

O'zbekiston

Kompozitsion **M**ateriallar

Ilmiy-texnikaviy va amaliy jurnali



Узбекский научно-технический и производственный журнал

Композиционные материалы

О МЕХАНИЗМЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ КОМПОНЕНТОВ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ, НАПОЛНЕННЫХ НЕОРГАНИЧЕСКИМИ И ОРГАНИЧЕСКИМИ ИНГРЕДИЕНТАМИ

Н.С. Абед, С.С. Негматов, М. Рахимов

ГУП «Фан ва тараққиёт»

Введение. Как известно, в последние годы композиционные полимерные материалы (КПМ) широко используются в качестве материалов конструкционного назначения в различных отраслях экономики. В Узбекистане также широко ведутся исследования в области разработки эффективных КПМ в качестве заменителей металлических деталей рабочих органов хлопкоперерабатывающих машин и механизмов [1-8]. КПМ, предназначенные для использования при взаимодействии с хлопком-сырцом, должны отвечать специфическим требованиям: высокой тепло- и электропроводностью [9-11], низким коэффициентом трения, антифрикционными и износостойкими свойствами, звуко- и вибропоглощающими свойствами [12], должны обладать антикоррозионными свойствами [21, 22], хорошими реологическими свойствами [13].

Разработка и реализация инновационных технологий в области композиционного материаловедения, обеспечивающее усовершенствование технологического оборудования для переработки хлопка-сырца, являются важной задачей.

Молекулярно-механо-электрическая теория, объясняющая процессы, протекающие при контактом взаимодействии материала с волокнистой массой, считается одной из основополагающей для современного материаловедения и трибологии [14, 23]. Основываясь на данную теорию, комплексное изучение процессов, протекающих в системах «полимер-наполнитель», «композит-хлопок», позволяет выявить закономерности формирования межфазного взаимодействия в полимерных композициях в зависимости от вида полимерных связующих, природы, содержания и структуры наполнителей и хлопка-сырца, разработать эффективные антифрикционные, антифрикционно-износостойкие композиционные полимерные материалы, обеспечивающие повышение работоспособности и эффективности рабочих органов хлопкоочистительных и хлопкоперерабатывающих машин и механизмов.

Обсуждение. Изучение адсорбционных и адгезионных взаимодействий молекул

полимеров с поверхностью наполнителей является одним из важнейших факторов, определяющих свойства наполненных и армированных полимерных систем, особенно у поверхности активированных наполнителей. Рассматривая с позиций физикохимии наполненные системы, можно заметить возрастание плотности в наполненных полимерах за счет адсорбции макромолекул полиолефинов на поверхности наполнителей, приводящее к изменению плотности упаковки. При наличии наполнителей наблюдается некоторое ограничение подвижности макромолекул полимера в поверхностном слое и на границе раздела, обусловленное взаимодействием молекул полимера с поверхностью наполнителя. Причём, чем больше поверхность наполнителя, тем сильнее ограничивается подвижность цепей полимера в ходе формирования поверхностного слоя и тем более рыхлой становится упаковка молекул в указанных системах. При этом происходит изменение распределения межмолекулярных сил и все это отражается на плотности упаковки макромолекул.

Для более полного понимания этих взаимодействий рассмотрим структурные особенности строения полимеров и используемых наполнителей типа каолин и углеродистого наполнителя типа сажи.

На рис. 1 показана пространственная структура цепи линейного полипропилена: цепь I имеет левостороннее вращение спирали, цепь II имеет два участка цепи, различающихся по пространственному расположению метильных групп, - нижний участок имеет левое вращение, а верхний - правое. Цепь III представляет собой одну из возможных форм цепи, имеющей атактическую структуру. Цепь I называется изотактической, цепь III – атактической, цепь II - стереоизомер.

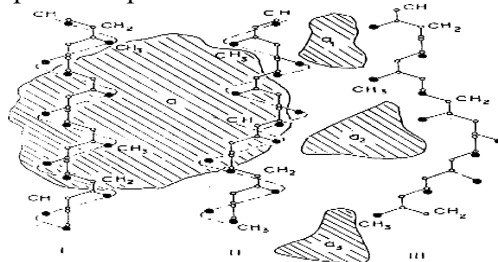


Рис. 1. Пространственная структура участков цепи линейного полипропилена с наполнителями: - спираль, по которой

**располагается цепь полимера; а, а₁, а₂, а₃ -
частицы наполнителя (размеры частиц -
условные)**

Механические свойства ПП зависят от среднего молекулярного веса полимера, полидисперсности и содержания атактической фазы. Уменьшение молекулярного веса, увеличение содержания атактической фазы и все другие изменения, приводящие к ослаблению стереорегулярности, имеет место при действии растягивающих нагрузок на полимер силой 200-300 МПа. Причем разрушение структуры носит необратимый характер [15, 25, 26]. Подобная тенденция наблюдается при нагревании ПП до температуры, превышающей его температуру плавления, равной 433-448 К. Выше этой температуры, например, при 513 К, ПП легко оплавляется, образуя вязко-текучую массу. В этом состоянии ПП необратимо разрушается. При охлаждении его кристаллическая структура не восстанавливается в полной мере и содержание атактической фазы существенно возрастает. Этим объясняется нивелирование эффекта присутствия наполнителей в КПМ, например, в АИППК.

