

ВЛИЯНИЕ МИКРОЧАСТИЦ КВАРЦЕВОГО ПЕСКА РАЗЛИЧНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЭПОКСИДНОГО КОМПОЗИТА ДЛЯ РЕСТАВРАЦИОННЫХ, СТРОИТЕЛЬНЫХ И ДЕКОРАТИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Дмитрий Старокадомский¹, Мария Решетник²,



¹ Экспериментально-технологический отдел конструкционных материалов № 13
Институт химии поверхности им. акад. А. А. Чуйко Национальной Академии Наук
Украина, 03164, г. Киев, ул. Генерала Наумова, 17

² Национальный Научно-Природоведческий Музей НАН,
Украина, 01001, г. Киев, ул. Б. Хмельницкого, 1

INFLUENCE OF MESO AND MICROPARTICLES OF QUARTZ SAND OF DIFFERENT ORIGIN ON THE PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF THE EPOXY COMPOSITE FOR CONSTRUCTION AND DECORATIVE MATERIALS

Dmitro Starokadomsky¹, Maria Reshetnyk²

¹ Chuyko Institute of Surface Chemistry,
National Academy of Sciences of Ukraine,
Generala Naumova str., 17, Kyiv, Ukraine, 03164,

² National Natural History Museum of the National Academy of Sciences of Ukraine,
B. Khmelnytsky str., 1, Kyiv, Ukraine, 01001

Аннотация. Работа посвящена актуальной теме получения удешевлённых эпоксидных материалов с высоким содержанием природного и строительного песка. В случае оптимизации рецептуры, есть возможность получения ценно-конкурентных многотоннажных композитов, причём с сохранением исходных эксплуатационных свойств или даже их улучшением.

Цель работы – научно-практическое изучение влияния песка на прочность и химстойкость полимер-композитов. Для достоверности эксперимента, взяты три типа песка, различающихся дисперсностью и происхождением; они наполняли стандартный эпоксидный состав типа ЭД20+ПЭПА.

Установлен ряд практически важных свойств композиционных материалов на основе эпоксидной смолы и песков различного типа и дисперсности (50 мас%). Показано что при незначительном снижении прочности при сжатии. Наполнение способствует росту стойкости к истиранию и к набуханию в агрессивных средах. При этом образуются эстетичные удешевлённые (относительно стоимости ненаполненных полиэпоксидов) материалы с очевидной перспективой практического применения

Перспективы внедрения данных результатов довольно широки, поскольку охватывают как многотоннажные строительно-ремонтные, инновационные отрасли, а также развитые сейчас мелкоремонтные сегменты (автосервис, музейная реставрация) и хандмейд. Вместе с тем, данная работа только приоткрывает эти перспективы и может стать базой для дальнейшего научного-практического поиска.

Abstract. The work is devoted to the urgent topic of obtaining cheapened epoxy materials with a high content of natural and building sand. In the case of optimization of the formulation, it is possible to obtain valuable competitive multi-tonnage composites, moreover, while maintaining the original performance properties or even improving them.

The purpose of the work is a scientific and practical study of the effect of sand on the strength and chemical resistance of polymer composites. For the reliability of the experiment, three types of sand are taken, differing by dispersity and origin; they filled the standard epoxy type ED20 + PEPA.

A number of practically important properties of composite materials based on epoxy resin and sand of various types and dispersions (50 wt%) have been established. It is shown that with a slight decrease in compressive strength. Filling contributes to an increase in abrasion and swelling resistance in aggressive environments. In this case, aesthetic

cheapened materials are formed (relative to the cost of unfilled polyepoxides) materials with an obvious prospect of practical application

The prospects for the implementation of these results are quite wide, since they cover both large-tonnage construction and repair, innovative industries, as well as small repair segments that are now developed (car service, museum restoration) and handmade. At the same time, this work only opens up these prospects and can become the basis for further scientific and practical research.

Ключевые слова: эпоксидный композит (ЭК), песок, прочность при сжатии, стойкость к истиранию, набухание в строительстве и других многотоннажных отраслях.

Keywords. epoxy composite, sand, compressive strength, abrasion resistance, swelling in construction and other large-tonnage industries.

Введение

Со времен открытия эпоксидной смолы великим русским химиком Дианиным [1], и особенно с момента промышленного использования эпоксисмол, предпринимаются неослабевающие попытки смешивать эту смолу с дешёвыми наполнителями [1-16]. Чему способствует и способность эпоксидной смолы отлично совмещаться почти со всеми дисперсными порошками.

