

УДК 691.175.5/8

НАПОЛНИТЕЛИ ДЛЯ МОДИФИКАЦИИ СОВРЕМЕННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Колосова А.С., Сокольская М.К., Виткалова И.А., Торлова А.С., Пикалов Е.С.
 ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», Владимир, e-mail: evgeniy-pikalov@mail.ru

Данная статья представляет собой обзор веществ и материалов, применяемых в качестве наполнителей для модификации свойств полимеров и получения на их основе композиционных материалов. Представлена общая классификация наполнителей и рассматривается их разделение на дисперсные и армирующие, к которым относятся волокнистые и листовые наполнители. Приводятся общие характеристики этих групп наполнителей и рассматривается их деление на минеральные, органические и другие подгруппы в зависимости от применяемых веществ. Для веществ и материалов дается информация по особенностям их применения в качестве наполнителей и по свойствам, которые они придают полимерным композиционным материалам. Дополнительно упоминается возможность модификации самих наполнителей путем аппретирования и импрегнирования, а также возможность использования гибридных наполнителей, что расширяет возможности модификации композиционных материалов.

Ключевые слова: полимерный композиционный материал, дисперсный наполнитель, волокнистый наполнитель, листовый наполнитель, армирующий наполнитель, аппретирование, импрегнирование

FILLERS TO MODIFY THE MODERN POLYMER COMPOSITE MATERIALS

Kolosova A.S., Sokolskaya M.K., Vitkalova I.A., Torlova A.S., Pikalov E.S.
 Federal Educational Institution of Higher Education Vladimir State University of a name of Alexander Grigorevich and Nikolay Grigorevich Stoletovs, Vladimir, e-mail: evgeniy-pikalov@mail.ru

This article presents a review of the substances and materials used as fillers to modify the properties of polymers and obtaining on their basis of composite materials. Presents a general classification of fillers and discusses their separation of particulate and reinforcing, which include the fibrous and sheet fillers. Describes the general characteristics of these groups of fillers and considers their division into mineral, organic and other sub-groups depending on the applied substances. For substances and materials provides information on the specifics of their application as fillers and the properties they impart to the polymer composite materials. Additionally mentioned the possibility of modifications to the filler by dressing and impregnation, as well as the possibility of using hybrid fillers, expanding the possibilities of modification of composite materials.

Keywords: polymer composite material, particulate filler, fibrous filler, sheet filler, reinforcing filler, dressing, impregnation

В современном мире к различным материалам и получаемым из них изделиям постоянно повышаются требования по эксплуатационным свойствам, обеспечение которых возможно путем подбора сырьевых материалов и технологических параметров производства. Значительное изменение имеющихся у материала свойств и придание ему новых характеристик возможно за счет введения так называемых модифицирующих добавок, которые наряду с эксплуатационными изменяют и технологические свойства, облегчая переработку материала в изделие при снижении производственных затрат.

Большими перспективами в области модификации свойств обладают полимеры и материалы на их основе. Это связано с большим разнообразием видов полимеров, которые отличаются друг от друга свойствами, и хорошей совместимостью полимеров с различными модифицирующими добавками. В свою очередь среди материалов

на основе полимеров наибольший интерес в плане дальнейшей модификации и возможностей широкого использования представляют полимерные композиционные материалы (ПКМ). Основу ПКМ составляют полимерные связующие, в которые для модификации их свойств вводят различные добавки, облегчающие их переработку, повышающие стойкость к различным видам деструкции и горению.

Однако добавками, которые в наибольшей степени изменяют свойства полимерного связующего, являются наполнители. Кроме того, наполнители в отличие от других добавок не образуют со связующим однородного материала, а распределяются в нем в виде обособленных частей отдельной фазы. Наполнители могут быть твердыми, жидкими или газообразными. Газообразные наполнители используются для получения материалов с открытыми, сообщающимися или закрытыми порами: пенопластов, ионообменных смол, резино-

вых губок и т.д. Жидкие наполнители применяют при получении твердых пористых материалов из жидких эмульсий [1].