Как известно, наполнители вводят в полимер с целью улучшения его определенных свойств. Однако этого недостаточно, если технология синтеза композиционных полимерных материалов не оптимальна и разрушает кристаллическую структуру полимера. В аморфизированном полимере содержание изотактической и стереорегулярной фаз существенно уменьшено и, соответственно, увеличено содержание атактической фазы. Другим существенным фактором, определяющим свойства наполненных композиций, является прочность связи частиц наполнителя с полимером, конформация и плотность упаковки макромолекул полимера в адсорбционном слое, а также качество полимерной прослойки между частицами, т.е. насыщенность этой прослойки изотактической фазой. Описанное выше химическое взаимодействие наполнителей с ПП с энергией связи $E = 8-20$ ккал/моль обеспечивает образование плотного адсорбционного слоя у частиц наполнителей [16-17]. Однако эффективность влияния этого механизма на изменение физико-механических свойств полимера зависит от дисперсности наполнителей.

Можно легко представить ситуацию, когда, например, в промежутке между макромолекулами I и II ПП (рис.1) локализованы одинокие крупные частицы наполнителя (а), и ситуацию, когда эти одинокие крупные частицы заменены множеством мелких частиц (а₁, а₂, а₃) (на рисунке между макромолекулами II и III), полученных механоактивацией (измельчением) подобной крупной частицы (а).

Рассмотрим физико-химическое взаимодействие наполнителей с ПП. Частицы наполнителя в технологических условиях синтеза КПМ смачиваются оплавленным полимером. Происходит образование адгезионных связей за счет слабых сил притяжения Ван-дер-Ваальса с энергией связи $E = 0,1-1,0$ ккал/моль и за счет физико-химических сил взаимодействия, возникающих между макромолекулами ПП и структурными группами частиц наполнителей. Из имеющихся сведений видно, что в макромолекуле ПП среди атомов водорода наиболее подвижными и положительно заряженными, т.е. активными, являются атомы водорода, находящиеся в α -положении к метильным группам. Поэтому, вероятней всего, именно эти атомы водорода больше всего участвуют в химических взаимодействиях макромолекул ПП.

Одним из важных методов количественной оценки изменения структуры полимера в присутствии наполнителя является удельная поверхность и объем пор, позволяющие дать ценную информацию о плотности упаковки макромолекул, о размере надмолекулярных образований, о характере возникновения и развития дефектов, и распределение напряжений в системе в целом.

В соответствии с вышеизложенным, представляло интерес изучить влияние как неактивированного, так и механоактивированного наполнителя на характер изменения структуры полиолефинов. Установлено, что при механической обработке алюмосиликатного наполнителя типа каолин и углеграфитового наполнителя типа сажи под действием ударно-раскалывающе-истирающей деформации они претерпевают существенные структурные изменения, в частности, возрастание удельной поверхности, адсорбционной способности и проявление активных центров в зависимости от условий механоактивации (таблица 1).

Таблица 1

Адсорбционные характеристики наполнителей

Показатель	Наименование наполнителей			
	каолин		сажа	
	исходный	активированный	исходная	активированная
Удельная адсорбционная поверхность, м ² /г	24	35	152	184
Адсорбция дибутилфталата, см ³ /100 г	31	43	90	110

Как видно из данных таблицы 1, механоактивация способствует увеличению удельной поверхности и повышению адсорбционных характеристик наполнителей.

Рентгенограмма исходного вторичного обогащенного каолина Ангренского месторождения представлена на рис. 2, из которой видно, что ангренский каолин состоит, в основном, из каолинита с показателем преломления $N_g = 1,561$, в качестве примесей встречаются единичные зерна железа, слюды и др.

Межплоскостные расстояния каолинита $d/n = 0,436; 0,384; 0,356; 0,255; 0,248; 0,237; 0,233$ нм. В каолините в качестве примесей содержится кварц с $d/n = 0,424; 0,417; 0,334; 0,245; 0,228$ нм, гидрослюда с $d/n = 0,445; 0,245; 0,255$ %; $0,212$ нм.

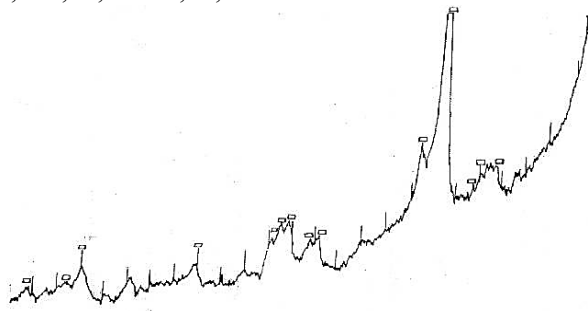


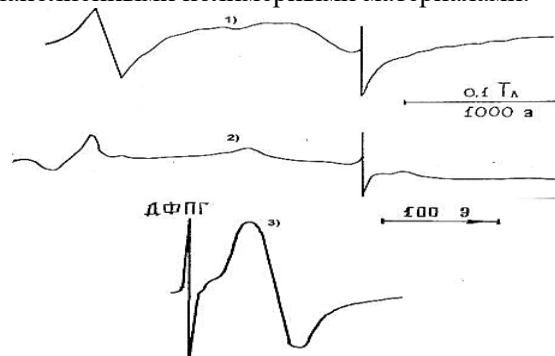
Рис. 2. Рентгенограмма вторично-обогащенного каолина Ангренского месторождения

Результаты исследования свойств и структуры вторичного обогащенного каолина представляют большой интерес для исследования возможности его применения в качестве неорганического наполнителя при получении полимерных композиционных материалов.

