

Композиты на основе полимерной матрицы

Материалы, которые использовал человек в своей деятельности, всегда играли важную роль в прогрессе цивилизации. Они даже дали названия целым этапам развития человечества: каменный век, бронзовый век, железный век... Сейчас круг материалов, созданных и используемых в быту и технике, особенно военной, чрезвычайно широк, однако современную эпоху нельзя представить без полимеров.

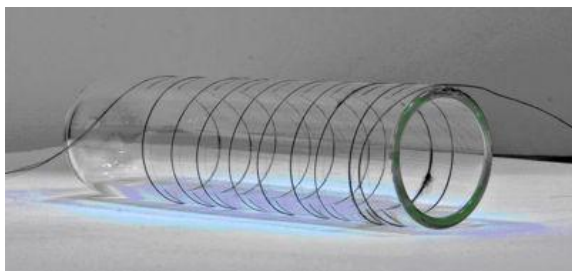
Состав и основные свойства полимерных композитов

Полимерные композиционные материалы (ПКМ) или армированные пластики состоят из высокопрочных волокон (частиц, слоев) различной природы (стеклянных, углеродных, металлических, полимерных и др.) и полимерного связующего - матрицы, склеивающей волокна в монолитный материал. Настоящий бум в современном материаловедении возник в конце первой половины XX в., когда появились прочные и легкие стеклопластики и из них начали делать планеры, а затем и многое другое.

Многообразие армирующих волокон и полимерных связующих, а также схем армирования позволяет направленно регулировать прочность, жесткость, уровень рабочих температур и другие свойства ПКМ. Эффективными средствами регулирования являются сочетание в одном материале волокон с различными упруго-прочностными свойствами (например, борных и стеклянных, углеродных и органических), введение нитевидных кристаллов и дискретных волокон в полимерную матрицу. Это определяет одно из важнейших достоинств ПКМ - возможность создавать элементы конструкций с заранее заданными свойствами, наиболее полно отвечающими характеру и условиям их работы.

Компоненты армированного пластика - это наполнитель (волокна, частицы) и полимерная матрица. Для создания стабильных и устойчивых в работе ПКМ важно состояние границы раздела.

Армирующие волокна для ПКМ



Армирующие волокна несут основную механическую нагрузку и именно они определяют прочность и жесткость (модуль упругости) материала.

Стеклянные волокна вытягивают из расплавленной, специально приготовленной смеси оксида кремния с оксидами разных металлов. Основные затраты - затраты энергии на расплавление и гомогенизацию смеси. Стеклопластики - наиболее дешевые композиты, однако их главные недостатки - сравнительно большая плотность и низкий модуль упругости.

Для преодоления этих недостатков применяют углеродные волокна. В качестве сырья для получения углеродных волокон используют полимерные полиакрилонитрильные или вискозные волокна. Специальная многостадийная термическая обработка полимерных волокон при высоких температурах (2000°C и выше) приводит к карбонизации и графитизации волокон, в результате чего конечное волокно состоит только из углерода и имеет различную структуру и свойства в зависимости от режима термообработки и структуры исходного сырья. Углеродные волокна непрерывно совершенствуются, повышаются их прочность и жесткость, увеличивается ассортимент. Один из перспективных путей снижения их цены - использование нефтяных и других пеков (тяжелых полиароматических соединений) в качестве исходного сырья. Кроме того, волокна из пеков обладают повышенным модулем упругости. Углеродные волокна и композиты на их основе имеют глубокий черный цвет и хорошо проводят электричество, что определяет и ограничивает области их применения.

На основе углеродных волокон делают различные углепластики, в том числе, и самый теплостойкий композит - углерод-углеродный, в котором матрицей, склеивающей углеродные волокна, служит практически чистый углерод.

Борные волокна получают методом химического осаждения из газовой фазы по реакции: $BCl_3 + H_2 + HCl$ Осаждение ведется на тонкую (диаметром несколько микрон) вольфрамовую проволоку. Технология получения борного волокна очень сложная, поэтому они имеют высокую стоимость.