Мезо- и макронаполнители (кварцевый/стеклянный песок, лужга, опилки, полимерные порошки, шламы, стружки) - прикладное, но крайне востребованное направление материаловедения [1-17]. Это объясняется доступностью данных добавок (карьеры, отходы производства и др.). Песок различной дисперсности и чистоты по праву можно считать основным наполнителем композитов, особенно если учесть его объёмы потребления в строительстве. Фактически песок - это кварцевые искажённые микро- и мезосферы, хорошо встраиваемые в большинство полимеризующихся матриц, с существенной экономией объёма и массы связующего.

Полимерные составы с разнодисперсным песком и кварцем [1-9], силикатами и промотходами [9-18] - используются для строительного-дорожных, промышленных и авиакосмических отраслей, а также повсеместно в кустарном производстве - хендмейде, реставрации и ремонте. В России и СНГ эти научно-практические направления разрабатывают и публикуют Аношкин [5], Гаврилов [11], Мостовой и др [16-17], Чеботарёва и др [10], Сорокин и др [18], Старокадомский [7-8,15], Данченко [12].

В прикладной и коммерческой литературе, а также в Интернете немало заметок и рекомендаций по созданию и использованию эпоксидно-песочных систем, в основном для наливных полов и столешниц [1-4]. Есть такая информация в научно-популярной [1, 5] и научной литературе [6-18]. Главная цель наполнения эпоксидных и других полимеркомпозитов песком - удешевление и придание некоторых свойств, иногда даже в ущерб остальным.

Материалы и методы исследования

Использовали 4 типа песка, различной дисперсности и происхождения:

1) «Заводской». Песок промышленный заводской, производства ЧП Старк (stark.ua). Отличается красивым жёлтым цветом и сравнительно монодисперсен (средний размер частиц P в пределах 100 ± 50 мкм).

2) «Карьерный» Песок карьерный строительный (нижний пласт Остёрского промкарьера). Мелкодисперсный (P в пределах 50 ± 30 мкм).

3) «Донный». Песок донный речной (с проточной отмели реки Десна). Крупнодисперсный (P в пределах 200 ± 100 мкм), за счёт обилия включений разных пород имеет серый цвет.

4) Микрокварц маршалит (производство Харьков), для сравнения.

We used 4 types of sand, different fineness and origin:

1) "Factory" (F). Industrial industrial sand, produced by PE Stark (stark.ua). It is distinguished by a beautiful yellow color and relatively monodisperse (average particle size P within 100 ± 50 microns).

2) "Quarry" (Q) quarry construction sand (lower layer of the Ostersky industrial quarry). Finely dispersed (P within 50 ± 30 microns).

3) "Bottom" (B). Bottom river sand (from the flowing bank of the Desna River). Coarsely dispersed (P within 200 ± 100 microns), due to the abundance of inclusions of different rocks, it has a gray color.

4) Microquartz marshalite (made in Kharkov), for comparison.

Использование таких типов кварцевого песка дает хорошую информацию о возможном влиянии дисперсности на свойства эпоксидного композита (ЭК). Кроме того, с точки зрения промышленности и декора важно знать, как могут различаться полимеркомпозиты при наполнении различными песками.

Композиции замешивали так: в смолу добавляли песок, перемешивали, и затем вводили отвердитель. Схема получения композиций представлена рисунком 1.



Рис.1. Схема получения наполненных композиций и полимеркомпозигов из них.

Использованы элементы графики из работы Мостового с соавт. [19].

Fig.1. Schema of composites obtaining (graphical elements from [19] were used).

Проведены следующие тесты полученных композитов.

А) Сжатие (*Compression strength*) - ГОСТ 4651-2014 (ISO 604:2002), на испытательной пресс-машине L.Shopper.. Испытаниям на сжатие подвергали цилиндрические образцы диаметром 6,5 мм и высотой $11 \pm 0,5$ мм, изготовленные при 25 °С и термообработанные при 50-60 °С. Трудностью изготовления образцов тут стало оседание тяжёлого песка наполнителя на нижнюю поверхность кубической формы, что создавало сильную неоднородность распределения наполнителя. Для избежания этого, разлив по формам осуществлялся не сразу, а после начала загустевания композиции после прибавления отвердителя.