Однако в большинстве случаев применяют твердые неорганические и органические наполнители, которые разделяют на три группы: порошкообразные (дисперсные), волокнистые и листовые. Также иногда выделяют объемные наполнители, к которым относят объемные ткани и каркасные системы: природную древесину или системы, получаемые путем вспенивания или спекания керамических, металлических или полимерных порошков [2]. Стоит упомянуть, что из одного и того же материала, например стекла, могут быть получены и дисперсные, и волокнистые, и листовые наполнители.

Дисперсные наполнители являются самыми распространенными. Размер частиц дисперсного наполнителя изменяется в широких пределах от 2 до 300 мкм, но обычно не превышает 40 мкм, а для нанокompозитов используются частицы размером менее 1 мкм. Содержание дисперсных наполнителей изменяется в интервале от нескольких процентов до 70–80% [3, 4]. При более высоких концентрациях наполнителя его частицы начинают контактировать между собой, что приводит к скачкообразному изменению свойств композита [4].

Дисперсные наполнители должны хорошо совмещаться с полимером или диспергироваться в нем, хорошо смачиваться раствором или расплавом полимера, быть не склонными к агломерации, иметь однородный размер частиц и низкую влажность [3, 4].

Дисперсные наполнители можно разделить на инертные, которые не оказывают влияния на свойства матрицы и вводятся в ее состав для удешевления композиции, и активные. Активность наполнителя в основном определяется тремя факторами:

– соотношением между энергией адгезии полимера к наполнителю, которая может быть повышена путем введения в состав связующего активных соединений, и энергией когезии полимера [1];

– степенью дисперсности частиц наполнителя, которая определяет площадь поверхности контакта матрицы с наполнителем и может быть повышена путем его измельчения;

– количеством вводимого наполнителя, так как даже наполнители, считающиеся в большинстве источников инертными (доломит, мрамор, мел, барит и пр.), при так называемом критическом содержании начинают оказывать влияние на механические свойства композита, например существенно снижая ударную вязкость [5].

Активность наполнителя может быть повышена модифицированием его поверхности соединениями, придающими ему или связующему дополнительные свойства или оптимизирующими их характеристики [3]. Например, для улучшения реологических свойств и смачивания поверхность мела часто обрабатывают стеариновой кислотой, стеаратом кальция или аппретами, что способствует лучшему распределению частиц мела в матрице полимера [4].

Таким образом, при определенных условиях практически любой дисперсный наполнитель может стать активным. При получении композиционных материалов могут одновременно использоваться инертные и активные наполнители.

К наиболее распространенным дисперсным наполнителям относятся минеральные, органические и металлические.

Минеральные наполнители применяют в первую очередь для снижения усадки, остаточных напряжений и склонности к растрескиванию, а также повышения прочностных характеристик [5]. Они также придают жесткость и огнестойкость. Каждый из этих наполнителей имеет свои особенности. Мел является одним из самых дешевых минеральных наполнителей, отличается низкой твердостью (легко перерабатывать) и применяется в материалах на основе поливинилхлорида, полипропилена, полистирола и его сополимеров, в полиэфирных стеклопластиках. Каолин способствует значительному повышению вязкости, а также повышает модуль упругости, улучшает электрические свойства и увеличивает влагостойкость. Каолин плохо диспергируется в большинстве полимеров и в основном применяется для полиэфирных связующих, армированных волокнами. Тальк отличается низкой абразивностью, придает композитам повышенную жесткость и в отличие от других дисперсных наполнителей не снижает ударную вязкость. Тальк чаще всего используется для наполнения полипропилена. Кварц используется в разных модификациях (кварцевая мука, аэросил, плавный кварц, микрокристаллический кварц и осажденный диоксид кремния), отличающихся разной степенью кристалличности, абразивностью, удельной поверхностью и диспергируемостью в полимерах. Наряду с уменьшением усадки все кварцевые наполнители способствуют повышению прочности и широко применяются для наполнения термопластов и реактопластов. Полевой шпат и нефелин хорошо диспергируются в полимерах и смачиваются ими, обеспечивают низкую вязкость наполненных композиций даже при высоких

степенях наполнения, повышают теплопроводность, а близкие к полимерам показатели преломления позволяют получать прозрачные и полупрозрачные изделия. Они эффективно используются при наполнении полярных полимеров (АБС-пластики, полиамиды, полиуретаны), где отмечено повышение жесткости, прочности при изгибе и теплоустойчивости [4]. Молотая слюда используется для повышения прочности, огнестойкости, химической стойкости и диэлектрических свойств. В последнее время также широко используется шунгит за счет его уникальной фуллереноподобной структуры и адсорбционных свойств. Этот минерал придает ПКМ электропроводные свойства и снижает их радиопрозрачность [6].