Говоря об армирующих волокнах, следует остановиться на высокопрочных высокомодульных полимерных волокнах. Для них характерны низкая плотность, высокая удельная прочность при растяжении и достаточная прочность при сжатии и изгибе, высокое сопротивление динамическим нагрузкам. Полимеры, из которых получают такие волокна, делятся на жесткоцепные [полипарафенилентерефталамид (кевлар) и полибензоатиазол] и гибкоцепные (полиэтилен и поливиниловый спирт). Макромолекулы в волокнах, изготовленных из этих полимеров, в основном ориентированы в направлении оси волокна и свойства волокна (прочность, модуль упругости и др.) различны вдоль и поперек его. Чем выше степень ориентации макромолекул полимеров, тем выше прочность при растяжении вдоль волокон. Макромолекулы в жесткоцепных полимерах при высокой температуре сами стремятся сориентироваться в одном направлении, поэтому при изготовлении волокон из этих материалов используют стадию термообработки. Основная проблема достижения высоких характеристик волокон из гибкоцепных полимеров - добиться высоких степеней ориентации в процессе вытяжки и избежать разрывов макромолекул. Полиэтиленовые волокна могут иметь очень высокие прочность и модуль упругости при самой низкой плотности. Однако они имеют и недостатки - низкие рабочие температуры (до 100°C) и

плохая адгезия к большинству полимерных матриц. Среди композитов этого типа можно также назвать органопластики (армированные пластики на основе органических полимерных волокон) (рис.1). В качестве армирующего наполнителя органопластиков применяют органические природные и синтетические волокна, нити, жгуты, ткани, трикотаж, холсты и др. Разработаны и применяются и другие волокна. Свойства различных волокон приведены в таб.1, где для сравнения даны характеристики высокопрочного стального волокна.



Рис. 1. Химическая структура некоторых полимерных волокон

Таблица 1

Свойства различных армирующих волокон

Материал волокна	Прочность, ГПа	Модуль упругости, ГПа	Плотность, г/см ³	Типичный диаметр, мкм
Сталь	2-3	200	7,8	-
Стекло	3,5-4,6	72-100	2,5-2,9	3-25,80
Ароматический полиамид	3,8-5,5	120-185	1,43-1,47	10-12
Полибензотиазол	3,0-3,3	335	1,5	-
Полиэтилен	2-3,5 (7)	50-125 (200)	1	30-35
Углерод высокопрочный	3,6-7,2	300	1,8	3-10
Углерод высокомодульный	2,5-3,25	500-800	1,8-2,2	3-10
Оксид алюминия	2,2-2,4	385-420	3,95	10-25
Карбид кремния	3,1-4,0	410-450	2,7-3,4	100-140
Бор	3,45	400	2,6	100-200

Матрицы для ПКМ

Разработка полимерных матриц - важная технологическая задача, поскольку многие свойства ПКМ определяются матрицей, связывающей волокна друг с другом, создавая монолитный конструкционный материал.

Требования к полимерным матрицам, представленные в таб.2, можно разделить на три группы:

- 1) прочность, жесткость, теплостойкость;
- 2) пластичность, вязкость разрушения, ударная вязкость;
- 3) перерабатываемость, технологичность связующего.

При модификации материала матрицы, изменении условий, химической структуры, степени химической сшивки с улучшением свойств одной группы, автоматически ухудшаются другие.

Таблица 2

Требования к полимерным матрицам

Свойства пластика ПКМ	Свойства полимерной матрицы
Теплостойкость	Высокая температура размягчения (стеклования)
Водо-, атмосферостойкость	Низкое водопоглощение, слабое изменение свойств при влагопоглощении
Прочность при растяжении вдоль волокон	Оптимальная прочность, высокая вязкость разрушения
Прочность при сжатии вдоль волокон	Высокая прочность и жесткость, высокая вязкость разрушения, оптимальная адгезия
Трансверсальная прочность, сдвиг	Хорошая адгезия, высокая прочность, большие удлинения.
Ударная вязкость	Высокая ударная вязкость, оптимальная адгезия
Технологичность	Низкая вязкость связующего, повышенная жизнеспособность, нетоксичность, пониженная температура отверждения (переработки)

Полимерные матрицы делятся на два основных класса: термореактивные; термопластичные.

