



Научная статья
05.16.09 – Материаловедение
УДК 620.22-419.8:678.046
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.04.022

ВЛИЯНИЕ ПРИРОДЫ НАПОЛНИТЕЛЯ НА ТВЕРДОСТЬ И ИЗНОС ДИСПЕРСНО-НАПОЛНЕННЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ЭПОКСИДНО-ДИАНОВОГО СВЯЗУЮЩЕГО

Снежана Александровна Хапёрских ¹, Елена Сергеевна Ананьева ²

^{1,2} Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, Барнаул, Россия

¹ snezhana_v@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2204-3469>

² eleana2004@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5768-3912>

Аннотация. Защита поверхностей металлических изделий от износа представляет процесс адгезионного взаимодействия «металл – покрытие». Используемые покрытия металлических поверхностей, разнообразны, большую часть изготавливают на основе полимерных композиционных материалов. Авторами был проведен анализ дисперсно-наполненных композиционных материалов на основе эпоксидно-диановой смолы ЭД-22 с аминным отвердителем ПЭПА. В качестве наполнителей были использованы следующие порошки: минеральный порошок, оксид алюминия, кварцевый песок, графит, волластонит, стекловолокно и прочие.

Использование изделий и оборудования (например, шнеков экструдера) в сельхозиндустрии подразумевает износ рабочих, трущихся поверхностей. Ввиду того, что испытания на износ материала требует значительного времени, в первую очередь было проведено исследование образцов на твердость (чем выше твердость, тем меньше истираемость).

Основываясь на физико-механических процессах на границе раздела «матрица – наполнитель», существует подтверждение о наличии межфазного слоя, который представляет собой недеформируемое тело. При исследовании композитов на твердость (по методу Бринелля) была поставлена задача: проанализировать не только наполнители, но и их объемную долю в матрице. В ходе анализа полученных зависимостей показателей твердости установлена зависимость показателя прочности от объемной доли дисперсного наполнителя. Это вызвано тем, что наполнитель упрочняет матрицу, а степень упрочнения зависит от формы его частиц, их количества и распределения. Исключением являются некоторые наполнители с высокой гигроскопичностью и низкой адгезией к матрице.

В результате отбора проб, с учетом адгезионного взаимодействия наполнителя и матрицы, проведено исследование на износ. Методика проведения испытаний состоит в проведении натуральных испытаний. Длительность испытаний составила 90 часов.

Ссылаясь на работы авторов, занимающихся вопросами снижения износа поверхностей металлов, проведен анализ экспериментальных данных, в результате чего выведено корреляционное уравнение, позволяющее теоретически рассчитать конечный результат износа (истираемости) композита.

По результатам исследования даны рекомендации по использованию корреляционной зависимости. Статья обобщает полученный опыт и требует дальнейшего изучения.

Ключевые слова: эпоксидно-диановая смола, ЭД-22, полиэтиленполиамин, ПЭПА, полимерный материал, твердость, истираемость, износ, адгезия.

Для цитирования: Хапёрских, С. А., Ананьева, Е. С. Влияние природы наполнителя на твердость и износ дисперсно-наполненных композиционных материалов на основе эпоксидно-дианового связующего // Ползуновский вестник. 2021. № 4. С. 163–172. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.04.022.

Original article

INFLUENCE OF THE NATURE OF THE FILLER ON THE HARDNESS AND NOSE OF DISPERSE-FILLED COMPOSITE MATERIALS BASED ON EPOXY-DIANO BINDER

Snezhana A. Khaperskikh ¹, Elena S. Anan'eva ²

^{1,2} Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia

¹ snezhana_v@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2204-3469>

² eleana2004@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5768-3912>

Abstract. *The protection of the surfaces of metal products from wear is a process of adhesive interaction "metal - coating". The materials used as coatings of metal surfaces are diverse, most of them are materials based on polymer composite materials. The authors analyzed dispersed-filled composite materials based on epoxy-diane resin ED-22 with amine hardener PEP. The following powders were used as fillers: mineral powder, aluminum oxide, quartz sand, graphite, wollastonite, fiberglass and others.*

The use of products and equipment (for example, extruder screws) in the agricultural industry implies the wear of working, rubbing surfaces. In view of the fact that testing for wear of the material requires considerable time, first of all, a study of samples for hardness was carried out (it is known that the higher the hardness, the less abrasion).

Based on the physical and mechanical processes at the interface "matrix - filler", there is evidence of the presence of an interfacial layer, which is a non-deformable body. In this connection, when studying composites for hardness (using the Brinell method), the task was set to analyze not only fillers, but also their volume fraction in the matrix. During the analysis of the obtained dependences of hardness indicators, the dependence of the strength index on the volume fraction of the dispersed filler was established. This is due to the fact that the filler strengthens the matrix, and the degree of hardening depends on the shape of its particles, their quantity and distribution. The exception is some fillers with high hygroscopicity and low adhesion to the matrix.