Б) Для испытаний на изгиб (*flexural strength*), ГОСТ 56810-2015, изготавливались пластинки размером $6 \times 1 \times 0,2$ см. Их излом при изгибе осуществлялся на базе $L = 3$ см испытательной изгибной машины ДИ-1. По итогам испытаний рассчитана прочность i ($i = 3PL \sqrt{2h2b}$, P- полученная нагрузка в кгс в масштабе 1 см=1 мм, L – длина базы излома равная 30 мм, h – толщина 2 мм, b – ширина образца равная 10 мм) и модуль упругости при изгибе I ($I = PL^3 \sqrt{4bh3W}$, где W – перемещение в масштабе 1 см=20 мкм).

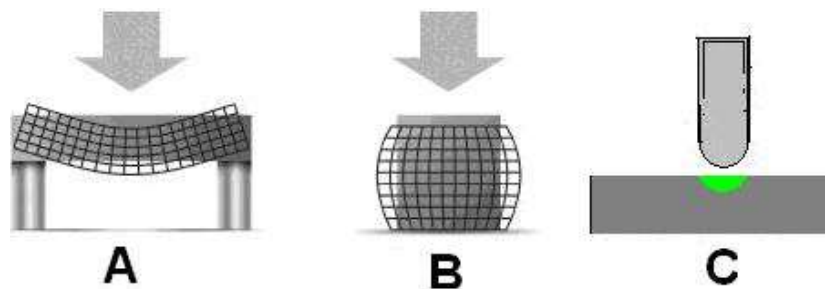


Рис.2. Вид тестов испытаний: А – на изгиб, В – на сжатие, С - микротвердость.

Fig. 2. Type of test tests: A - for bending, B - for compression, C - microhardness.

Истирание (*wear*) X композитов измеряли по изменению массы образца после протирания образца наждачной бумагой P180, 100-кратным циклеванием при диаметре циклеваемого пути 5 см.

Стойкость к истиранию T (*resistance to wear T*) рассчитывали по предлагаемой эмпирической формуле

$$T = \frac{\rho}{X \cdot \rho_0}, \quad (1)$$

где $\frac{\rho}{\rho_0}$ – соотношение плотностей наполненного и ненаполненного полимеров,

X – величина истирания).

При испытаниях стойкости в жидкостях, линзовидные таблетки помещали в смесь ацетон:этилацетат или 20% азотную кислоту. Изменение массы фиксировали гравиметрически в % увеличения веса. При этом время до перехода во вспененное состояние (в азотной кислоте) принималось как «время жизни» образца.

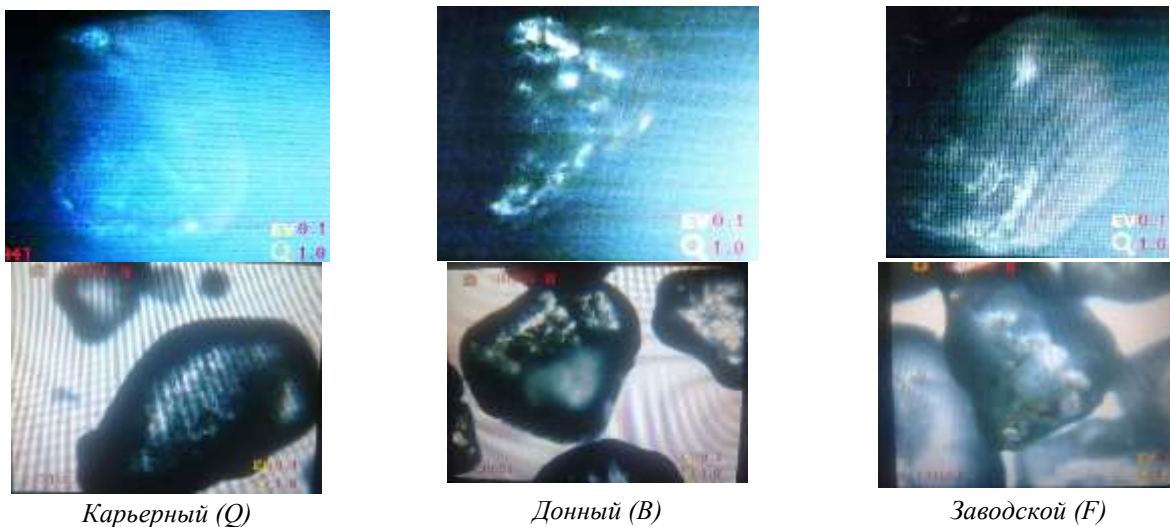


Рис.3. Визуальные данные наполнителей и композиций с ними
 Fig. 3. Visual data of fillers and compositions with them

Визуально, композиты различаются оттенками цвета, причём при малых толщинах они полупрозрачны (рис.3).