Каолин применяется в качестве неорганического наполнителя благодаря его высокой пластичности, связующей способности, высокой дисперсности и достаточной механической прочности высушенных образцов.

Исследование спектров ЭПР механоактивированного каолина Ангренского месторождения указывает на возрастание интенсивности одиночного сигнала в областях

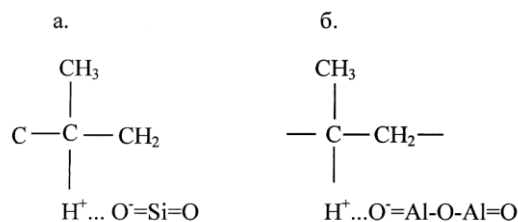
g – фактора 2,0036 ($\Delta H = 740$ Э) и $g = 4,0002$, близкого g – фактору дифенилпикрилгидразина, характерного для стабильного радикала (рис. 3). Полученные данные указывают о радикально активном характере механоактивированных наполнителей. Благодаря радикальной активности механоактивированных наполнителей в условиях переработки КПМ, возможно протекание радикальных процессов с образованием химических связей с активными центрами полиолефинов, приводящее к структурным изменениям на поверхностном слое наполнителя по сравнению с традиционно наполненными полимерными материалами.



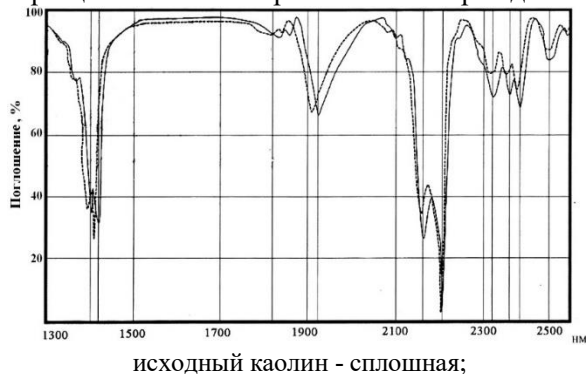
1 – механоактивированный каолин; 2 – исходный каолин; 3 – механоактивированная сажа

Рис. 3. ЭПР – спектры

Система ПП + каолин. Каолин состоит, в основном, из минерала каолинита – гидросиликата алюминия – $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$. При использовании каолина в качестве наполнителя с ПП взаимодействуют основные оксиды металлов компонентов каолинита (Al_2O_3 , SiO_2 , H_2O) с атомами водорода ПП, находящиеся в α -положении к метильным группам, с образованием водородных связей по схеме:



В этой связи были изучены ИК-спектры неактивированного и активированного каолина, которые приведены на рис. 3.20. Как видно из представленных ИК-спектров (рис. 4), наличие полос поглощения ОН групп в областях 1398-1416 и 1389-1416 нм характерно как для исходного, так и для механоактивированного образцов каолина Ангренского месторождения.



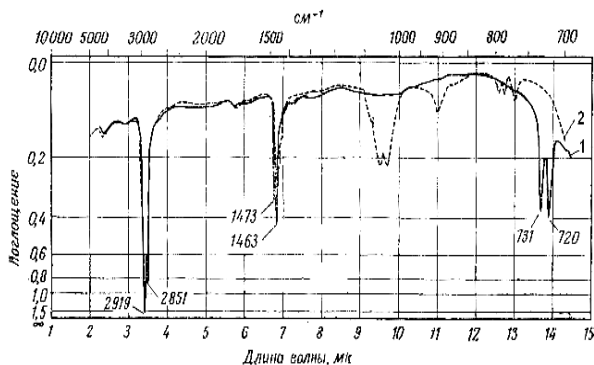
исходный каолин - сплошная;
механоактивированный каолин - штриховая линия

Рис. 4. ИК – спектры исходного и механоактивированного каолина

Наблюдается интенсивность валентных колебаний Si-O связей в областях 2208-2162 и 2208-2162 нм. Максимумы триплета в областях 2381-3218-2356 и 2380-2356-2318 нм указывают на незначительную деформацию кремнекислородных тетраэдров. Результаты ИК-спектроскопических исследований свидетельствуют о некоторых структурных изменениях в процессе механоактивации.

Определенный интерес представляет изучение процессов взаимодействий, протекающих в системе полиэтилен + каолин с помощью ИК-спектроскопии (рис. 5).

Как известно, в ИК-спектре исходного полиэтилена высокой плотности наблюдаются характеристические полосы поглощения: валентные колебания CH_2 – групп в области 2900 см^{-1} , дублет деформационных колебаний CH_2 – групп в области 1470 см^{-1} и дублет маятниковых колебаний CH_2 – групп в области 720 см^{-1} .



1- ненаполненный полиэтилен; 2- наполненный полиэтилен

Рис. 5. ИК – спектры ненаполненного и наполненного полиэтилена

Из анализа представленных ИК-спектров (рис. 5) видно, что введение активированного каолина в состав полиэтилена приводит к некоторому изменению спектра полимера с появлением характеристических полос поглощения в области $700 - 1150 \text{ см}^{-1}$, относящихся к связи оксида металлов. Подобные изменения в ИК-спектрах наблюдаются также и в полиэтилене, наполненном тальком и волластонитом.

Система ПП + сажа, ПП + графит. Важно отметить, что вязкоупругие свойства наполненных полиолефинов, прежде всего, определяются природой химии поверхности наполнителя, структурой сетки наполнителя, степенью взаимодействия между полимерами и наполнителями и молекулярной подвижностью цепей.