As a result of sampling, taking into account the adhesive interaction of the filler and the matrix, a study was carried out for wear. The test procedure consists in carrying out full-scale tests. The duration of the tests was 90 hours.

Referring to the works of authors dealing with the issues of reducing the wear of metal surfaces, the authors conducted an analysis of experimental data. As a result, a correlation equation is derived that allows theoretically calculating the final result of wear (abrasion) of the composite.

Based on the results of the study, recommendations on the use of correlation dependence are given. The article summarizes the experience gained and requires further study.

Keywords: *epoxy-diane resin, ED-22, polyethylene polyamine, PEPA, polymer material, hardness, abrasion, wear, adhesion.*

For citation: Khaperskikh, S. A. & Anan'eva, E. S. (2021). Influence of the nature of the filler on the hardness and nose of disperse-filled composite materials based on epoxy-diano binder. *Polzunovskiy vestnik*, (4), 163-172. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.04.022.

Полимерные композиционные материалы (ПКМ) определенного типа и состава могут использоваться для защиты поверхностей металлических изделий, используемых в различных отраслях производства. Особое распространение в производстве получили полимерные покрытия на основе термопластов, используемых для защиты внешней или внутренней поверхности изделий из стали (например, трубопроводов, оболочки прово-

дов), работающих в разных климатических условиях.

Использование оборудования в сельскохозяйственной отрасли подразумевает износ деталей, пребывающих в постоянном внешнем трении материала о другие поверхности, которое сопровождается потерей массы. Так как испытания на износ требуют значительно времени для наиболее быстрого контроля качества полученных образцов, возможно

ВЛИЯНИЕ ПРИРОДЫ НАПОЛНИТЕЛЯ НА ТВЕРДОСТЬ И ИЗНОС ДИСПЕРСНО-НАПОЛНЕННЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ЭПОКСИДНО-ДИАНОVOГО СВЯЗУЮЩЕГО

использование показателя твердости. Кроме того, известно, что от твердости материала зависит истираемость: чем выше твердость, тем меньше истираемость [1].

Проблеме износостойкости уделялись исследования группы авторов [2, 3], но направлены они на оценку износостойкости трубных марок полиэтилена. В этой статье будут рассмотрены дисперсно-наполненные полимерные материалы на основе эпоксидной матрицы.

В данной работе исследовались образцы на основе эпоксидно-диановой смолы ЭД-22 и отвердителя ПЭПА с разной концентрацией. В результате отбора проб выбрана оптимальная концентрация смолы и отвердителя – 100:10. В качестве наполнителей использовались волластонит, минеральный порошок, оксид алюминия, кварцевый песок, графит, стекловолокно и прочие (таблица 1). Наполнители в композите будут являться центрами кристаллизации, что ускоряет процесс отверждения композиции. Смешение компонентов производилось до получения состава «густой пасты».

Анализ результатов испытаний подтвердил теоретические данные о взаимосвязи показателей твердости и износа, в результа-

те чего авторами было выведено корреляционное уравнение, позволяющее произвести теоретический расчет износа ПКМ, зная объемную долю дисперсного наполнителя и твердость отвержденной композиции.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Расчет твердости дисперсно-наполненных образцов на основе эпоксидно-диановой смолы ЭД-22 и отвердителя ПЭПА, свойства которых представлены в таблице 1, проведен с посредством вдавливания шарика, используя метод Бринелля. Полированный закаленный шарик диаметром 10 мм вдавливали в поверхность испытуемого образца толщиной не менее 10 мм с усилием 100 кгс (10 Н). Через 30 сек после приложенной нагрузки измеряли глубину отпечатка. Значение твердости по Бринеллю определяли следующим образом [4]:

$$HB = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}, \quad (1)$$

где P – нагрузка на шарик, кгс;
D – диаметр шарика, мм;
d – диаметр отпечатка, мм.

Таблица 1 – Характеристика компонентов [5, 6, 7]

Table 1 - Characteristics of components [5, 6, 7]

Характеристика	Значение	
	ЭД-22	ПЭПА
Внешний вид	Низковязкая, прозрачная	Светло-желтый
Плотность, г/см ³	1,166	0,956
Динамическая вязкость, Па·с	8–12	0,25
Эпоксидный/аминный эквивалент, г/экв	195–183	30
Время желатинизации, ч.	Не менее 18	1,5

Были изготовлены образцы с различным содержанием отвердителя от 8 до 12 массовых частей смолы ЭД-22 в количестве 5 шт. Образцы исследовали на твердость связующего после отверждения (таблица 2).