Результаты и их обсуждение

Из рис.4 видно, что средний размер частиц песков составляет 0,3-1 мм. По виду это силикатные искажённые микро- и мезосферы. Из рис.5 можно видеть, что карьерный и донный песок могут содержать негладкие частицы (очевидно включения минералов). Наибольшим размером и однородностью обладают частицы Заводского песка, очевидно из-за применения к ним фильтрации/просеивания. (Particles of Factory sand have the largest size and homogeneity, obviously due to the application of filtration / sieving to them). В меньшей мере, но однороден и Донный песок, что можно объяснить его самофильтрацией. Наибольшей разнородностью характеризуется Карьерный песок (рис.5), что вполне логично (нет никакой фильтрации). (The greatest heterogeneity is characteristic of quarry sand (Fig. 5), which is quite logical (there is no filtration).



Карьерный (Q)

Донный (B)

Заводской (F)

Рис.4. Микроскопия наполнителей и композиций с ними. Увеличение в 100 раз
 (длина экрана равна 700 мкм).

Fig. 4. Microscopy of fillers and compositions with them. 100 times magnification
 (at screen length = 700 microns).





Карьерный (Q), ×40



Донный (F), ×40



Заводской (F), ×40

Рис.5. Микроскопия песков-наполнителей. Увеличение в 40 раз (длина экрана равна 700 мкм).

Fig. 5. Microscopy of fillers, ×40 (at screen length = 700 microns).

Возможности песков для увеличения рабочего объёма полимеризующейся композиции хорошо видны из таб.1.

Таблица 1.

Сравнительный объём (к 10 мл наполняемой эпоксидной смолы, взятой за 1) композиции при разных процентах наполнения песком и микрокварцем.

Table 1.

Volume of composition at various filling by sand.

	Процент наполнения (в скобках – соотношение смола : песок) .						
	0% (<i>neat</i>)	10 мас% (9:1)	25 мас% (3:1)	50 мас% (1:1)	66 мас% (1:2)	75 мас% (1:3)	80 мас% (1:4)
Донный (B)	1	1,1	1,2	1,5	2	2,5	3
Карьерный (Q)	1	1,1	1,2	1,4	1,9	2,4	2,8
Заводской (F)	1	1,1	1,2	1,4	1,9	2,4	2,9
Микрокварц	1	1,1	1,1	1,3	1,7	2,0	2,2

Как видим из таб.2, после наполнения прочность при сжатии снижается ощутимо. Наименее подвержен снижению прочности композит с самым мелкодисперсным песком (карьерным, таб.2), а самый грубодисперсный (донный) даёт самый низкий показатель нагрузки сжатия. (*The least susceptible to a decrease in strength is the composite with the finest sand (quarry, table 2), and the coarsest (bottom) gives the lowest compression load.*)

Та же картина – при испытаниях на изгиб. Эти результаты не подтверждают предположения о структуризации эпоксиполимера мезо-микро-дисперсным кварцем – что вполне ожидаемо из-за сравнительно большого размера его частиц. В то же время введение песка должно дать эффект при оценке истирания (поскольку песок – абразивный материал). Действительно, после наполнения стойкость к истиранию возрастает заметно – в 1,5–1,7 раза (таб.2), что важно в строительстве и индустрии наливных полов. (*Indeed, after filling, the abrasion resistance increases noticeably - by 1.5–1.7 times (Table 2), which is important in the construction and self-leveling floors industry.*)

Таблица 2.

Механические показатели композитных образцов.

Table 2.

Mechanical indicators of composite samples.

