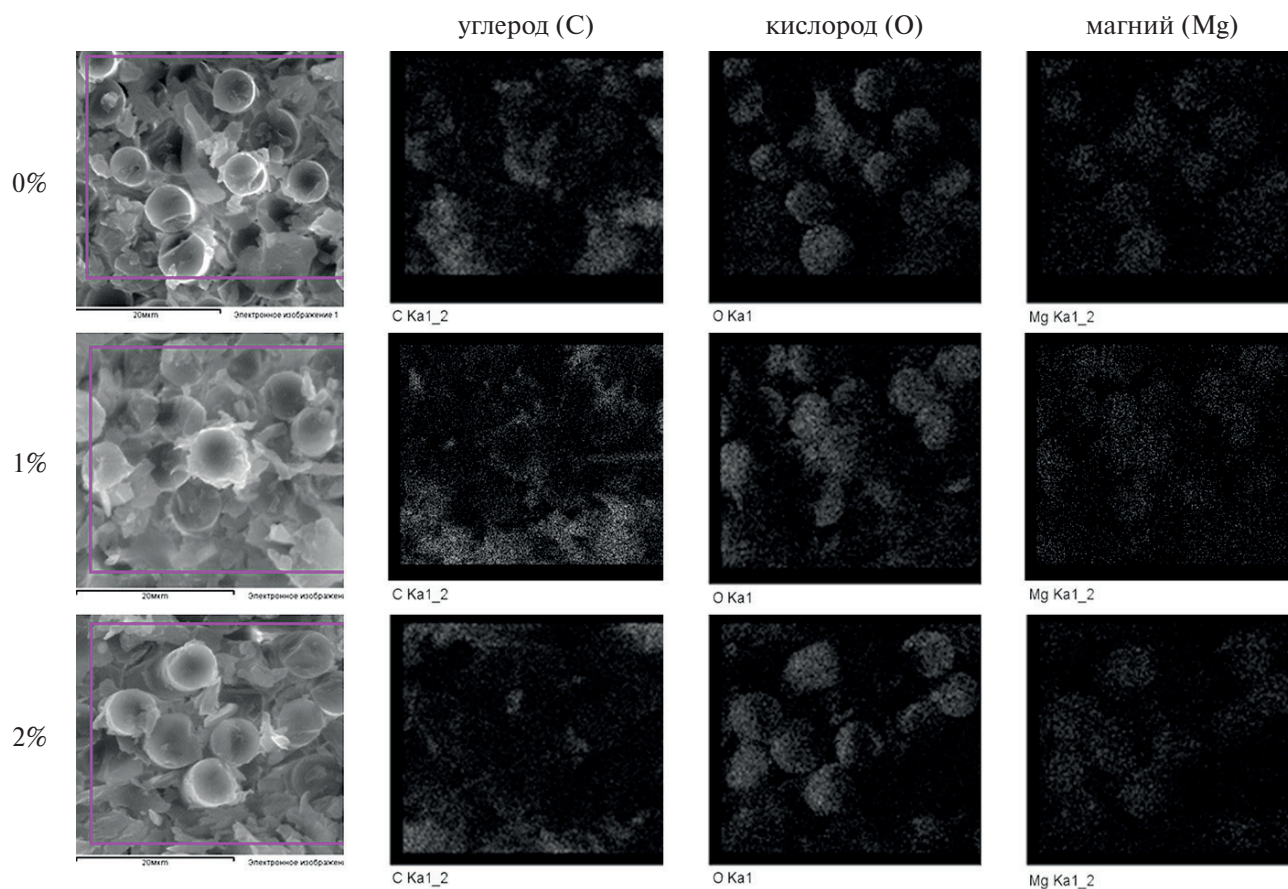


Рис. 2. Анализ определения количественного состава частиц биополимера коллагена в матрице композита

Процентное содержание коллагена	0% – контрольный образец	1%	2%
Поверхность КМ при увеличении			
Микропоры			
Площадь микропор, μm^2 %	187,269 14,03%	140,5 10,52%	91,93 6,89%