Таблица 2 – Твердость образцов смолы [8]

Table 2 - Hardness of resin samples[8]

Доля отвердителя ПЭПА, %	Значение твердости, НВ
8	12,6
9	13,0
10	16,6
11	20,1
12	24,3

Стоит отметить, что не все образцы были исследованы на твердость. Часть из них разрушилась на предварительной нагрузке (рисунок 1, б), а некоторые не до конца отвердились (рисунок 1, в). На неотвержденных образцах индентор практически весь погружался в образец, а на протяжении небольшого количества времени (порядка 45–60 минут) образец восстанавливал свою форму. Результаты исследования на определение твердости по методу Бринелля представлены на рисунке 2.

Образцы с массовой долей 11–12 % ПЭПА имеют высокую хрупкость, а с долей 8–9 % – слишком пластичны. Поэтому оптимально соотношение смолы и отвердителя 100 :10.

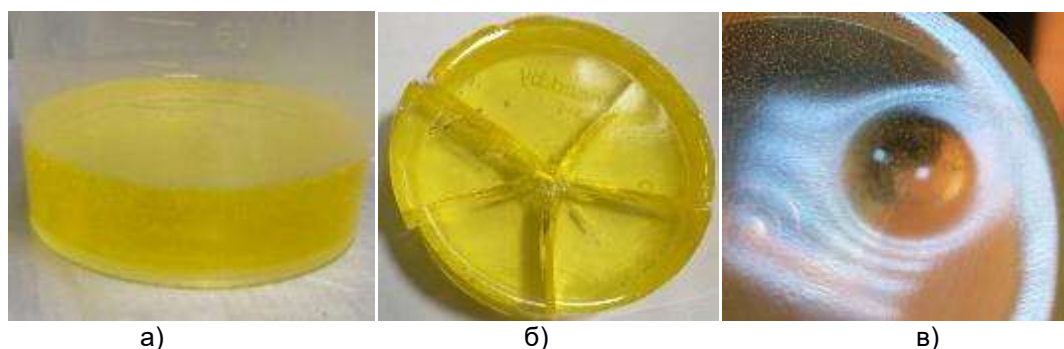


Рисунок 1 – Внешний вид образцов для испытаний на твердость:
 а) эпоксидно-диановая смола ЭД-22 с отвердителем ПЭПА (100:10);
 б) образцы с высокой хрупкостью; в) образцы с высокой пластичностью

Figure 1 - Appearance of samples for hardness tests: a) epoxy-diane resin ED-22 with hardener PEPA (100: 10); b) samples with high fragility; c) samples with high ductility

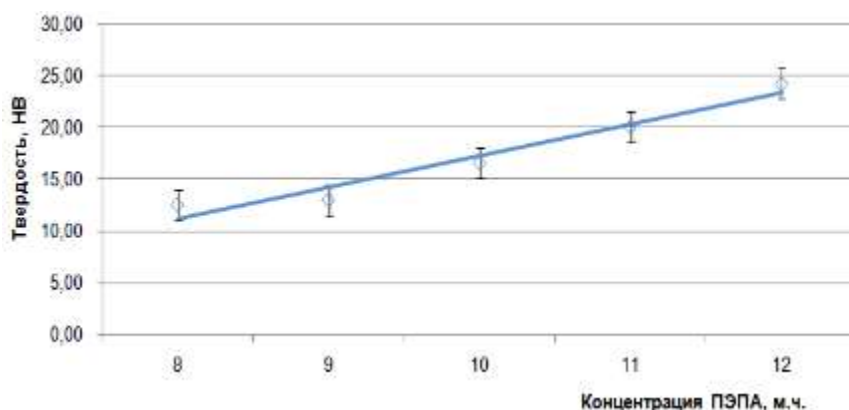


Рисунок 2 – Значение показателей твердости смолы ЭД-22 от концентрации ПЭПА

Figure 2 - The value of the hardness indicators of ED-22 resin from the concentration of PEPA

Используемые в качестве дисперсных наполнителей порошки, а именно: минеральный порошок, оксид алюминия, кварцевый песок, графит, волластонит, стекловолно и прочие, в композите будут являться центрами кристаллизации, что ускорит процесс от-

верждения композиции. Использовалась различная объемная доля наполнителей, зависящая от плотности наполнителя, зернистости и его гигроскопичности. Основные характеристики наполнителей приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Характеристика наполнителей

Table 3 - Characteristics of fillers

Наименование показателя	Значение показателя		Наименование показателя	Значение показателя	
	Истинная плотность, г/см ³	Зернистость/ фракция, мкм		Истинная плотность, г/см ³	Зернистость/ фракция, мкм
Минеральный порошок	2,4	300	Карбид кремния зеленый	3,21	13
Алюминия окись	3,99	50–150	Графит ГЛ-1	2,2	–
Песок кварцевый	1,6	300–600	Волластонит	2,9	8–13
Микросфера керамическая	0,64	40–120	Волокно стеклянное	2,55	–