	Сжатие (compression), нагрузка на кубик 1*1*1,5 см, МПа	Сжатие С, нагрузка на столбик d=7,5 и высотой h=12 ⁺¹ мм, кгс	Модуль (Modulus) упругости при сжатии, 10 ³ кгс\см ²
Н (0%)	125 (100%)	275 ⁴⁶⁰	12,5
Заводской (F)	100 (80%)	290	12,8
Донный (B)	97 (78%)	250	12,8
Карьерный (Q)	106 (85%)	265	13,7
Микрокварц		260	
Масса (<i>Weight</i>) цилиндр.образца d=6.5 mm, h=12 mm			
Н (0%, neat)	Заводской (F)	Донный (B)	Карьерный (Q)
40	58	55	56
Изгиб, прочность <i>Flexural strength</i> (кгс\мм ² , оценочно)		Истирание - мг и мм (<i>Wear – mg & mm</i>)	Стойкость Т к истиранию (<i>resistance to wear</i>)
Н (0%)	12	8 мг и 2.1 мм	0,19
Заводской (F)	7	3 мг и 0.8 мм	0,5
Донный (B)	-	3 мг и 0.9 мм	0,5
Карьерный (Q)	9	2 мг и 0.7 мм	0,75
Микротвёрдость (Н), при погружении полусферы 10 мкм (оценочно) <i>Microhardness (N), at immersion on 10 mcm</i>		При погружении 20 мкм <i>20 mcm</i>	При погружении 40 и 50 мкм <i>50 mcm</i>
Н (0%)	100	200	400 и 450
Заводской (F)	200	300	500 (Деструктурирует)
Донный (B)	200	300	500 и 550
Карьерный (Q)	200	400	500 и 600
Micro-quartz	300	400	500
Микротвёрдость (%) при погружении иглы прибора Durometer		Сопротивление удару (ударная вязкость, кгс), при	

		падении с угла 90° молота копра маятникового	
Н (0%)	76	Н (0%)	13
Заводской (F)	90	Заводской	15
Донный (B)	81	Донный	14
Карьерный (Q)	85	Карьерный	19

	Н (0%)
	Заводской
	Донный
	Карьерный



Рис. 6. Вид образцов, разрушенных тестом при сжатии кубического образца (на сколах наполненных композитов видны диагонали Чернова-Людерса).
 Fig. 6. View of samples destroyed by dough during compression of a cubic sample (Chernov-Luders diagonals are visible on the chips of filled composites)

Сжатие приводит к деструкции наполненных композитов по продольным и диагональным (линии Чернова-Людерса) линиям. Это отличает их от ненаполненного полимера, разрушающегося в основном пластично, с растрескиванием на мелкие фрагменты на финальной стадии (рис.6).

(*Compression leads to destruction of the filled composites along the longitudinal and diagonal (Chernov-Luders lines) lines. This distinguishes them from unfilled polymer, which breaks down mainly plastically, with cracking into small fragments at the final stage (Fig. 6)).

Влияние песка на стойкость ЭК в агрессивных средах также иногда зависит от типа песка. В целом, наполнение даёт рост стойкости к набуханию в ацетоне. (*In general, the filling results in increased resistance to swelling in acetone). В отдельных случаях (карьерный песок, таб. 3) наблюдается и рост стойкости к деструкции.

Таблица 3.

Набухание и стойкость в ацетоне композитов: ненаполненного и с 50 мас% песка различного типа

Table 3.

Swelling and resistance in acetone of composites: unfilled and with 50 wt% sand of various types

Суток	Ненаполненный	Карьерный	Донный	Заводской
0,17	12,7	10,0	5,4	4,0
1	25,9	14,2	7,4	5,1
3	Распался	26,5	распался	распался
9	-	26,5	-	-

Из таб.3 и рис.5 видно, что наполнение песком даёт снижение активности набухания на начальных стадиях. В отдельных случаях (карьерный песок, таб.1) наполнение даже полностью устраняет деструкцию образца, неизбежную для ненаполненных и многих наполненных эпоксидами.

(*In some cases (quarry sand, table 1), filling even completely eliminates the destruction of the sample, which is inevitable for unfilled and many filled epoxies).