К наиболее распространенному наполнителю органического происхождения относится древесная мука, для получения которой используется мягкая древесина (в основном сосна и канадская пихта) или твердая древесина (ясень или клен), когда присутствие древесной смолы нежелательно [4]. Древесную муку сочетают с минеральными наполнителями. Отличается низкой абразивностью, повышает модуль упругости при изгибе и значительно повышает вязкость.

Наряду с древесной мукой применяются такие органические дисперсные наполнители, как молотая скорлупа орехов, измельченная лузга подсолнечника, рисовая шелуха, кукурузные початки, стебли сахарного тростника и другие виды отходов сельского хозяйства. Их использование в первую очередь обусловлено низкой стоимостью и возможностью получения биоразлагаемых полимерных материалов [3]. Широкое распространение получили крахмал (важнейший компонент картофеля и зерновых культур), а также хитин и получаемый из него хитозан, которые по структуре и свойствам близки к целлюлозе [4].

Органическими дисперсными наполнителями также являются углеродные материалы, к которым относятся часто применяемые сажа, технический углерод и графит. В ряде источников сажа и технический углерод являются синонимами, однако сажа является побочным продуктом процессов сжигания углеводородов, а технический углерод является продуктом промышленного производства, получаемым термическим разложением в контролируемых условиях. Как наполнители сажа и технический углерод характеризуются интенсивностью черного цвета и размером частиц. В основном в качестве наполнителя применяется крупнозернистая сажа, которая не так сильно повышает вязкость композиций. Сажа и технический углерод выполняют роль

светостабилизаторов и придают материалу электропроводящие свойства, способствуя стеканию статического электрического заряда. Графит снижает коэффициент трения, обладает хорошей тепло- и электропроводностью. В качестве углеродсодержащих наполнителей полимерных матриц также применяют кокс и антрацит [4].

Металлические порошки мало влияют на прочность, но позволяют в широких пределах изменять тепло- и электропроводность, теплоемкость, магнитные характеристики, электрические свойства, а также придавать материалам защиту от электронного и проникающего излучения, изменять их плотность, горючесть и т.д. [4]. В качестве дисперсных наполнителей чаще всего используются медь, алюминий, железо, бронза, олово, серебро, свинец, цинк [3]. Поверхность металлических порошков часто аппретируют для повышения адгезии и уменьшения адсорбции влаги, а также покрывают защитными пленками (например, в виде слоя лака), чтобы исключить их влияние на отверждение и деструкцию. Особой группой металлосодержащих наполнителей являются магнитные наполнители, вводимые в состав композитов в количестве 88–92 мас.%. К этим наполнителям относятся оксидные изотропные ферриты бария и стронция, порошки из легированных сплавов редкоземельных металлов с железом и бором ($\text{Nd}_2\text{Fe}_{11}\text{B}$), а также бинарные сплавы самария и кобальта (SmCo_5 , SmCo_{17}) [4].

В качестве дисперсных наполнителей для придания специальных свойств применяют разнообразные соли (сульфаты, сульфиды, фториды и др.) [3, 4]. Например, дисульфид молибдена (MoS_2) применяется в высокодисперсном виде (частицы менее 1 мкм) для снижения коэффициентов трения и линейного расширения, повышения износостойкости и термостойкости, а также значительного повышения теплопроводности. Нитрид бора (BN_3) хорошо диспергируется в полимерах, придает ПКМ способность работать без смазки, существенно увеличивает теплопроводность. Большинство солей (карбонаты и бикарбонаты, бораты, сульфаты, силикаты, фосфаты и др.) применяются для снижения горючести. Для снижения горючести композиционных материалов также применяют оксид сурьмы Sb_2O_3 в сочетании с органическими галогенсодержащими соединениями, гидроксид алюминия $\text{Al}(\text{OH})_3$, который из-за низкой температуры разложения (220 °С) применяется только для наполнения реактопластов (в основном олигоэфирных связующих), а также оксиды молибдена и комплексы солей металлов с аммиаком (например, $\text{Co}(\text{NH}_3)_6\text{Cl}_{13}$ и др.) [4].