ВЛИЯНИЕ ПРИРОДЫ НАПОЛНИТЕЛЯ НА ТВЕРДОСТЬ И ИЗНОС ДИСПЕРСНО-НАПОЛНЕННЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ЭПОКСИДНО-ДИАНОVOГО СВЯЗУЮЩЕГО

Смешение компонентов производилось до получения состава «густой пасты», именно поэтому появилась необходимость в снижении вязкости смолы посредством растворителя (в нашем случае – это ацетон с объемной долей не более 2,5 %). Поэтому параллельно проведено исследование идентичных образцов, но с добавлением ацетона. Доля растворителя выбрана благодаря исследованиям, которые показали, что увеличение ацетона в связующем снижает твердость образца, а при concentra-

ции более 2,5 % – определение твердости невозможно из-за повышения его пластичности и увеличения времени на его отверждение.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Полученные опытным путем образцы были исследованы на твердость. Графическая интерпретация показателей твердости наполненных образцов КМ представлена на рисунке 3.

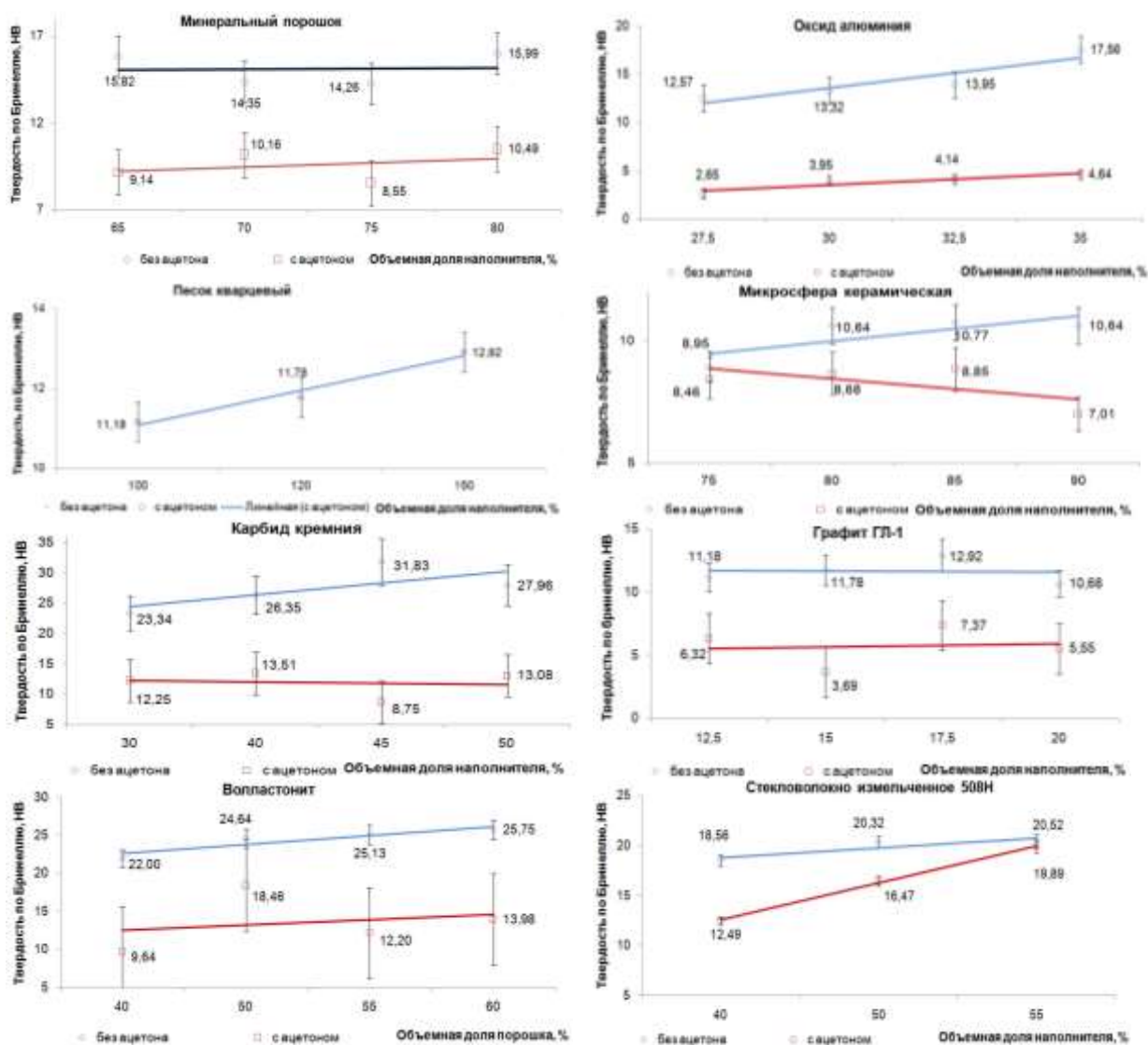


Рисунок 3 – Твердость модифицированных образцов по методу Бринелля

Picture 3 - Hardness of modified samples by the Brinell method

Анализируя рисунок 3, можно отметить, что твердость образца на основе стекловолокна с увеличением объемной доли возрастает. Чем больше доля стекловолокна, тем больше твердость по Бринеллю. Причем