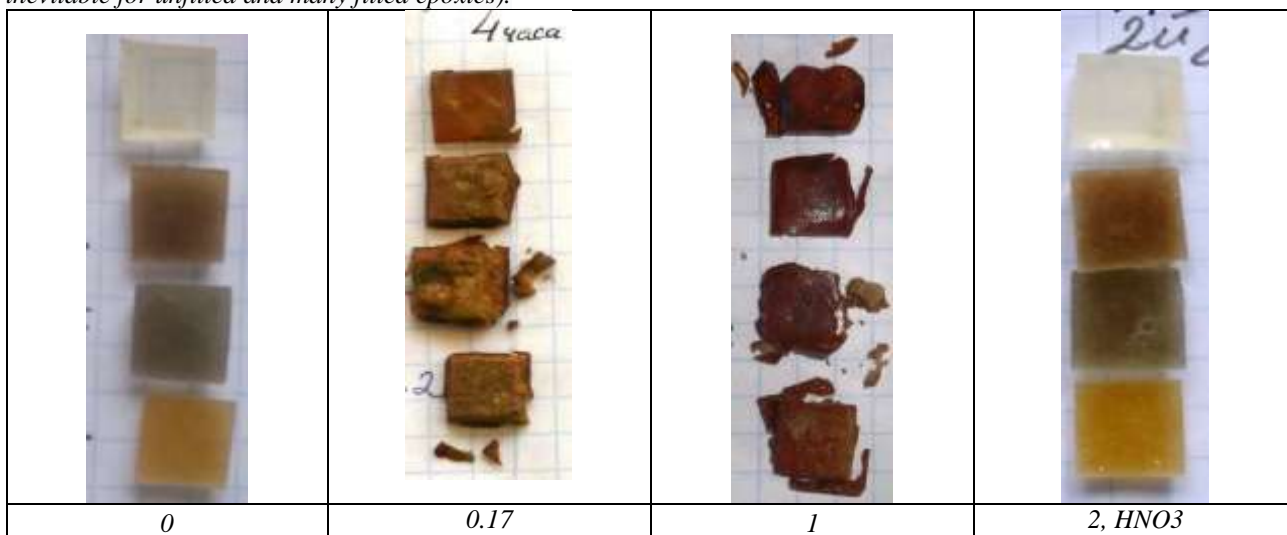


Рис.5. Вид композитов с 50 мас% песков: исходные композиты (0) ; после 0.17-1 дня выдержки в ацетоне, и после 2 дней в 20-й HNO₃.

Fig. 5. Type of composites with 50 wt% of sands: initial (0) ; after 0.17 & 1 day of exposure in acetone, nad 2 days in 20% HNO₃.

Таблица 4.

Набухание в 20%-й азотной кислоте.

Table 4.

Swelling in 20% nitric acid.

	Н	Карьерный	Донный	Заводской
0	0,0	0,0	0,0	0,0
1	2,2	0,8	1,7	0,8
2	2,2	0,8	1,7	0,8
9	2,7	3,0	3,4	2,2
14	4,8	5,0	4,2	2,2
37	6,4	10,0	10,2	6,4

В азотной кислоте, влияние песка зависит от его типа и дисперсности, однако стабильных закономерностей не видно (таб.4). Можно сказать лишь, что подобным наполнением иногда удаётся усилить стойкость к набуханию в кислоте.

Заключение

1. На примере кварцевых песков видно, что образуются эстетичные (красивые), высокотвёрдые, высокомодульные и очень стойкие к истиранию, - но менее прочные в плане сжатия и изгиба композиты.

2. Наполнение песком в ряде случаев способно усилить стойкость композитов к агрессивным воздействиям – в частности к ацетону и азотной кислоте.

3. Данные материалы могут с успехом применяться в индустрии наливных полов и отраслях потребляющих большие объёмы удешевлённых полимерных компаундов. Они также могут быть использованы как композиты для реставрации музейных и архивных материалов.

CONCLUSION

1. On the example of quartz sands it can be seen that aesthetic (beautiful), highly hard, high modulus and very abrasion resistant composites are formed - but less strong in terms of compression and bending composites.

2. Filling with sand in some cases can enhance the resistance of composites to aggressive influences - in particular, to acetone and nitric acid.

3. These materials can be successfully used in the self-leveling flooring industry and industries that consume large volumes of cheaper polymer compounds. They can also be used as composites for the restoration of museum and archival materials.