Также к этой группе наполнителей можно отнести гальванический шлам, содержащий соединения тяжелых металлов и используемый для повышения огне- и термостойкости, прочностных и адгезионных характеристик, биостойкости, а также как пигмент [7–9].

В качестве дисперсных наполнителей могут применяться и порошкообразные полимеры [10], такие как поливинилхлорид, полиэтилен, полиформальдегид, политетрафторэтилен и др. Они повышают химическую стойкость, а совместно с другими дисперсными и волокнистыми наполнителями способствуют улучшению износостойкости, коэффициента трения, диэлектрических характеристик. Их эффективность повышается, если в процессе получения и переработки ПКМ они не плавятся, а сохраняются в виде частиц самостоятельной фазы [4].

К полимерным дисперсным наполнителям можно отнести и резиновую крошку, получаемую из старых, изношенных шин от автомобилей. Совместно с полиуретановым связующим из резиновой крошки получают прочный, эластичный и химически стойкий материал.

Особой группой дисперсных наполнителей являются микросферы, представляющие собой полые внутри шарообразные частицы размером от 10 до 2000 мкм и толщиной стенки от 2 до 10 мкм. Также применяют макросферы размером 5–20 мм и толщиной стенки 0,3–1,5 мм. Чаще других применяют стеклянные микросферы (стеклосферы, ценосферы или эккосферы), получаемые из натрий-боросиликатного стекла. Находят применение алюмосиликатные микросферы, являющиеся компонентом зольных отходов тепловых электростанций, углеродные микросферы, а также микросферы из оксидов циркония, диоксида кремния, перлита, керамики, фенолформальдегидной и эпоксидной смол, полистирола и сополимеров стирола, акрилатов, полидиметилсилоксана, хитозана и др. полимерных материалов. Микросферы применяются для снижения стоимости ПКМ, увеличения их объема и снижения веса. За счет правильной сферической формы они мало повышают вязкость по сравнению с другими дисперсными наполнителями, а за счет пустотности повышают теплоизоляционные и диэлектрические свойства. В зависимости от материала, из которого они получены, микросферы придают ПКМ и специальные свойства. Также для придания специальных свойств поверхность микросфер может быть аппретирована. В основном применяются для наполнения

термореактивных матриц. Наряду с микросферами в качестве легковесных наполнителей применяют вермикулит, пемзу, диатомит, древесные опилки, спеченный силикагель, обожженную глину и др. [11], однако эти материалы впитывают связующее и превращаются в тяжелые [12].

Волокнистые наполнители применяются в виде нитей или жгутов (несколько скрученных волокон, называемых также ровингом) и занимают второе после дисперсных наполнителей место по частоте применения. Наибольшим распространением пользуются волокна диаметром 5–100 мкм, круглого и профильного сечений. В основном выпускаются волокна круглого сечения диаметром 8–20 мкм. Наряду с волокнами круглого сечения выпускают и профильные волокна, которые позволяют уменьшить плотность материала и повысить плотность упаковки при одновременном повышении прочностных, теплоизолирующих и диэлектрических свойств. Для снижения плотности материала также используют полые волокна. Содержание волокнистых наполнителей в термопластах составляет обычно 15–40%, в реактопластах – 30–80% от массы полимера [4].

Волокна также называют армирующими наполнителями, так как их основная задача – повышение прочностных характеристик, в первую очередь прочности на изгиб и ударной вязкости. Их введение в ПКМ связано с относительно высокой хрупкостью большинства полимеров, особенно при низких температурах. Армирование может быть линейным или трехмерным, ориентированным или хаотичным, изотропным или анизотропным.

Однако в зависимости от свойств и размеров волокон, а также характера их взаимодействия с полимером они могут проявлять свойства как дисперсных, так и армирующих наполнителей. Эффективность применения волокон возрастает с увеличением их длины. При этом длина волокна должна быть больше критического значения, при котором оно в полной мере проявляет свои армирующие свойства. Длина волокна выбирается в зависимости от материала матрицы и способа переработки материала в изделие. Волокна длиной менее 1–2 мм применяют в заливочных отверждающихся компаундах, длиной 3–12 мм (короткие волокна) используются для получения конструкционных литевых и экструзионных термопластичных ПКМ, длиной 15–70 мм (длинные волокна) – для получения пресс-материалов на основе реактопластичных ПКМ. Так называемые непрерывные волокна большой длины используют для соз-

дания высокопрочных и высокомодульных конструкционных ПКМ.