объемная доля стекловолокна в размере 55 % характеризуется одинаковыми показателями твердости образцов с ацетоном и без него. То есть, чем больше наполнение образца стекловолокном, тем больше его

твердость и меньше влияния ацетона на структуру связующего.

При изготовлении образцов с кварцевым песком необходимо учесть осаждение песка на дно формы (например, с объемной долей песка, равной 50–80 %) будут соответствовать показателям отвержденной смолы без наполнителя. Исходя из проведенных исследований по отбору проб, были

отобраны рецептуры с наилучшими показателями твердости по Бринеллю (таблица 4). В целом эти показатели соответствуют максимальным значениям концентраций порошка в связующем, что, в свою очередь, обеспечит внешний вид раствора в виде пасты и упростит процедуру нанесения ее на пластину.

Таблица 4 – Результаты отбора проб дисперсно-наполненных ПКМ

Table 4 - Results of sampling dispersed-filled PCM

Наполнитель	Объемная доля наполнителя	Твердость композита при отверждении, НВ	
		без ацетона	с ацетоном
Минеральный порошок	0,8	17,0	10,5
Песок кварцевый	1,5	12,9	12,9
Микросфера керамическая	0,9	10,8	8,8
Карбид кремния зеленый	0,5	31,8	13,5
Волластонит	0,6	25,7	18,5
Стекловолокно	0,4	20,5	19,9

Графическая интерпретация основных результатов отбора проб представлена на рисунке 4. Анализируя рисунок 4, наблюдается следующее: полимерная матрица, наполненная кварцевым песком и микросферой керамической в отвержденном состоянии, имеет показатели твердости ниже исходных (без наполнителя – 16,6 НВ, таблица 2); а минеральный порошок, карбид кремния зеленый, волластонит и стекловолокно имеют показатель твердости выше

исходной. В связи с чем можно считать, что первая группа наполнителей снижает твердость композита. Частицы наполнителя, выступающие в качестве центров кристаллизации, практически не взаимодействуют с эпоксидной матрицей: отсутствует адгезионное взаимодействие «матрица – наполнитель». Обратная картина наблюдается у второй группы образцов, где адгезионное взаимодействие на порядок выше.

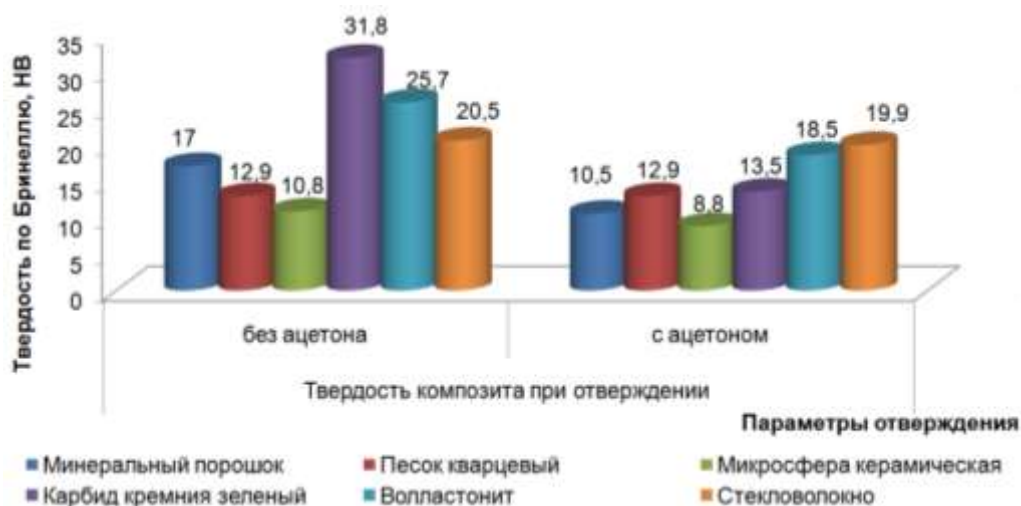


Рисунок 4 – Твердость дисперсно-наполненных КМ в результате отбора проб

Picture 4 - Hardness of dispersed-filled CMs as a result of sampling

ВЛИЯНИЕ ПРИРОДЫ НАПОЛНИТЕЛЯ НА ТВЕРДОСТЬ И ИЗНОС ДИСПЕРСНО-НАПОЛНЕННЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ЭПОКСИДНО-ДИАНОVOГО СВЯЗУЮЩЕГО