Рис. 3. Анализ поверхности КМ размером 38×34 микрометров (μm^2) при увеличении $\times 1500$

биодобавок (контрольные образцы) показали, что с добавлением коллагена увеличивается количество микропор (до $1 \mu\text{m}^2$), но при этом снижаются микропоры с размерами более $1 \mu\text{m}^2$ (рис. 3). Общая площадь микропор уменьшается в среднем на 3,57% при добавлении 1% порошка коллагена. На диаграмме рис. 4 видны площади микропор μm^2 и их количество в зависимости от процентного содержания коллагена.

В дисперсно-упрочненных материалах частицы служат барьером на пути движения трещины в матрице и упрочняют исходную связующую фазу. Напряжение концентрируется в области микронеоднородностей матрицы (микропоры, границы зерен, крупные неравноосные зерна), там и происходит быстрый рост трещин. При добавлении коллагена уменьшается

площадь микропор, что приводит к увеличению прочности матрицы. Так же во время продвижения трещины частицы коллагена служат барьером на ее пути: трещина либо огибает частицу, при этом увеличивается время роста трещины, либо в вершине трещины частицы коллагена деформируются, удлиняются и разрываются, при этом сопротивление развитию трещины повышается, поскольку ее берега перекрываются «мостиками связи» из коллагена (рис. 5).

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Проведены испытания на растяжение образцов из ПКМ с добавлением коллагена 1% и 2% с углами укладки слоев $[90]_2$, согласно ГОСТу 56785, (ASTM