Первые представляют собой сравнительно низковязкие жидкости (при температуре термообработки), которые после пропитки армирующего материала (волокон, нитей, лент, тканей) за счет химических реакций превращаются в неплавкую твердую полимерную матрицу. Этот химический процесс называют отверждением. Вторые представляют собой линейные полимеры, которые могут при повышении температуры многократно переходить в жидкое расплавленное состояние.

К достоинствам термореактивных связующих следует отнести: хорошие технологические свойства (хорошая смачиваемость и пропитываемость армирующего материала, сравнительно низкие температуры отверждения); хорошая адгезия к большинству волокон; повышенная теплостойкость; стойкость в различных средах (химическая, водо- и атмосферостойкость, низкая проницаемость для жидкостей и газов).

Свойства можно регулировать в широком диапазоне путем варьирования компонентов, добавления модификаторов, катализаторов и изменения условия отверждения.

Недостатки термореактивных связующих: хрупкость, низкие вязкость разрушения и ударная прочность (усугубляются для высокотеплостойких матриц); невозможность вторичной переработки; длительное время отверждения из-за необходимости проведения экзотермической химической реакции в мягком режиме; ограниченное время жизни препрега (полуфабрикат полимерного композита); значительная химическая усадка.

В последние годы началось широкое применение термопластичных высокотеплостойких полимеров в качестве матриц для ПКМ. Для термопластов характерно сочетание высоких прочности и теплостойкости (суперконструкционные пластики (рис. 2)) с высокими ударной прочностью, трещиностойкостью.

Среди достоинств термопластов можно отметить: возможность вторичной переработки; облегчение ремонта изделий; более эффективные методы переработки более высокая производительность; практически бесконечная жизнеспособность препрегов - время между его изготовлением и переработкой в изделие; пониженные горючесть и дымовыделение при горении, высокая стойкость к излучению.

Замена термореактивных связующих на термопластичные требует решения ряда сложных технологических задач. Из-за большой вязкости расплавов полимеров приходится работать при высоких температурах и давлениях. Для преодоления этих трудностей предложены разные способы, например, пленочная технология.