Сложные физико-механические процессы на границе раздела «матрица – наполнитель» в композиционных материалах на основе полимеров обусловлено возникновением межфазного слоя, характеристики которого существенно отличаются от характеристик блочного полимера. Как правило, параметры прочности (например, твердость, модуль Юнга) наполнителя во много раз превышают прочностные параметры матрицы [9], именно поэтому принято, что межфазный слой так же, как и армирующие включения, представляет собой недеформируемое тело.

С учетом того, что рабочие органы почвообрабатывающих машин работают в условиях абразивного износа, то их долговечность можно определить такими показателями, как износостойкость или истирае-

мость. Истираемость – это потеря первоначальной массы образца материала, отнесенная к площади поверхности истирания, можно рассчитать посредством формулы (2):

$$I = \frac{(m_1 - m_2)}{F}, \quad (2)$$

где m_1 и m_2 – масса образца до и после истирания, г.; F – площадь поверхности, см^2 .

Ниже представлен испытательный стенд для испытаний на истираемость эталонных и модифицированных пластин (рисунок 5, а). Внешний вид пластин, закрепленных в установке, представлен на рисунке 5, б. Стоит отметить, что расположение пластин равномерно по отношению к их центрам тяжести.



а)



б)

Рисунок 5 – Испытательный стенд для проведения натурных испытаний на износ (а) и закрепленные пластины в установке (б)

Figure 5 - Test bench for full-scale tests onwear (a) and fixed plates in the installation (b)

В качестве абразивного материала применяли отсев, щебень и песок в одной смеси. Длительность испытаний составила 90 ч.

Результаты испытаний на износ стандартного (эталонного) образца из стали и об-

разцов с наполненным полимерным покрытием представим в таблице 5 в виде относительной истираемости, где за единицу взят эталонный образец.

Таблица 5 – Зависимость износа образцов от их твердости

Table 5 - Dependence of the wear of samples on their hardness

Матрица	Наполнитель	Объемная доля наполнителя	Твердость, НВ	Истираемость $I_{\text{км}}$, г/см ²	$I_{\text{км}}$ относительно стандартного образца
Стандартный образец	–	–	89,9	0,013	1
Эпоксидная смола ЭД-22 + отвердитель ПЭПА (100:10)	минеральный порошок	0,8	17,0	0,096	7,2
	кварцевый песок	1,5	12,9	0,1	7,5
	микросфера керамическая	0,9	10,8	0,058	4,4
	карбид кремния зеленый	0,5	31,8	0,98	7,4
	волосстонит	0,6	25,7	0,111	8,3
	стеклянное волокно	0,4	20,5	0,131	9,9

Анализируя таблицу 5, стоит отметить достаточно высокую истираемость полимерных композитов (рисунок 6) с различными наполнителями, что в принципе не удовлетворяет условию: истираемость поверхности на основе КМ должна быть меньше либо со-

ответствовать той же величине, что и стандартный образец-эталон. В нашем случае, эталон имеет наивысшие показатели твердости и истираемости. Тем не менее, имея данные величины, проведем их анализ.

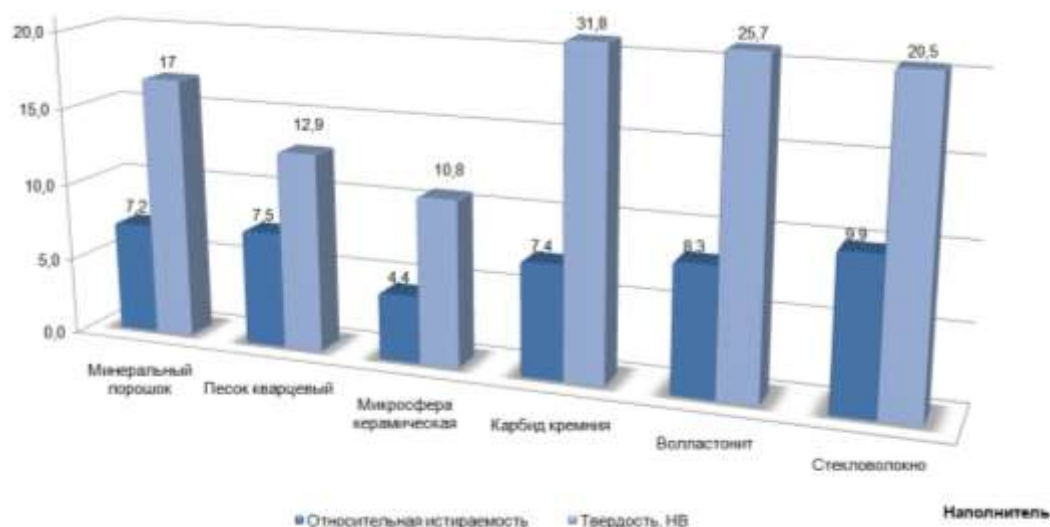


Рисунок 6 – Относительная истираемость и твердость образцов ПКМ (НВ)