ЛИТЕРАТУРА

1. Д.Старокадомский. Длинный век эпоксидки. // Наука и Жизнь, 2018. №1. - <https://www.nkj.ru/archive/1030/32960/>.
2. Полимерная композиция для гидроизоляции тротуаров мостов «Силол - тротуар». - <https://formasil.com.ua/p1019567951-polimernaya-kompozitsiya-dlya.html>
3. Эпоксидная смола и кварцевый песок. Сайт компании КОЛОЛИТ Наливные Полы. - <https://skololit.ru/articles/epoksidnye-poly/epoksidnaya-smola-i-kvartsevyu-pesok/>
4. Сверхпрочные полы с цветным кварцевым песком. Доступно на сайте: <https://polymerbeton.uaprom.net/p246462242-sverhprochnye-poly-tsvetnym.html>
5. Аношкин В.С. Физико-механические свойства биостойких полимерных композитов, наполненных кварцевым песком / Огарёв-Online. 2015. №18 (59). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/fiziko-mehanicheskie-svoystva-biostoykih-polimernih-kompozitov-napolnennyh-kvartsevym-peskom>.
6. T.Ahmad, O.Mamat, R.Ahmad. Studying the Effects of Adding Silica Sand Nanoparticles on Epoxy Based Composites. 2013. Journal of Nanoparticles - Nano/Microstructured Materials: Rapid, Low-Cost, and Eco-Friendly Synthesis Methods (Special issue) <https://doi.org/10.1155/2013/603069>
7. DL Starokadomsky. Some features of swelling of photopolymer composites with different contents of highly dispersed silica // Plastic.Massy (Пластические Массы), 2008, №7, pp.33-36
8. D.Starokadomsky, D.Rassokhin, M.Reshetnyk, L.Kokhtych. Effect of sand particles on strength and resistance of epoxy-polymer composite materials. GLOBUS. 2020. №8(54). P.26-30.
9. Lee E.J., Lee J.H., Lim K.H. Hybrid waterproofing polymer-modified asphalt filled with carbon fiber and inorganic materials // Polymer (Korea). 2020. DOI:10.7317/pk.2020.44.1.1.
10. Чеботарева Е.Г., Огрель Л.Ю. Композиты на основе модифицированных эпоксидных олигомеров с высокими эксплуатационными характеристиками // Фундаментальные исследования. 2007. № 12 (часть 2). С. 339-340.
11. Гаврилов М.А. Особо плотные эпоксидные композиты на основе отходов производства. - Пенза: ПГУАС, 2014. – 132 с.
12. Danchenko Y., Andronov V., Barabash E. и др. Research of the intramolecular interactions and structure in epoxyamine composites with dispersed oxides / Eastern European Journal of Enterprise Technologies. 2017. 6 (12). 4-12. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.118565>
13. Ary Subagia, I. D. G., Tijng, L. D., Kim, Y. и др. Mechanical performance of multiscale basalt fiber-epoxy laminates containing tourmaline micro/nano particles / Composites (B:Engineering). 2014. Vol.58. 611-617. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2013.10.034>
14. Kim D., Mittal G., Kim M., Kim S., YopRhee K.. Surface modification of MMT and its effect on fatigue and fracture behavior of basalt/epoxy based composites in a seawater environment. (2019) Applied Surface Science. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2018.12.127>
15. ДЛ Старокадомский. Физико-механические свойства и микро-наноструктура эпоксидных композитов, наполненных гипсом, мелом и цементом // Композиты и Наноструктуры. 2018. №10 (1(37)), С.39-51.
16. Mostovoy, A.S., Nurtazina, A.S., Burmistrov, I.N., Kadykova, Y.A. Effect of Finely Dispersed Chromite on the Physicochemical and Mechanical Properties of Modified Epoxy Composites. *Russ.J.Appl.Chem.* **2018**, *91*, 1758–1766. <https://doi.org/10.1134/S1070427218110046>.
17. Mostovoi, A.S., Kurbatova E.A. Controlling the Properties of Epoxy Composites Filled with Brick Dust. *Russ. J. Appl. Chem.* 2017, *90*(2), 267-276. <https://doi.org/10.1134/S1070427217020173>
18. Сорокин В.В., Шарапов О.Н., Шунькин Н.М., Кирюшина Н.Ю. Новые полимерные композиты на основе эпоксидной смолы, наполненной техногенными отходами. // Вестник БГТУ им.В.Г.Шухова. 2019, №6. - С.8-13.
19. A.Mostovoy, A.Yakovlev, V.Tseluikin, M.Lopukhova. Epoxy nanocomposites reinforced with functionalized Carbon Nanotubes. // *Polymers*, 2020, N.12, P.1816-1821, doi:10.3390/polym12081816.