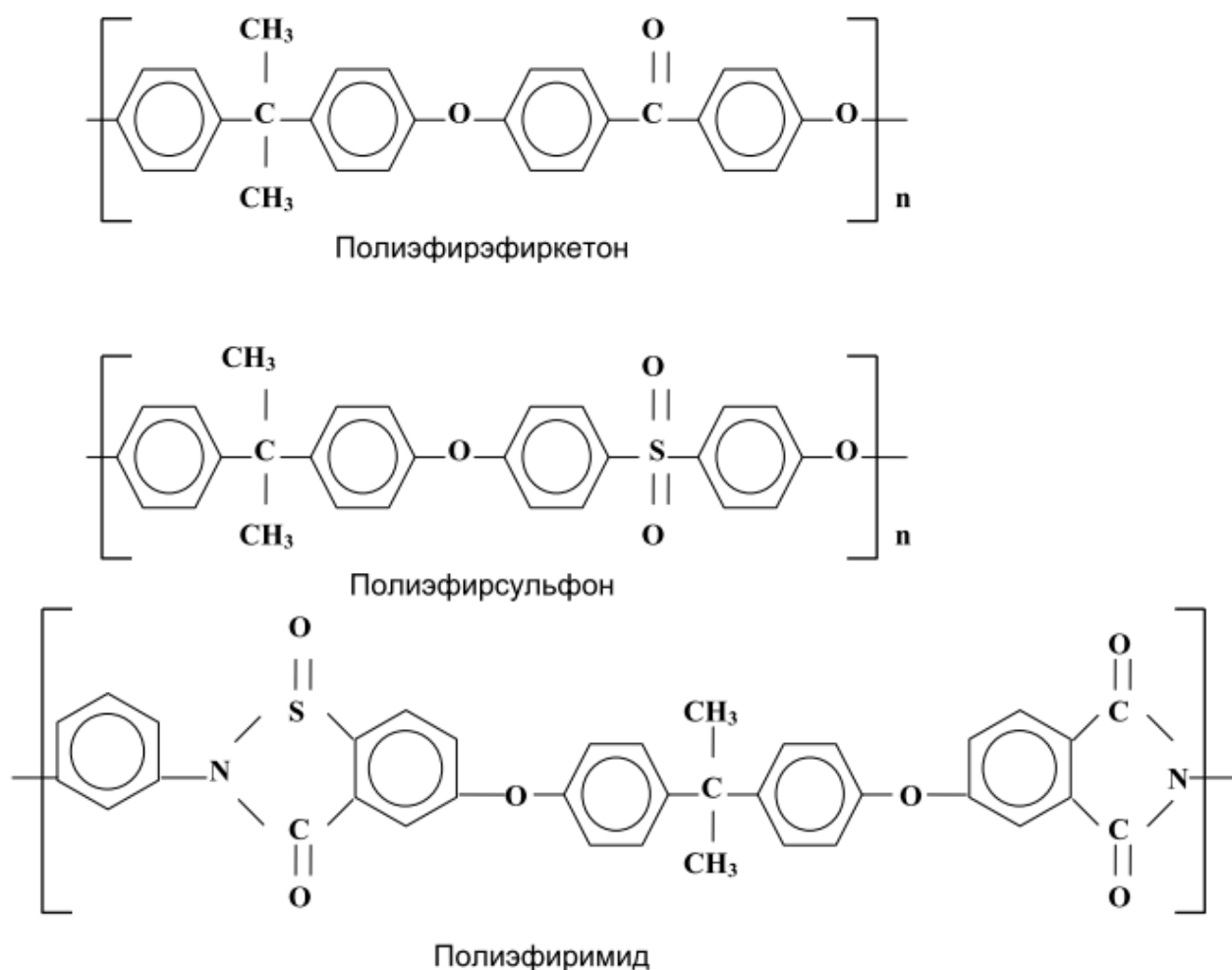


Рис. 2. Химические структуры некоторых термостойких термопластичных связующих для армированных пластиков

Наногибридные полимер-неорганические композиты

Наряду с волокнистыми, среди полимерных композитов большое значение, особенно в последние годы, приобрели наногибридные полимер-неорганические композиты. В таких материалах расстояния между сетками и слоями, образованными полимерными и неорганическими компонентами, а чаще всего и размеры образующихся частиц, в том числе и металлосодержащих, имеют нанометровые размеры. Органическая фаза может захватывать металлочастицы внутрь своеобразной «ловушки» с оптимальными размерами полимерной или оксидной сетки, полимерного звена. В качестве неорганических составляющих используют оксиды кремния и алюминия, ванадия и молибдена, стекла, глины слоистые силикаты и цеолиты, фосфаты и халькогениды металлов, графит и др. Например, полиимидные композиты с наноразмерными частицами SiO₂ или TiO₂ обладают высокой механической прочностью

при формировании трехмерных неорганических сеток.

Поверхность раздела фаз в ПКМ

Граница раздела матрица - армирующий элемент часто наиболее слабое место материала и здесь начинается разрушение как при механических нагрузках, так и при других воздействиях. Поэтому во многих случаях проводят специальную обработку поверхности волокон. Например, углеродные волокна подвергают окислению, в результате чего на их поверхности образуются гидроксильные, оксидные и другие полярные группы, хорошо взаимодействующие с полимерной матрицей. Так же поступают и с полиэтиленовыми волокнами, обрабатывая их в плазме. На стеклянные волокна наносят специальные химические вещества - аппреты, которые чаще всего вступают в химические реакции как с поверхностью волокна, так и со связующим при его отверждении, образуя химическую связь между волокном и матрицей.

Межфазным взаимодействиям между неорганическим и полимерным компонентами отводится ведущая роль и в высокодисперсных гибридных полимернеорганических композитах. По характеру межфазного взаимодействия гибридные нанокompозиты делят на два основных типа. К гибридным материалам первого типа относят аморфные неорганические нанокompозиты из металлоксиполимеров (Si, Ti, Al, Zr), формирующихся путем реакций гидролиз-конденсация в среде растворимого органического полимера. По существу, это гомогенное формирование наночастиц наполнителя в среде органического полимера. Как правило, микроструктура таких нанокompозитов регулируется за счет образования слабых Ван-дер-Ваальсовых и водородных связей. Ко второму типу могут быть отнесены материалы, в которых органические молекулы либо полимеры, внедрены в качестве «гостей» в структуры, получаемые методами золь-гель-синтеза, и обладающие интеркаляционными свойствами. Характерный пример - внедрение в гель V_2O_5 в водном растворе полиэтиленоксида мономеров анилина с последующей полимеризацией. Особое внимание уделяется гибридным сетчатым композитам, в которых органический и неорганический компоненты связаны сильными ковалентными или ионными химическими связями.