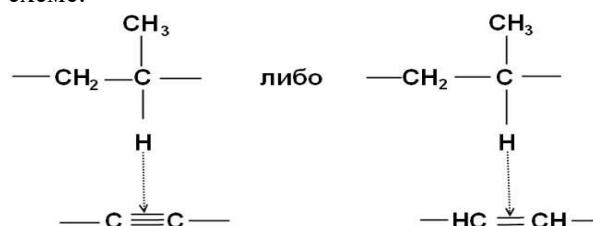
В связи с этим особый интерес представляют КППМ, состоящие из полипропилена+сажи, являющиеся микрогетерогенной системой из адсорбированных на поверхности сажи макромолекул полиолефинов.

В системе ПП + сажа частицы сажи с ПП образуют усиленную микрогетерогенную структуру за счет адсорбции и ориентации участков макромолекул, приводящие к заметному повышению прочностных показателей ПП.

Разумно было бы предположить, что, благодаря специфики химии поверхности дисперсного углерода, наличие полярных функциональных групп: карбоксильных, фенольных, гидроксильных, альдегидных, катонных и других, представляет значительный интерес при создании КППМ с высокой прочностью и износостойкостью.

Структурную формулу сажи условно можно представить в виде $(-\text{C} \equiv \text{C}-)_{\text{п1}}$ или даже $(=\text{C}=\text{C}=)_{\text{п2}}$, где в обоих случаях в молекулах сажи присутствуют π - связи.

Наличие неспаренных π - электронов в структуре ацетиленовой сажи, дающие узкие одиночные сигналы, характерны для свободных радикалов с концентрацией ПМЧ $1 \cdot 10^{14}$ спин/г (рис. 2), что указывает на возможность образования комплексов с водородами ПП по схеме:



Эта связь из-за подвижности составляющей ее электронной пары легко взаимодействует с α - водородами ПП с образованием не очень прочных, так называемых π -комплексов.

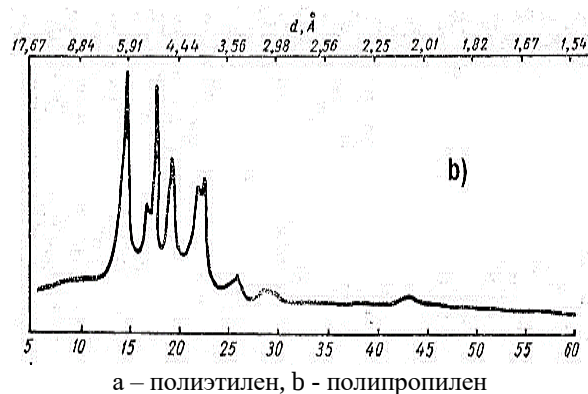
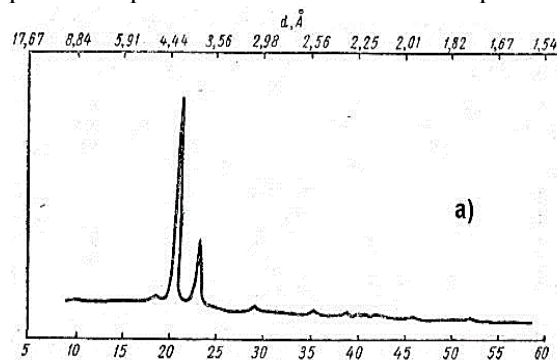
В условиях переработки саженанополненной полипропиленовой композиции литьем под давлением при повышенных температурах, возможно, имеет место взаимодействие α - водорода с активными центрами в структуре сажи, приводящее к сшиванию макромолекул ПП.

Подобные закономерности образования молекулярного взаимодействия наблюдались при использовании механоактивированного графита в качестве наполнителя в полимерных композиционных материалах. При этом каждый атом углерода связан с соседними тремя σ - связями, а четвертый электрон фактически остается неспаренным. Из-за этого элементарное звено графита значительно реакционноспособно и весьма склонно к образованию водородной связи, в частности, с α - водородом макромолекул ПП.

Кроме того, при формировании композиционных материалов под действием повышенной температуры может оторваться α - водород от макромолекул ПП. В результате этого, очевидно, посредством графита может происходить сшивание макромолекул ПП.

Резюмируя вышеизложенное, можно прийти к заключению о том, что все функциональные группы на поверхности дисперсного углерода характеризуются разной степенью активности и влияют на молекулярный состав адсорбционных слоев. Отмечено, что с увеличением содержания кислорода до 5-6 % в функциональных группах технического углерода возрастает интенсивность взаимодействия его с полимерами, создавая благоприятные условия усиления межфазного взаимодействия, приводящее к усилению физико-механических показателей КМ.

На рисунке 6 представлены рентгенограммы полиэтилена и полипропилена.



а – полиэтилен, б - полипропилен
Рис. 6. Рентгенограммы полиэтилена и полипропилена

Анализируя рентгенограммы (рис. 6), можно сказать, что тонкодисперсные наполнители, в основном, скапливаются в менее упорядоченных областях полиэтилена и полипропилена, создавая повышенную концентрацию. Этим и объясняется увеличение прочностных показателей композиционных полимерных материалов.

Результаты исследований механоактивированных наполнителей, как неорганической, так и органической природы, методами микроскопии, рентгеноструктурного анализа, ЭПР-, ИК - спектроскопии позволяют рассматривать заметное влияние механоактивации не только на степень дисперсности, но и на структуру наполнителей, играющие существенную роль при формировании адгезионных связей, и, следовательно, на энергию межфазного взаимодействия на границе раздела полимер-наполнитель, что приводит к усилению свойств наполненных полимерных композиционных материалов.