Picture 6 - Relative abrasion and hardness of PCM samples (НВ)

Основное влияние на износостойкость сталей в условиях абразивного износа оказывает влияние содержание в них углерода, хрома и их твердость. Для их определения группа авторов [10] использовала корреляционное уравнение зависимости относительной износостойкости сталей:

$$\varepsilon = 0,24X_1 + 0,07X_2 + 0,11X_3 - 3,54, \quad (3)$$

где X_1 – содержание углерода, %;

X_2 – содержание хрома, %;

X_3 – твердость, HRC.

Используя данную математическую модель, определим зависимость относительной истираемости полимерных композиционных материалов и их твердости, используя прикладной пакет по анализу полученных данных в Excel.

В отличие от металлов, истираемость полимерных композиционных материалов будет зависеть от ряда прочих факторов, а именно: от объемной доли наполнителя, размера фракции, твердости и прочих факторов. При создании КМ на основе ЭД-22 авторами данной статьи оценивались два фактора – объемная доля наполнителя и твердость композита. В результате чего было выведено

корреляционное уравнение зависимости значений истираемости ($I_{КМ}$) дисперсно-наполненных композитов (только на основе ЭД-22 и ПЭПА в соотношении 100:10):

$$I_{КМ} = -0,6x_1 + 0,1x_2 + 6,2, \quad (4)$$

где x_1 – объемная доля наполнителя, ед.;

x_2 – твердость отвержденного композита, НВ.

Производя расчеты по формуле (4), стоит отметить, что данная зависимость актуальна в момент проведения данного эксперимента. Кроме того, необходимо адекватно подходить к выбору того или иного дисперсного наполнителя. Например, такой наполнитель, как оксид алюминия, графит и другие наполнители, имеет высокую гигроскопичность и низкую адгезию со связующим, что, в свою очередь, не позволит применять данную зависимость.

В целом, если наполнитель обладает низкой гигроскопичностью и хорошей адгезией, то вполне целесообразно использование формулы (4). Результаты, полученные в ходе проверки, соответствуют полученным опытным путем данным, погрешность измерений составляет не более 5 %.

ВЛИЯНИЕ ПРИРОДЫ НАПОЛНИТЕЛЯ НА ТВЕРДОСТЬ И ИЗНОС ДИСПЕРСНО-НАПОЛНЕННЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ЭПОКСИДНО-ДИАНОVOГО СВЯЗУЮЩЕГО

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования показали, что при анализе дисперсно-наполненных ПКМ на основе эпоксидно-дианового связующего важным параметром при изготовлении износостойчивого композита будет являться природа наполнителя, его доля в композите, а также твердость полученного композиционного материала. Именно поэтому были проанализированы дисперсно-наполненные образцы ПКМ с различной долей наполнителя. Кроме того, изучено влияние доли наполнителя и растворителя на твердость КМ (наличие ацетона в связующем значительно увеличивает время желатинизации и полного отверждения компаунда, а также снижает твердость в несколько раз относительно образца ПКМ без ацетона).

В результате отбора проб дисперсно-наполненных образцов проведен анализ твердости КМ. Образцы, твердость которых соответствовала значениям ниже показателя твердости отвержденной матрицы, были исключены из расчета ввиду низкой адгезии наполнителя и связующего.

Далее, над исследованными на твердость образцами проведено натурное испытание на износ. Полученные результаты твердости, износа и объемной доли наполнителя, учитываемые при проектировании КМ, обработаны с использованием прикладной программы Excel. В результате чего было выведено двухфакторное корреляционное уравнение зависимости истираемости ПКМ.

Таким образом, рост доли дисперсного наполнителя в полимерной матрице может способствовать увеличению твердости композита. Соответственно, рост твердости способствует снижению износа материала. А использование корреляционного соотношения истираемости КМ позволит сократить достаточно протяженный период времени по проведению натуральных испытаний на износ ПКМ и теоретически предположить значение показателя истираемости. Используя данные, приведенные в работе, можно сделать вывод, что задача полностью не раскрыта и требует дальнейшего изучения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тихомирова Т.С., Рассоха А.Н. Твердость полимерных антикоррозионных покрытий как характеристика их качества // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. 2008. С. 77–79.
2. Ратнер С.Б., Ярцев В.П. Физическая механика пластмасс. М.: Химия, 1992. 186 с.