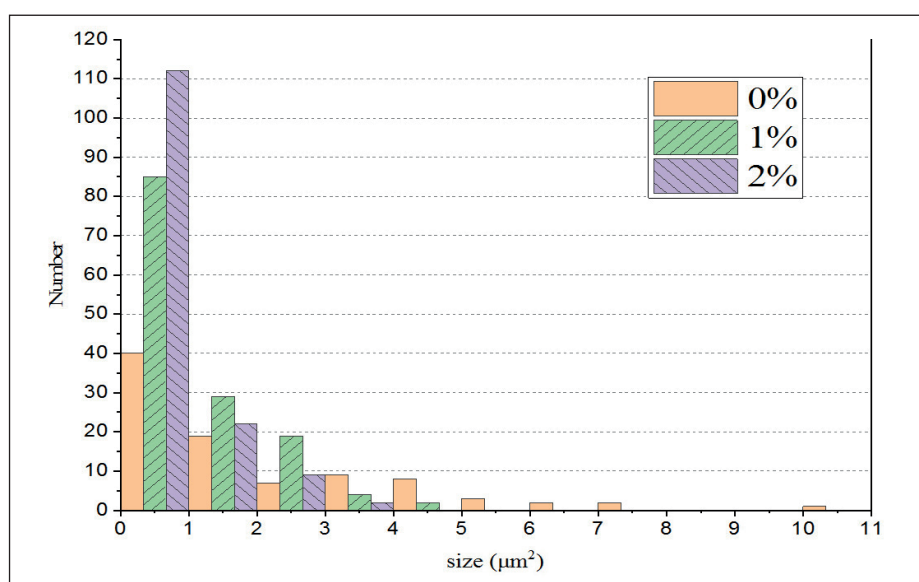


Рис. 4. Количество пустот различных размеров от процентного содержания коллагена

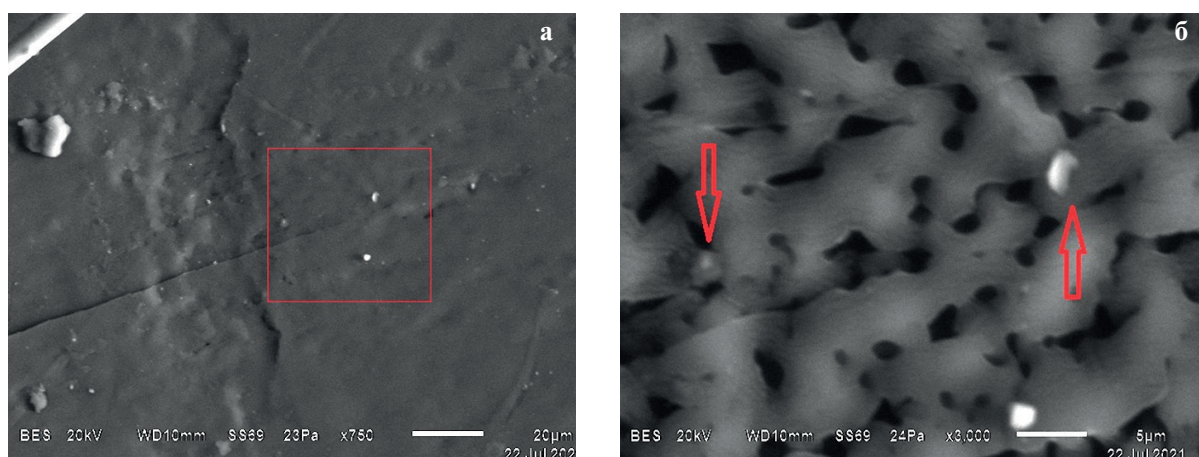


Рис. 5. Поверхность матрицы ПКМ: а – рост трещины на поверхности матрицы (2% содержания коллагена); б – коллаген на фронте трещины

D3039) «Метод испытания на растяжение плоских образцов». Было изготовлено 10 образцов из ПКМ с концентрацией коллагена 1%, 10 образцов – с концентрацией коллагена 2%, 10 контрольных образцов – без биодобавок. Испытания проводились на гидравлической машине ИР5092-5 мощностью

0,5 т (рис. 6). Сделаны фотографии плоских образцов до и после испытаний (рис. 6). Результаты испытаний представлены в табл. 2. На рис. 7 представлены диаграммы испытаний образцов с коллагеном, получена зависимость сжимающей силы от перемещения захватов. При добавлении 1% коллагена в ПКМ

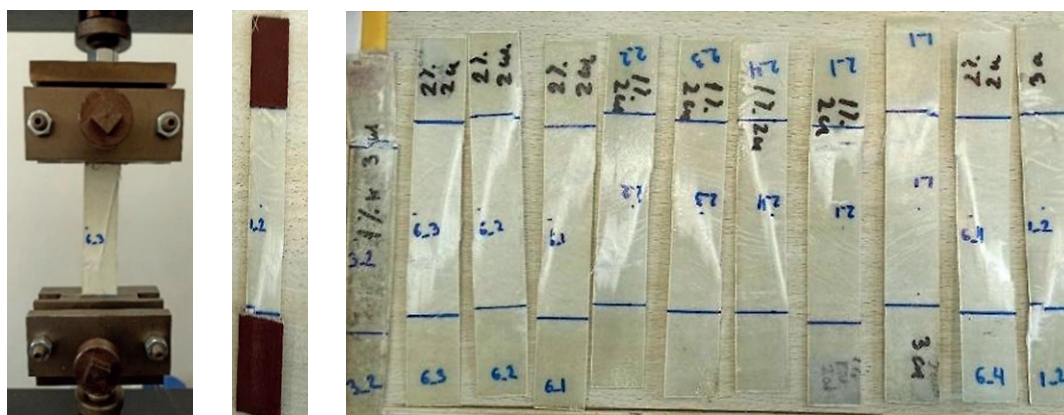


Рис. 6. Образцы после испытаний на растяжение

Таблица 2

Результаты испытаний на растяжение образцов из ПКМ

Название	0% Контрольный образец	1%	2%
$R_{max}, Н$	2900	3433,333	4066,667
$R_{раз}, Н$	1350	1950	1066,667
Длина раб. части уч. при разрыве, мм	94,206	94,184	94,635
Отн. удлинение при разрыве, %	4,673	4,649	5,151
Длина уч.при заданном напряжении, мм	0,653	0,579	0,686
Отн. удл. при заданном напряжении, %	0,726	0,643	0,762
Относительное упругое удлинение, %	–32,608	–32,690	–32,571