Система ПП + волокнистые наполнители (стекловолокно, хлопковый линт). Стекловолокно - искусственное волокно, получаемое вытягиванием или расчленением расплавленного стекла состава, вес. %: SiO_2 - 56; Al_2O_3 - 5; CaO - 22; Na_2O - 11; MgO - 6. Оно обладает высокой механической прочностью, химической устойчивостью и термостойкостью.

Основные составляющие - оксидные компоненты стекловолокна, способны образовывать водородные связи между α - водородами ПП и кислородными атомами, присутствующими в оксидах металлов.

Наполнение полиолефинов стеклянными волокнами открывает широкие перспективы создания КМ с улучшенными эксплуатационными свойствами и обеспечивает повышение модуля упругости и коррозионностойкости деталей трущихся пар рабочих органов хлопкоперерабатывающих

машин. В предыдущем разделе было показано улучшение физико-механических свойств ПП, содержащих в своем составе в качестве наполнителя стеклянное волокно, обусловленное протеканием физико-химических взаимодействий между подвижными атомами водорода в α -положении и активными центрами на поверхности стеклянного волокна.

Следует отметить, что в ИК-спектре исходного полипропилена наблюдается валентные колебания CH_2 -групп в области $2920 - 2875 \text{ см}^{-1}$, деформационные колебания CH_2 -групп при 1435 см^{-1} , асимметричные деформационные колебания CH_2 -групп в области 1460 и 1454 см^{-1} , симметричные деформационные колебания CH_3 -групп проявляются в области 1378 см^{-1} . В области $1200-1370 \text{ см}^{-1}$ находятся крутильные колебания CH_2 -групп и деформационные колебания CH -групп. Полосы поглощения в области $700-1200 \text{ см}^{-1}$ вызваны маятниковыми колебаниями CH_3 - и CH_2 -групп.

В ИК-спектре наполненного полипропилена наблюдается довольно интенсивное поглощение в области $500-1200 \text{ см}^{-1}$, которое обусловлено поглощением оксида кремния (рис. 7). Необходимо также отметить значительное уширение полосы и смещение ее в область 1150 см^{-1} , что, вероятно, можно объяснить взаимодействием полимерного связующего с SiO_2 . При этом наиболее сильными линиями поглощения на ИК-спектрах являются линии SiO_2 в составе наполнителя - стеклянного волокна.



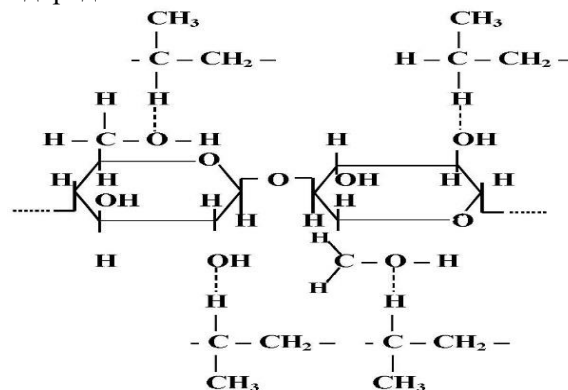
Рис. 7. ИК – спектры ненаполненного и наполненного полипропилена

Изменения ИК-спектра полимерного связующего, вероятно, объясняются тем, что в системе полимер-наполнитель происходят молекулярные взаимодействия между активными центрами на поверхности наполнителя и молекулами полимера. Известно, что на поверхности кварца и других алюмосиликатных наполнителей (каолин, волластонит) имеются ионообменные и

химически активные участки. При этом происходит адсорбция полиолефинов на их поверхности. В ИК-спектрах наполненного полиэтилена и полипропилена зафиксированы изменения формы и положения полос, ответственных за валентные колебания связей в полимерах.

Линт - отход переработки хлопковой целлюлозы, представляет собой полисахарид, построенный из элементарных звеньев ангидро- D -глюкозы, которая насыщена гидроксильными группами. Последние взаимодействуют с α -водородом ПП, создавая прочные кислородно-водородные связи.

Как известно, у целлюлозы, в том числе и у линта, имеется сильное взаимодействие между макромолекулами из-за наличия многочисленных водородных связей, в основном, между атомами кислорода гидроксильных групп и атомами водорода элементарных звеньев. Причем, атомы кислорода гидроксильных групп линта могут также взаимодействовать и с другими водородсодержащими реагентами, в том числе с полимерами типа ПП из-за наличия в его макромолекулах более активных α -атомов водорода по схеме:



Основываясь на результатах ИК- и ЭПР - спектроскопических исследований и современных достижений в области физико-химии наполненных полимерных систем, механизм взаимодействия полимеров с неорганическими и органическими наполнителями в композиционных полимерных материалах можно представить следующим образом.

При технологических условиях синтеза КПМ частицы наполнителя смешиваются с оплавленным полимером. При этом происходит образование адгезионных связей за счет слабых сил притяжения Ван-дер-Ваальса с энергией связи $E = 0,1-1,0$ ккал/моль, и за счет молекулярного взаимодействия, возникающего между макромолекулами полиолефинов (ПП) и структурными группами частиц наполнителя. Как известно, из имеющихся в макромолекуле ПП атомов водорода наиболее подвижными и

положительно зараженными, т.е. активными, являются атомы водорода, находящиеся в α -положении к метильным группам. По природе электронного строения, вероятно, эти атомы водорода более склонны к участию в молекулярных взаимодействиях.