REFERENCES

1. D.Starokadomsky. Long life of epoxies. *Nauka I Zhizn (Science&Life, in Russ.)* 2018. N1 - <https://www.nkj.ru/archive/1030/32960/>.
2. Polymer composition for waterproofing sidewalks of bridges "Silol - sidewalk". - <https://formasil.com.ua/p1019567951-polimernaya-kompozitsiya-dlya.html>
3. Epoxy resin and quartz sand. KOLOLIT company website Self-leveling floors. - <https://skololit.ru/articles/epoksidnye-poly/epoksidnaya-smola-i-kvartsevyu-pesok/>
4. Heavy-duty colored quartz sand floors. Available on the website: <https://polymerbeton.uaprom.net/p246462242-sverhprochnye-poly-tsvetnym.html>
5. Anoshkin V. S. Physical and mechanical properties of biostable polymer composites filled with quartz sand / Ogaryov-Online. 2015. №18 (59). [in Russian] URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/fiziko-mehanicheskie-svoystva-biostoykih-polimernih-kompozitov-napolnennyh-kvartsevym-peskom>.

6. T.Ahmad, O.Mamat, R.Ahmad. Studying the Effects of Adding Silica Sand Nanoparticles on Epoxy Based Composites. 2013. Journal of Nanoparticles - Nano/Microstructured Materials: Rapid, Low-Cost, and Eco-Friendly Synthesis Methods (Special issue) <https://doi.org/10.1155/2013/603069>
7. DL Starokadomsky. Some features of swelling of photopolymer composites with different contents of highly dispersed silica // Plastic.Massy (Пластические Массы), 2008, №7, pp.33-36
8. D.Starokadomsky, D.Rassokhin, M.Reshetnyk, L.Kokhtych. Effect of sand particles on strength and resistance of epoxy-polymer composite materials. *GLOBUS*. 2020. №8(54). P.26-30.
9. Lee E.J., Lee J.H., Lim K.H. Hybrid waterproofing polymer-modified asphalt filled with carbon fiber and inorganic materials // Polymer (Korea). 2020. DOI:10.7317/pk.2020.44.1.1.
10. Чеботарева Е.Г., Огрель Л.Ю. Композиты на основе модифицированных эпоксидных олигомеров с высокими эксплуатационными характеристиками // Фундаментальные исследования. 2007. № 12 (часть 2). С. 339-340.
11. Гаврилов М.А. Особо плотные эпоксидные композиты на основе отходов производства. - Пенза: ПГУАС, 2014. – 132 с.
12. Danchenko Y., Andronov V., Varabash E. и др. Research of the intramolecular interactions and structure in epoxyamine composites with dispersed oxides / Eastern European Journal of Enterprise Technologies. 2017. 6 (12). 4-12. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.118565>
13. Ary Subagia, I. D. G., Tijing, L. D., Kim, Y. и др. Mechanical performance of multiscale basalt fiber-epoxy laminates containing tourmaline micro/nano particles / Composites (B:Engineering). 2014. Vol.58. 611-617. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2013.10.034>
14. Kim D., Mittal G., Kim M., Kim S., YopRhee K.. Surface modification of MMT and its effect on fatigue and fracture behavior of basalt/epoxy based composites in a seawater environment. (2019) Applied Surface Science. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2018.12.127>
15. DL Starokadomsky. Physical and mechanical properties and micro-nanostructure of epoxy composites filled with gypsum, chalk and cement // Composites and Nanostructures. 2018.No. 10 (1 (37)), pp. 39-51.
16. Mostovoy, A.S., Nurtazina, A.S., Burmistrov, I.N., Kadykova, Y.A. Effect of Finely Dispersed Chromite on the Physicochemical and Mechanical Properties of Modified Epoxy Composites. *Russ.J.Appl.Chem.* **2018**, *91*, 1758–1766. <https://doi.org/10.1134/S1070427218110046> .
17. Mostovoi, A.S., Kurbatova E.A. Controlling the Properties of Epoxy Composites Filled with Brick Dust. *Russ. J. Appl. Chem.* 2017, 90(2), 267-276. <https://doi.org/10.1134/S1070427217020173>
18. Sorokin V.V., Sharapov O.N., Shunkin N.M., Kiryushina N.Yu. New polymer composites based on epoxy resin filled with industrial waste. // Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019, no. 6. - S.8-13.
19. A.Mostovoy, A.Yakovlev, V.Tseluikin, M.Lopukhova. Epoxy nanocomposites reinforced with functionalized Carbon Nanotubes. // Polymers, 2020, N.12, P.1816-1821, doi:10.3390/polym12081816.