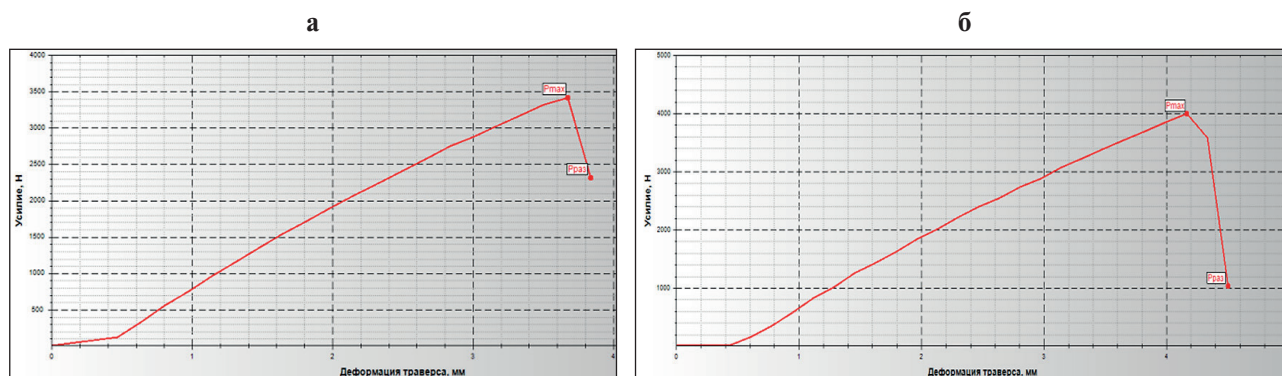


Рис. 7. Диаграммы растяжения образцов из ПКМ: а – диаграмма растяжения образца при добавлении 1% в матрицу; б – диаграмма растяжения образца при добавлении 2% в матрицу

образцы выдерживают нагрузку ($P_{\max}$ Н) на 15,57% больше, чем образцы без биодобавок.

ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработан принципиально новый способ получения биоактивного коллагенового продукта из твердых органосодержащих отходов предприятий кожевенной промышленности по относительно низкой цене. Установлено, что биоактивный коллагеновый продукт в виде порошка имеет низкую себестоимость и может применяться в качестве биодобавки в ПКМ. Проведенные исследования образцов из ПКМ при добавлении сухого порошка коллагена в эпоксидное связующее показали, что введение биодобавок при-