В случае использования механоактивированных алюмосиликатных наполнителей, за счет увеличения удельной поверхности, по всей вероятности, имеет место образование дополнительных водородных связей и возникновение хемосорбции полимера на развитой поверхности наполнителя за счет взаимодействия с активными центрами.

Полученные данные указывают на возрастание площади поверхностного контакта, и, следовательно, концентрации граничных слоёв, что, в конечном счете, приводит к изменению не только структуры, но и свойств композитов.

Следует отметить, что наполнители характеризуются также геометрией частиц, т.е. формой и размерами частиц и распределением по размерам - полидисперсностью.

Механоактивация увеличивает число частиц, удельную поверхность частиц и способствует активации поверхности, возникающих в процессе измельчения частиц [15,18-20, 24].

Очевидно, что в процессе переработки между активными центрами частиц наполнителя и макромолекулами ПП происходит молекулярное взаимодействие. Для крупных частиц эти связи носят единичный характер, а для мелких - множественный характер. В последнем случае наблюдается упрочнение межмолекулярных связей между макромолекулами ПП, даже если некоторые из этих макромолекул имеют атактическое строение. Имеет место своеобразная сшивка макромолекул ПП. Наблюдаемую картину можно представить как точечное армирование полимера, в результате которого образуется качественно новый материал - КПМ. Этот материал, благодаря совершенству структуры,

будет иметь улучшенные физико-механические характеристики. При этом сажа и графит уменьшают коэффициент трения, волластонит, линт, стекловолоконно придадут композиционным материалам большую износостойкость, мел и каолин повысят их твердость, волластонит, линт и стекловолоконно увеличат ударную вязкость, предел прочности на изгиб и в целом наполнители увеличат модуль упругости и прочностные свойства КПМ.

В связи с этим, при получении композиционных полимерных материалов, наполненных, особенно механоактивированными, минеральными, углеграфитовыми и волокнистыми наполнителями, может иметь место химическое взаимодействие между наполнителем и полимером, в результате чего происходит образование прочных связей между частицами наполнителя и полимером, обеспечивающее образование плотного адсорбционного слоя и адгезионных связей, возникающих между макромолекулами полимера и структурными группами частиц наполнителя. При этом, наряду с водородно-кислородными или водородно-углеродными связями, возникают также связи, обусловленные действием сил Ван-дер-Ваальса, происходит упрочнение межмолекулярных связей между макромолекулами полимеров, улучшающих свойства композиционных полимерных материалов.

Заключение. Таким образом, целенаправленное использование комбинаций органо-минеральных наполнителей, благодаря особенностям специфики структур, создает благоприятные условия переработки композиционных полимерных материалов с пониженной усадкой, достаточной плотностью и улучшенными механическими и триботехническими характеристиками, которые являются весьма важными при изготовлении деталей из КПМ сложной конструкции.

ЛИТЕРАТУРА:

1. S. S. Negmatov, A. N. Shernaev, G. Gulyamov, N. S. Abed-Negmatova, M. M. Saidov, D. H. Musabekov, Sh. S. Negmatov, M. I. Negmatova. Wear-resistant polymer composite filled with finely dispersed wood and carbon/graphite powders. AIP Conf. Proc. 11 July 2012; 1459 (1): 329–331. <https://doi.org/10.1063/1.4738486>
2. Musabekov, D., Abed-Negmatova, N., Gulyamov, G., Shernaev, A., Khodjimuradov, D., & Negmatov, S. (2011). Effective Composite Materials for Friction Pairs of Working Bodies of Cotton Machines. In *Advanced Materials Research* (Vol. 413, pp. 548–550). Trans Tech Publications, Ltd.
3. Негматов Ш.С., Каримов Н.Н., Гулямов Г. Возможности загорания хлопка-сырца при его взаимодействии с рабочими органами хлопковых машин // Композиционные материалы. - Ташкент, 2007.- № 1. – С.85-86.