POLZUNOVSKIY VESTNIK № 4 2021

3. Двуглова Л.Я., Лурье Е.Г., Радюкевич О.В., Ратнер С.Б., Фарберова И.И. Износ (истирание) пластмасс и методы его оценки // Пластические массы. 1962. № 1. С. 60–66.

4. Бердыченко А.А. Методические указания к практическим занятиям по курсу «Материаловедение и технология современных и перспективных материалов»; АлтГТУ им. И.И. Ползунова. Барнаул: АлтГТУ, 2015. 76 с.

5. ГОСТ Р 56211-2014. Смолы эпоксидно-диановые неотвержденные. Технические условия: утвержден и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 11 ноября 2014 г. № 1500-ст: дата введения 2016-01-01. Москва: Изд-во Стандартиформ, 2015. 14 с.

6. ТУ 2413-066-18777143-2015 Полиэтиленполиамины технические: дата введения 2015-05-18. Москва: Изд-во Стандартиформ, 2015. 9 с.

7. Бобылев В.А. Отвердители для эпоксидных смол // Композитный мир. № 4. 2006 (07). С. 20–24.

8. Особенности структурообразования эпоксидной смолы в процессе отверждения аминным отвердителем / С.А. Хапёрских, Е.С. Ананьева, А.А. Коркина // Ползуновский вестник. 2021. № 1. С. 179–186. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.01.025.

9. Дисперсно-наполненные полимерные композиты технического и медицинского назначения / Б.А. Люкшин [и др.]; отв. ред. А.В. Герасимов; Рос.акад. наук, Сиб. отд-ние, Ин-т физики прочности и материаловедения; М-во образования и науки РФ, Нац. исслед. Томск. политехн. ун-т, Томск. гос. ун-т сист. упр. и радиоэлектр. [и др.]. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2017. 311 с.

10. Новиков В.С., Самойленко А.Н. Математическая модель зависимости износостойкости материалов от химического состава и твердости // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. № 3. 2008. С. 124–129.

Информация об авторах

С. А. Хапёрских – старший преподаватель, аспирант 2 курса кафедры современных специальных материалов Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

Е. С. Ананьева – кандидат технических наук, доцент кафедры современных специальных материалов Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

REFERENCES

1. Tikhomirova, T.S. & Rassokha, A.N. (2008) Hardness of polymer anticorrosive coatings as a characteristic of their quality. Tikhomirova. Bulletin of the Kharkov National Automobile and Road University. 77-79.
2. Ratner, S.B. & Yartsev, V.P. (1992). Physical mechanics of plastics. Moscow: Chemistry, P. 186.

171

3. Dvuglova, L.Y., Lurie, E.G., Radjukevich, O.V., Ratner, S.B. & Farberov, I.I. (1962). Wear (abrasion) plastics and methods of assessment. *Plasticheskie MASSY*, 1, 60-66.
4. Berdychenko, A.A. (2015). Methodical instructions for practical exercises for the course "materials Science and technology of advanced materials". Barnaul: AltSTU, P. 76.
5. Interstate council for standardization, metrology and certification. (2014). Uncured epoxy-diane resins. Technical conditions (HOST R 56211-2014). <http://docs.cntd.ru/document/1200115430>.
6. Technical specifications. (2015). Technical polyethylene polyamines. (TU 2413-066-18777143-2015). Moscow: Standards Publishing House. (In Russ.).
7. Bobylev, V.A. (2006). Hardeners for epoxy resins. *Composite World*. No. 4, 20-24.
8. Khaperskikh, S.A., Anan'eva, E.S. & Korkina, A.A. (2021). Features of structure formation of epoxy resin during curing with amine hardener. *Polzunovskiy vestnik*, 1, 179-186. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.01.025.
9. Lyukshin, B.A. & Gerasimov, A.V. (2017). Dispersed-filled polymer composites for technical and medical purposes. Novosibirsk : Publishing House of SB RAS. P. 311.
10. Novikov, V.S. & Samoilenko, A.N. (2008). Mathematical model of the dependence of wear resistance of materials on chemical composition and hardness. *Bulletin of the FGOU VPO MGAU*. No. 3. 124-129.

Information about the authors

S. A. Khaperskikh - Senior Lecturer, 2nd year postgraduate student of the Department of Modern Special Materials, Polzunov Altai State Technical University.

E. S. Anan'eva - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Modern Special Materials, Polzunov Altai State Technical University.

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare that there is no conflict of interest.*

Статья поступила в редакцию 29.10.2021; одобрена после рецензирования 25.11.2021; принята к публикации 29.11.2021.

The article was received by the editorial board on 29 Oct 21; approved after editing on 25 Nov 21; accepted for publication on 29 Nov 21.