Для улучшения адгезии на границе волокно – полимер выпускаемые волокна аппретируются (пропитываются). В качестве аппретов чаще всего используют кремний-органические и металлсодержащие органические соединения.

Волокнистые наполнители, как и дисперсные, бывают минеральными, органическими и металлическими, однако наиболее распространенными являются стеклянные волокна, которые отличаются низкой стоимостью, простотой производства и переработки, а также высокой прочностью при отсутствии дефектов. Однако стеклянные волокна характеризуются хрупкостью, имеют низкую жесткость и теряют прочность во влажной среде или при контакте с водой. На данный момент разработано много марок стекол для получения волокон с повышенной прочностью, химической и электрической стойкостью и т.д. [4].

Вторыми по распространенности являются углеродные волокна, которые обладают большей жесткостью и сравнимы по прочности со стеклянными волокнами, поэтому выдерживают более высокие напряжения при меньших допустимых деформациях. Эти волокна также отличаются высоким модулем упругости при растяжении и изгибе, малой плотностью, высокой электропроводностью, низкими коэффициентами трения и термического расширения, химической и коррозионной стойкостью. Однако под воздействием сильных окислителей и галогенов их стойкость значительно уменьшается (особенно при повышенных температурах). Другими недостатками являются малая межслоевая прочность при сдвиге (устраняется окислением или галогенированием поверхности) и малая ударная вязкость.

Борные волокна характеризуются низкой плотностью, высокой прочностью и жесткостью, но малой прочностью при сдвиге. Находят широкое применение в производстве композиционных материалов на основе эпоксидной матрицы.

Асбестовое волокно отличается низкой стоимостью, высокой прочностью и высоким модулем упругости, выдающимся термостойкостью и химической стойкостью. Также повышает огнестойкость и диэлектрические свойства, снижает теплопроводность. К недостаткам относятся хрупкость, снижение ударных характеристик, придание темного цвета и канцерогенность.

Волокна из ароматических полиамидов типа кевлар, а также монокристаллические волокна (нитевидные кристаллы), полу-

ченные из металлов, их оксидов, карбидов, нитридов, характеризуются исключительно высокими модулем упругости и прочностью при растяжении, но они слишком дороги и их сложно перерабатывать [4].

Базальтовые волокна имеют практически все положительные свойства стеклянных волокон, при этом обладают более высокими тепло- и щелочестойкостью, а при сочетании с эпоксидными связующими – лучшей адгезией. К недостаткам относятся хрупкость, высокая стоимость, придание коричневого цвета.

Органическими являются хлопковые волокна, растительные волокна, состоящие в основном из целлюлозы с небольшим количеством лигнина и других соединений, шерстяные волокна (в виде оческов), а также синтетические волокна на основе регенерированной целлюлозы (вискозная ткань, целлофан; полиакрилонитрильные волокна), алифатические полиамидные (нейлоновые), ароматические полиамидные (арамидные), полиэфирные, политетрафторэтиленовые (тефлон), поливинилспиртовые и другие волокна. Органические волокна имеют более низкие физико-механические характеристики, чем другие виды волокон, но отличаются низкими стоимостью, плотностью и могут использоваться для получения углеродного волокна [4].

Металлические волокна обладают высокими механическими характеристиками и могут придавать ПКМ тепло- и электропроводность, магнитные свойства. Другим преимуществом является возможность строго контролировать форму поперечного сечения волокон и их размеры. Недостатками этих волокон являются высокая стоимость и плотность.

Листовые (слоистые, пленочные) наполнители, как и волокнистые, являются в первую очередь армирующими и широко применяются в производстве плоских и крупногабаритных изделий из ПКМ. По своей структуре эти наполнители подразделяются на тканые, нетканые, а также монолитные листовые и ленточные.