4. N. S. Abed-Negmatova, G. Gulyamov, S. S. Negmatov, D. M. Hodzhikariev, J. N. Negmatov, Sh. Sh. Eminov, Sh. Bozorbaev, A. Aripova, M. I. Negmatova. Durability of composite polymer materials working in contact with pulp. AIP Conf. Proc. 11 July 2012; 1459 (1): 283–285. <https://doi.org/10.1063/1.4738470>
5. Abed-Negmatova, N., Negmatov, J., Gulyamov, G., Yuldashev, A., Eminov, S., Bozorboev, S., Aripova, A., Negmatov, S., & Xojimuradov, D. (2011). Composite Polymer Materials and the Details Made of them for Cotton Machines and Mechanisms. *Advanced Materials Research*, 413, 535–538.
6. Abed Negmatova, N. S., Negmatov, S. S., Gulyamov, G., & Negmatov, J. N. (2012). Antifriction Wear-Resistant Composite Materials and Details Made from them for Working Bodies of Cotton Machines and Mechanisms. *Advanced Materials Research*, 616–618, 2005–2008.
7. Features of contact interaction of composite polymer materials with raw cotton in the process of friction.. Eshkobilov O.Kh., Negmatov S.S., Abed N.S., Gulyamov G. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 1030(1) (2021),
8. Engineering composite materials for the cotton processing industry. Nodira Abed, Olim Eshkobilov, Giyas Gulyamov, Malokhat Tuhtasheva. E3S Web of conference 264, 05053 (2021)
9. Olim Eshkobilov, Soyibjon Negmatov, Nodira Abed, Giyas Gulyamov. Investigation of the process of electrification of composite polymer coatings in the case of frictional interaction with the fibrous mass. AIP Conf. Proc. 16 June 2022; 2432 (1): 050009. <https://doi.org/10.1063/5.0089709>
10. Thermodynamic compatibility and structural characteristics of interpenetrating polymer vibration damping systems for engineering purposes. Soyibjon Negmatov, Nodira Abed, Tulkin Ulmasov and Burkhon Khaminov. E3S Web of Conf., 401 (2023) 05095. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202340105095>
11. Sergienko, V.P., Bukharov, S.N., Anisovich, A.G., N.S. Abed, A.Ya. Grigoriev. The Effect of a High-Frequency Electromagnetic Field on Dynamic Mechanical and Tribotechnical Characteristics of Frictional Composites with a Thermosetting Polymer Matrix. *J. Frict. Wear* 42, 401–407 (2021).
12. Bukharov, S.N., Tuleiko, A.S., Sergienko, V.P., Abed, N.S., Alexiev, A.R. (2021). Advanced Sound Absorbing Materials to Reduce Noise and Improve the Environmental Situation in Production Facilities and Transportation. In: Karabegović, I. (eds) *New Technologies, Development and Application IV. NT 2021. Lecture Notes in Networks and Systems*, vol 233. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-75275-0_50
13. A. Kh. Yuldashev, S. S. Negmatov, N. S. Abed-Negmatova, A. G. Abdurakhmanov, Sh. A. Bozorov, Sh. Sh. Eminov, A. Aripova, D. M. Khodjkariev. Melt index of low-density polyethylene and its effect on rotational molding. AIP Conf. Proc. 11 July 2012; 1459 (1): 344–346. <https://doi.org/10.1063/1.4738491>
14. Негматов С.С. Основы процессов контактного взаимодействия композиционных полимерных материалов с волокнистой массой. -Ташкент: Фан. 1984. – 296 с.
15. Симонов-Емельянов Н.Д. и др. Структурирование, составы и свойства дисперсно-наполненных полимерных нанокompозитов // Пластические массы. – Москва, 2012. - № 6. – С. 7-13.
16. Липатов Ю.С. Физико-химические основы наполнения полимеров. –М.: Химия, 1991. -260 с.
17. Соломко В.П. Наполненные кристаллизующиеся полимеры. –Киев: Наукова думка, 1980. -264 с.
18. Трепинник В.Б., Любомов Б.В. и др. Физико-химические и технологические основы механической активации сырья в технологии строительной керамики // Керамика. -Москва, 1988. -№ 4. –С.26.
19. Негматов С.С., Гулямов Г. Механическая активация композиций на основе термопластичных полимеров // Научн. конф. по современным проблемам высокомолекулярных полимеров: Тез. докл.-Бухара, 1998. –С.72-73.
20. Негматов С.С., Гулямов Г. Механоактивация наполненных полимерных композиций / Композиционные материалы и их применение: Сб. науч. тр. -Ташкент: Фан ва тараққиёт, 1998. –С.7-10.
21. Machine-building anti-corrosion composite polymeric materials and coatings based on local raw materials and production waste. S. S. Negmatov, N. S. Abed, S. U. Sultanov and U. K. Kochkarov. E3S Web of Conf., 401 (2023) 05042 DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202340105042>
22. Sanjar Sultanov, Komila Negmatova, Soyibjon Negmatov, Nodira Abed, Madina Babakhanova, Muxabat Matsharipova, Gulshan Valiyeva, Olloberdi Madraximov, Nilufar Umirova, Muxiba Babakhanova, Azizbek Nasriddinov; Anti-corrosion coating for engineering purposes. AIP Conf. Proc. 16 June 2022; 2432 (1): 050016.
23. Негматов С.С. Условия эксплуатации основных рабочих органов машин и механизмов для уборки и переработки хлопка-сырца. - Ташкент: Узбекистан, 1980.- 62 с.
24. Негматов С.С., Гулямов Г. Механическая активация композиций на основе термопластичных полимеров // Научн. конф. по современным проблемам высокомолекулярных полимеров: Тез. докл.-Бухара, 1998. –С.72-73.
25. Симонов-Емельянов Н.Д. Принципы создания и переработки полимерных композиционных материалов дисперсной структуры нанокompозитов // Пластические массы. Москва, 2005. № 1. С. 11-16.
26. Берлин А.А. Вольфсон С.А., Ениколопов Н.С. Принципы создания композиционных полимерных материалов. -М.: Химия, 1990. -238 с.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Химия и физикохимия композиционных материалов и нанокompозитов