Методы получения полимерных композитов

Отличительная особенность изготовления изделий из ПКМ состоит в том, что материал и изделие в большинстве случаев создаются одновременно. При этом изделию сразу придают заданные геометрические размеры и форму, что позволяет существенно снизить его стоимость и сделать конкурентноспособным с изделиями из традиционных изотропных материалов.

Метод изготовления слоистых и намотанных ПКМ

Выбор материала матрицы и геометрической структуры композита диктует и выбор способа его изготовления. На рис. 3 показан обычный способ изготовления слоистых и намотанных композитов с полимерной матрицей. Волокна сматывают с бобин, подвергают поверхностной обработке, улучшающей адгезию, протягивают через ванну с полимерной смолой. В результате смола скрепляет волокна в плоский жгут - ленту. Готовые ленты собирают в слоистый листовый материал (аналог фанеры) или наматывают на форму. Собранный в листы материал отверждают термообработкой. Слои можно накладывать поочередно с разным направлением волокон и формировать в композите клетчатую структуру арматуры, что придает материалу жесткость. Недостатком такого композита является отсутствие поперечного армирования в каждом отдельном слое и между слоями, поэтому материал может расслаиваться. К тому же появившаяся трещина в объемном образце из такого композита легко находит путь распространения между слоями. Для устранения этого недостатка изготавливают тканые композиционные материалы.

Как отмечалось, подготовка волокнистого наполнителя предусматривает операции, заключающиеся в обработке поверхности волокон для улучшения их смачивания связующим и увеличения прочности сцепления между наполнителем и связующим в готовом ПКМ. Это могут быть следующие операции: аппретирование, активирование и химическая очистка поверхности, удаление влаги и др.

В производстве ПКМ используются твердые и жидкие связующие. Приготовление связующего включает измельчение, отсеив нужной фракции, сушку, добавление необходимых ингредиентов (отвердителей, пластификаторов, катализаторов), гомогенизацию смеси или приготовление раствора, эмульсии, а для термопластов - переработку в листовую или пленочный материал.