водит к изменению прочностных свойств материала. Анализ срезов образцов, проведенных на растровом электронном микроскопе JSM-6510LVJEOL, выявил изменение структуры ПКМ. При добавлении 1% или 2% коллагена в матрицу ПКМ происходит увеличение количества химических элементов: углерода (С) – на 2,93%, кислорода (О) – на 1,61%, магния (Mg) – на 0,11%. В ПКМ частицы коллагена служат барьером на пути движения трещины в матрице и упрочняют исходную связующую фазу. Результаты испытаний на растяжение показали, что при добавлении 1% коллагена в матрицу ПКМ несущая способность образцов увеличивается на 15,57%. Результаты, полученные в данной работе, могут привести к расширению областей применения коллагена.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Chawla K.K. Composite materials science and engineering. *Composites*. 1989, 20 (3). DOI: [10.1016/0010-4361\(89\)90346-7](https://doi.org/10.1016/0010-4361(89)90346-7).
2. Chajes M.J., Thomson T.A., Januszka T.F., and Finch W.W. Flexural strengthening of concrete beams using externally bonded composite materials. *Construction and Building Materials*. 1994; 8(3): 191–201. DOI: [10.1016/S0950-0618\(09\)90034-4](https://doi.org/10.1016/S0950-0618(09)90034-4).
3. Kustikova Y.O. Application FRP-rebar in the Manufacture of Reinforced Concrete Structures. *Procedia Engineering*. 2016; 153: 361–365. DOI: [10.1016/J.PROENG.2016.08.128](https://doi.org/10.1016/J.PROENG.2016.08.128).
4. Tinkov D.V., and Safonov A.A. Design optimization of truss bridge structures of composite materials. *Journal of Machinery Manufacture and Reliability*. 2017; 46(1): 46–52. DOI: [10.3103/S1052618817010149](https://doi.org/10.3103/S1052618817010149).
5. Fang H., Bai Y., Liu W., Qi Y. and Wang J. Connections and structural applications of fibre reinforced polymer composites for civil infrastructure in aggressive environments. *Composites Part B: Engineering*. 2019; 164: 129–143. DOI: [10.1016/J.COMPOSITESB.2018.11.047](https://doi.org/10.1016/J.COMPOSITESB.2018.11.047).
6. Pokrovskii A.M., Chermoshentseva A.S., Bokhoeva L.A. Evaluation of crack resistance of a compressed composite plate with initial delamination. *Journal of Machinery Manufacture and Reliability*. 2021; 50(5): 446–454.
7. Bonnaud L., Pascault J.P., Sautereau H., Zhao J.Q., and Jia D.M. Effect of reinforcing glass fibers on morphology and properties of thermoplastic modified epoxy-aromatic diamine matrix. *Polymer Composites*. 2004; 25(4). DOI: [10.1002/pc.20030](https://doi.org/10.1002/pc.20030).
8. Awang Ngah S., and Taylor A.C. Fracture behaviour of rubber- and silica nanoparticle-toughened glass fibre composites under static and fatigue loading. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. 2018, 109. DOI: [10.1016/j.compositesa.2018.02.028](https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2018.02.028).
9. Бохоева Л.А., Балданов А.Б., Рогов В.Е., Чермошенцева А.С., Амин Т. Влияние добавления нанопорошков на прочность многослойных композитных материалов // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2021. Т. 87, № 8. С. 42–50. DOI: <https://doi.org/10.26896/1028-6861-2021-87-8-42-50>
10. Chermoshentseva A.S., Pokrovskiy A.M., Bokhoeva L.A., Baldanov A.B., Rogov V.E. Influence of modification by nanodispersed powders on layered composite aerospace hulls and protective shields. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Novosibirsk, 2019. P. 012178.
11. Abdrakhmanova L.A., Khozin V.G., Nizamov R.K. Nanomodification of epoxy binders. *Nanotechnologies in Construction*. 2019; 11(6): 686–695. DOI: [10.15828/2075-8545-2019-11-6-686-695](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2019-11-6-686-695).
12. Manjunath M., Renukappa N.M., and Suresha B. Influence of micro and nanofillers on mechanical properties of pultruded unidirectional glass fiber reinforced epoxy composite systems. *Journal of Composite Materials*. 2016; 50(8). DOI: [10.1177/0021998315588623](https://doi.org/10.1177/0021998315588623).
13. Sprenger S. Improving mechanical properties of fiber-reinforced composites based on epoxy resins containing industrial surface-modified silica nanoparticles: Review and outlook. *Journal of Composite Materials*. 2015; 49(1): 53–63. DOI: [10.1177/0021998313514260](https://doi.org/10.1177/0021998313514260).