- Н.С. Абед, С.С. Негматов, М. Рахимов. О механизме физико-химических взаимодействий компонентов композиционных полимерных материалов, наполненных неорганическими и органическими ингредиентами..... 3
- Д.М. Бердиев, В.М. Константинов, Т.Н. Ибодуллаев. Изучение процесса термоциклической обработки при нагреве без фазовой и с полной фазовой перекристаллизацией..... 11
- L.S. Raxmatullaev, M.O. Karimov, Sh.N. Qiyomov. Polietilenni organo mineral qo'shimchalar bilan modifikatsiyalash.. 13
- F.A. Khamdamova, O.S. Maksumova. Synthesis and properties of a monomeric complex compound based on acrylamide. 17
- А.Т. Шамишова, О.М. Исакова, Д.Н. Махкамova, З. Тураев, И.И. Усманов. Исследование взаимодействия компонентов в системе $KNO_3-CuSO_4-H_2O$ 19
- Н.Н. Рахматуллаева, Л.В. Гальперин, З.Д. Эрматов, Н.С. Дуняшин. Исследование взаимодействия расплавленного металла и шлаков при автоматической дуговой сварке под слоем флюса..... 22
- Л.В. Гальперин, Н.Т. Рахматуллаева, Н.С. Дуняшин, З.Д. Эрматов. Исследование взаимодействия металла со сложными газами при разработке состава керамических флюсов для автоматической дуговой сварки низкоуглеродистых и низколегированных сталей..... 25
- A.F. Ishankulov. Polimerlar bilan ko'p komponentli gibridd kvant nuqtalari kompozitlarining lyuminestsensiyasi va optik-o'lcham xossalari..... 28
- Ш.М. Улашов, Г.А. Ихтиярова. Изучение взаимодействия аминополисахарида хитозана apis mellifera с глутаровым альдегидом..... 30
- A.A. Ermatova, X.Q. Abdushukurova, Sh.S. Ismoilova. Sorbtion-spektroskopik usulda og'ir va zaharli metallarni aniqlash..... 33
- A.A. Ermatova, N.S. Umirov, Sh.Q. Tashbayeva. Сирдарё вилояти тупроклари таркибидаги оғир ва захарли металллар микдори тахлили..... 35
- Sh.T. Khojiev, H.Sh. Sultonov, Sh.A. Muxametdjanova. Xalkopiritni magnetit bilan ta'sirlashish jarayonining ba'zi termodinamik jihatlari..... 37
- Б.А. Юсупов, У.К. Абдурахманова. Янтар кислотасининг янги ҳосилалари синтези..... 41
- А.Ш. Хусенов, А.Ж. Жонузов, Д.С. Камалова, Г. Рахманбердиев. Некоторые особенности химического строения хлоринулина..... 44
- М.И. Мамасалиева. Эффективное полимерное покрытие материалом PVDF..... 47
- Х.У. Усманова, Х.Ш. Бобожонов, З.А. Сманова. Алюминий ва индий ионларини атроф-мухит объектларидан сорбцион-флуоресцент усулда аниқлаш..... 50
- L.B. Pulatova, A.B. Kasimova. Advantages and characteristics of TPU filament over PLA filament when using 3D printing technology in clothes..... 53
- K.N. Sultonov, I.S. Sedalova. Zol-gel metodida TiO_2 nanokompozitmateriallar sintezi va tahlili..... 59
- S.X. Jamolov, M.A. Abdurazov. Rezina kukuni va polimer chiqindisini asfaltbeton qoplamasining mustahkamligini oshirishda sirt-faol kompozit material sifatida qo'llash texnologiyasi 62
- Ш. Урозов. Табиий минерал хомашёси асосида олинган ZSM-5 цеолит аналогининг адсорбцион хусусиятлари..... 66

2. Физико-механика и трибология композиционных материалов

- Н.Р. Шеркулова, Д.Т. Шодиев, Р.М. Давлатов. Изучение улучшения прочностных характеристик натурального хлопкового волокна при модификации..... 70
- Б.Т. Хаминев, С.А. Умаров, Д.Ш. Бахриддинова. Қаттиқ қотишмаларнинг физик-механик хоссаларини ошириш усуллари таҳлил қилиш..... 72
- А. Иргашев, Н.А. Эгамбердиева. Оценка износостойкости композиционных шестерен по концентрации продуктов износа в масле агрегатов..... 76
- Б.Т. Хаминев, С.А. Умаров, Д.Ш. Бахриддинова. Вольфрам карбид кобальтти қаттиқ қотишма структура ва физик-механик хоссаларига ультрадисперс TiC заррачалар микдорининг таъсирини аниқлаш..... 78
- Н.А. Хусанов. Электроконтакт усулида қоплама қоплашда қоплама макро ва микроструктурасига қуқуннинг детал юзасига сиқишдаги бошланғич босим таъсирини тадқиқ этиш..... 83
- С.С. Самадов, Б.Ф. Мухиддинов, С.С. Негматов, М.Э. Икрамова. Исследование структуры, теплофизических и физико-механических свойств модифицированных эпоксидных композитов..... 84
- Kh.E. Fayzullaev. Study of the influence of fillers on developed composite materials for mechanical engineering..... 88
- Б.Т. Хаминев, С.А. Умаров, Д.Ш. Бахриддинова. Ультрадисперс TiC қуқуни микдорининг вольфрам карбид кобальтти намуналарнинг физик-механик хоссаларига таъсирини аниқлаш..... 91
- Ю.И. Попкова, А.Я. Григорьев. Влияние микролегирования сталей насосно-компрессорных труб на их коррозионную стойкость в скважинных условиях нефтеносных месторождений..... 93

3. Разработка и технология получения композиционных материалов

- A.N. To'rayev, N.D. Turaxodjayev, Sh.N. Saidxodjayeva, Sh. Xudoyqulov, Sh.N. To'raxo'jayeva, R.X. Murodqosimov. Alyuminiy qirindilaridan ferroqotishma olish texnologiyasini ishlab chiqish..... 101
- A.A. Мухамедов, К.В. Гузашвили, З.Б. Мирзарахимова, Н.А. Воронков. Первичное обогащение каолиновых месторождений Узбекистана и применение их в производстве шамотных изделий..... 103