Тканые наполнители представляют собой переплетение взаимно перпендикулярных продольных (основы) и поперечных (утка) волокон в виде нитей или жгутов диаметром 2–100 мкм. Такие ткани хорошо формируются и позволяют регулировать анизотропию свойств. Свойства ПКМ с тканым наполнителем определяются его толщиной и проницаемостью для связующего. Увеличение плотности тканей повышает прочность при растяжении, но снижает прочность при межслоевом сдвиге. Тканые наполнители применяются в производстве

текстолитов, стеклотекстолитов, конструкционных изделий из стекло- и углепластиков, а также органопластиков. Ткани с редким плетением называют сетчатыми наполнителями [4].

К нетканым материалам относятся следующие типы наполнителей:

– бумажные наполнители, представляющие собой слоистый материал из хаотически распределённых волокон, скрепленных связующим. Они отличаются низкой стоимостью, гладкостью поверхности, легко регулируемые линейными размерами и толщиной. В настоящее время применяются бумаги из сульфатной, сульфитной и хлопковой целлюлозы, древесной массы и на базе синтетических волокон с повышенной теплостойкостью [4];

– войлок, представляющий собой нетканый материал, получаемый путем валяния из стекловолокна, полимерных и металлических волокон;

– холсты, представляющие собой полотно из дезориентированных рубленых волокон, связанных друг с другом полимерным связующим [4];

– маты (в основном стекломаты), представляющие собой рулонные материалы из хаотически расположенных штапельных нитей или волокон. Позволяют реализовать в изделиях двумерную жесткость [4].

К монолитным листовым материалам в первую очередь относится древесный шпон (в основном березовый) толщиной от 0,1 до 10 мм. Другими разновидностями монолитных листовых материалов являются стеклошпон [4], а также щипаная слюда по ГОСТ 3028-78, представляющая собой пластинки слюды толщиной 10–50 мкм произвольной формы, в контур которой может быть вписан прямоугольник площадью от 0,5 до 50 см².

К монолитным ленточным наполнителям относятся нетканые и тканые ленты из стеклянных, базальтовых, углеродных и синтетических волокон. Ленточные наполнители отличаются простотой обработки (намотки, формования ребер, отбортовки и др.). Из нетканых наиболее распространена стеклолента, обладающая высокими прочностью и жесткостью, химической и коррозионной стойкостью. Преимуществами стеклоленты также являются изотропное увеличение жесткости и прочности, исключая необходимость ее ориентации, а также возможность уменьшить степень заполнения ПКМ на 50–60 % по сравнению с волокнами при сохранении аналогичных механических свойств. По сравнению с волокнами стеклолента обладает мень-

шими термическим расширением и диффузными свойствами. Эти преимущества широко реализуются при армировании стеклолентой пластмассовых труб. Недостатком стеклоленты является резкое снижение прочности при наличии дефектов. В последнее время наряду со стеклянными применяют ленты (пленки) из графита и бора [4].

Более распространены тканые ленты, в первую очередь из углеродных и стеклянных волокон. Также в качестве наполнителя применяют металлические пленки (фольги), применяемые как токопроводящие жилы и компоненты в электротехнике и электронике, для экранирования электромагнитного излучения и для защиты от него в радиотехнических и радиолокационных устройствах [4].

Как следует из представленной в данной работе информации, в настоящее время существует большое количество веществ и материалов, применяемых в качестве наполнителей и позволяющих получать ПКМ с низкой усадкой и стабильностью формы изделий, высокими механическими свойствами и необходимым набором специальных свойств. Для расширения свойств наполнителей применяют их модификацию нанесением поверхностного модифицирующего слоя (аппретирование) или их глубокому пропитку модификаторами (импрегнирование или импрегнация). Также возможно одновременное использование нескольких наполнителей с получением гибридного наполнителя в составе одного ПКМ.

За счет наполнителей ПКМ могут в большинстве сфер человеческой деятельности конкурировать с другими материалами, такими как стекло, керамика и даже металл. Основными недостатками, ограничивающими область применения ПКМ, как и в случае с другими материалами на основе полимеров, являются относительно низкие термостойкость и морозостойкость, а также явление старения полимеров под действием различных факторов окружающей среды.