14. Uddin M. F., and Sun C. T. Strength of unidirectional glass/epoxy composite with silica nanoparticle-enhanced matrix. *Composites Science and Technology*. 2008; 68(7–8). DOI: [10.1016/j.compscitech.2008.02.026](https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2008.02.026).
15. Vaganova T.A., Brusentseva T.A., Filippov A.A., and Malykhin E.V. Synthesis and characterization of epoxy-anhydride polymers modified by polyfluoroaromaticoligoimides. *Journal of Polymer Research*. 2014; 21(11). DOI: [10.1007/s10965-014-0588-z](https://doi.org/10.1007/s10965-014-0588-z).
16. Sprenger S. Improving mechanical properties of fiber-reinforced composites based on epoxy resins containing industrial surface-modified silica nanoparticles: Review and outlook. *Journal of Composite Materials*. 2015; 49(1). DOI: [10.1177/0021998313514260](https://doi.org/10.1177/0021998313514260).
17. Metal oxides account for 80% of the nanopowder market. Available at: <http://www.abercade.ru/research/analysis/3974.html>. [Accessed 01 December 2010].
18. Lotfi A., Li H., Dao D.V., Prusty G. Natural fiber–reinforced composites: A review on material, manufacturing, and machinability. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*. 2021; 34(2). DOI: [10.1177/0892705719844546](https://doi.org/10.1177/0892705719844546).
19. Zhao X. et al. Applications of Biocompatible Scaffold Materials in Stem Cell-Based Cartilage Tissue Engineering. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*. 2021; 9. DOI: [10.3389/fbioe.2021.603444](https://doi.org/10.3389/fbioe.2021.603444).
20. Silvipriya K.S., Krishna Kumar K., Bhat A.R., Dinesh Kumar B., John A., Lakshmanan P. Collagen: Animal sources and biomedical application. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*. 2015; 5(3). DOI: [10.7324/JAPS.2015.50322](https://doi.org/10.7324/JAPS.2015.50322).
21. Trempe J.P. Molecular biology of the cell. 3rd edition. *Trends in Endocrinology & Metabolism*. 1995; 6(9–10). DOI: [10.1016/1043-2760\(95\)90011-x](https://doi.org/10.1016/1043-2760(95)90011-x).
22. Minihan S. Principles of biochemistry. *Biochemical Education*. 1983; 11(1). DOI: [10.1016/0307-4412\(83\)90020-1](https://doi.org/10.1016/0307-4412(83)90020-1).
23. Патент РФ 2715639, МПК C14C 1/00, A23J 1/10, C07K 14/78. Способ получения биоактивного коллагенового продукта / Шалбуев Д.В., Тумурова Т.Б.; заявитель и патентообладатель ООО МИП «ЭКОМ». № 2019121295, 04.07.2019; опубл. 02.03. 2020. Бюл. № 7. 6 с.
24. Патент РФ 2322249, МПК A61K35/32, A61K35/36, A61K38/39. Способ получения коллагена из биологического материала / Анфимов П.Е., Краснова Н.С.; заявитель и патентообладатель «Нижегородский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии Федерального агентства по здравоохранению и социальному развитию». № 2006138769/15; заявл. 02.11.2006; опубл. 20.04.2008. Бюл. № 11. 2 с.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Балданов Алдар Батомункуевич – ст. преп. кафедры «Информационные технологии и прикладная механика» строительного факультета Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления, Улан-Удэ, Россия, aldarbaldanov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7655-215X>

Бохоева Любовь Александровна – д-р техн. наук, профессор, зав. кафедры «Информационные технологии и прикладная механика» строительного факультета Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления, Улан-Удэ, Россия, bohoeva@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6986-4307>

Шалбуев Дмитрий Валерьевич – д-р техн. наук, профессор, проректор по науке и инновациям Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления, Улан-Удэ, Россия, shalbuevd@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0077-9977>

Тумурова Туяна Булатовна – инженер ЦКП «ПРОГРЕСС» Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления, Улан-Удэ, Россия, tumurova_t@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2371-5549>

ВКЛАД АВТОРОВ

Балданов А.Б. – концепция исследования, обработка материала, доработка текста;

Бохоева Л.А. – научное редактирование текста, итоговые выводы;

Шалбуев Д.В. – научное руководство, научное редактирование текста;

Тумурова Т.Б. – анализ данных, сбор материала.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 16.02.2022; одобрена после рецензирования 22.03.2022; принята к публикации 25.03.2022.