Стоит отметить, что приведенная в данной работе информация не охватывает всего разнообразия материалов и веществ, применяемых в качестве наполнителей ПКМ, и не дает полного описания их характеристик. В первую очередь это связано с большим количеством проводимых в настоящее время разработок по повышению эффективности уже применяемых и поиску новых сырьевых материалов для получения ПКМ высокого качества с оптимальными для различных целей свойствами.

Список литературы

1. Тугов И.И., Кострыкина Г.И. Химия и физика полимеров [Текст]: учебное пособие для вузов / И.И. Тугов, Г.И. Кострыгина. – М.: Химия, 1989. – 432 с.
2. Бондалетова Л.И., Бондалетов В.Г. Полимерные композиционные материалы (часть 1) [Текст]: учебное пособие / Л.И. Бондалетова, В.Г. Бондалетов. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 118 с.
3. Ершова О.В., Ивановский С.К., Чупрова Л.В., Бахаева А.Н. Современные композиционные материалы на основе полимерной матрицы / О.В. Ершова, С.К. Ивановский, Л.В. Чупрова, А.Н. Бахаева // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 4–1. – С. 14–18.
4. Классификация и виды наполнителей [Электронный ресурс] / SammaS – Сам мастер! Все о стекломатериалах: сайт – URL: <http://samma.ru/spravochnik-materialov/napolniteli/klassifikatsiya-i-vidy.html> (дата обращения: 26.05.2017).
5. Мельниченко М.А., Ершова О.В., Чупрова Л.В. Влияние состава наполнителей на свойства полимерных композиционных материалов [Текст] / М.А. Мельниченко, О.В. Ершова, Л.В. Чупрова // Молодой ученый. – 2015. – № 16. – С. 199–202. URL: <https://moluch.ru/archive/96/21554/> (дата обращения 26.05.2017).
6. Мосин О.В. Шунгит – природный нанотехнологический материал [Электронный ресурс] // Нанотехнологии Nanonewsnet: Сайт о нанотехнологиях № 1 в России. – URL: <http://www.nanonewsnet.ru/articles/2008/shungit-prirodnyi-nanotekhnologicheskii-material> (дата обращения: 26.05.2017).
7. Трифонова Т.А., Селиванова Н.В., Селиванов О.Г., Ширкин Л.А., Михайлов В.А. Утилизация гальваношламов сложного состава [Текст] / Т.А. Трифонова, Н.В. Селиванова, О.Г. Селиванов, Л.А. Ширкин, В.А. Михайлов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2012. – Т. 14, № 1(9). – С. 2443–2446.
8. Чухланов В.Ю., Селиванов О.Г., Трифонова Т.А., Селиванова Н.В., Сахно О.Н., Анпилова А.Ю. Оценка устойчивости полиорганосилоксановой композиции, наполненной гальваническим шламом к биоповреждающей активности микромицетов [Текст] / В.Ю. Чухланов, О.Г. Селиванов, Т.А. Трифонова, Н.В. Селиванова, О.Н. Сахно, А.Ю. Анпилова // Химическая промышленность сегодня. – 2014. – № 6. – С. 39–45.
9. Чухланов В.Ю. Новые лакокрасочные материалы на основе модифицированных пипериленистирольных связующих с использованием гальваношлама в качестве наполнителя [Текст] / В.Ю. Чухланов, Ю.В. Усачева, О.Г. Селиванов, Л.А. Ширкин // Лакокрасочные материалы и их применение. – 2012. – № 12. – С. 52–55.
10. Шахова В.Н., Воробьева А.А., Виткалова И.А., Торлова А.С., Пикалов Е.С. Современные технологии переработки полимерных отходов и проблемы их использования / В.Н. Шахова, А.А. Воробьева, И.А. Виткалова, А.С. Торлова, Е.С. Пикалов // Современные наукоемкие технологии. – 2016. – № 11–2. – С. 320–325.
11. Наполнители полимерных композиций [Электронный ресурс] / Химия и химическая технология в жизни: сайт. – URL: http://www.chemfive.ru/news/napolniteli-polimernykh_kompozicij/2013-08-19-85 (дата обращения: 26.05.2017).
12. Область применения микросфер [Электронный ресурс] // Группа Компаний ИНОТЭК: сайт – URL: http://inoteck.net/mikrosfery_-_primenenie (дата обращения: 26.05.2017).