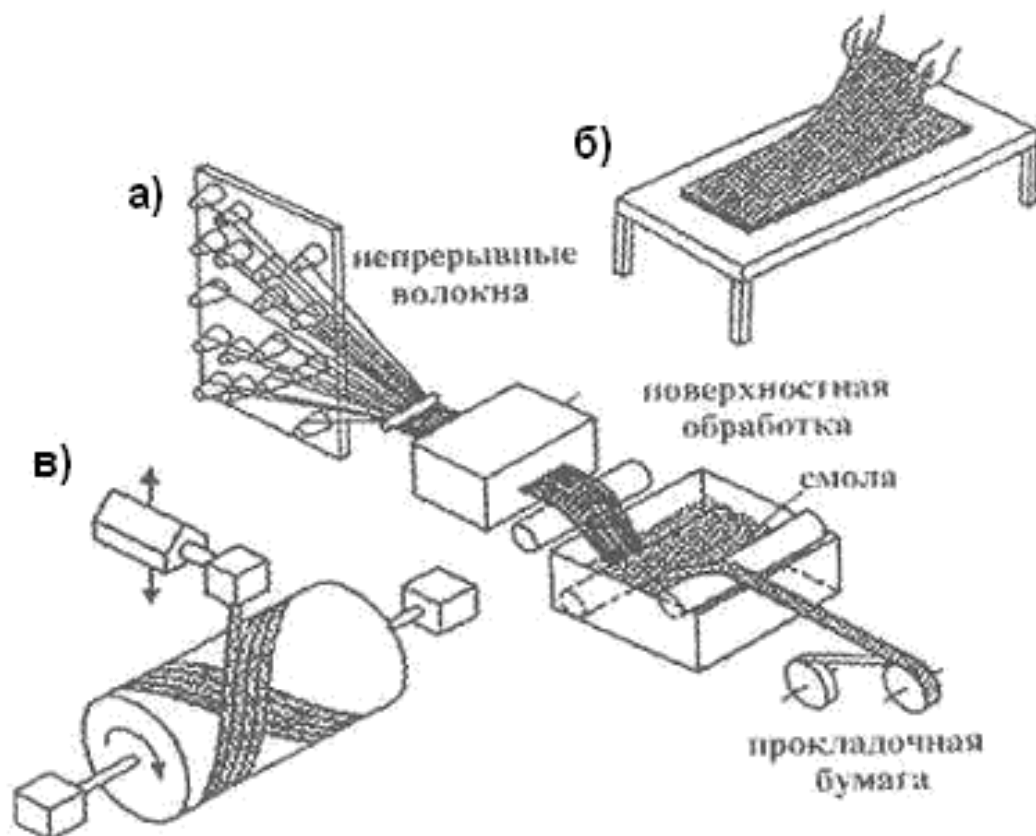


Рис. 3.Изготовление слоистых намотанных композитов с полимерной матрицей:

а - общая схема изготовления ПКМ; б - схема изготовления многослойного листового ПКМ; в - схема изготовления многослойного намотанного ПКМ

Совмещение волокнистого наполнителя со связующим производится различными способами: нанесением раствора или расплава связующего на поверхность волокнистого наполнителя при прохождении его через жидкое связующее или с помощью вращающегося ролика, погруженного в связующее; напылением жидкого связующего: пропиткой под вакуумом или давлением армирующего наполнителя, имеющего форму изделия и заключенного в герметичную полость; напылением на поверхность ленты или ткани порошка связующего с последующей пропиткой расплавом полимера при прокатке между горячими роликами и др. Для улучшения проникновения связующего в межволоконное пространство применяют принудительную пропитку, например, с помощью отжимных роликов или ультразвука.

После совмещения волокнистого наполнителя с полимерным связующим полученный материал (препрег) подвергают тепловой обработке для удаления растворителей, летучих продуктов и придания препрегу липкости, необходимой для последующих технологических операций.

Таким образом, технология изделий из ПКМ включает комплекс операций, обеспечивающий получение изделий с заданными свойствами: прессование; литье под давлением (инжекция, центробежное литье); автоклавный метод литья под давлением; экструзия (выдавливание, шприцевание, шнекование); контактное формование; намотка; пневматическое формование; спекание; штампование; напыление и др.

Например, прессование применяют для получения листовых материалов и толстостенных изделий сложной формы, переменного сечения, а также заготовок простой формы, подвергающихся дальнейшей механической обработке и др. Метод обеспечивает получение изделий с высоким качеством поверхностей и высокой плотностью материала. Основной недостаток - локальная неоднородность содержания компонентов.

Для получения требуемой ориентации волокнистого наполнителя в деталях, имеющих форму тел вращения, широко применяют метод намотки, выполняемой из волокон, предварительно пропитанных связующим (препреги) и непропитанных. В последнем случае (метод мокрой намотки) пропитка связующим производится в процессе намотки. Метод намотки позволяет получать изделия с равномерным распределением наполнителя по объему. Содержание волокнистого наполнителя в ПКМ, получаемых намоткой, достигает 60-85%, что обеспечивает высокую прочность материала.

Многие изделия из волокнистых ПКМ могут быть изготовлены несколькими методами. Выбор метода изготовления и параметров технологического режима определяется природой полимерного связующего и армирующих волокон, текстильной формой армировки, геометрией изделия, условиями его эксплуатации и вытекающими из них техническими требованиями к материалу.

Для выпуска небольших партий изделий можно использовать малопроизводительные методы формования с применением дешевой оснастки, тогда как крупносерийное производство экономически оправдывает значительные расходы на изготовление оснастки с использованием наиболее производительных методов.

Золь-гель методы получения наногибридных полимер-неорганических композитов

Для получения гибридных дисперсных полимер-неорганических композитов интенсивно развиваются *золь-гель-методы* и интеркаляция полимеров и частиц в слоистые и сетчатые системы. Как отмечалось, полимерные молекулы - длинные молекулярные цепочки. Повторяющиеся единицы цепи - молекулярные звенья имеют две свободные валентности и поэтому объединяются в линейные цепи. Если, однако, при синтезе в цепь могут встраиваться звенья с валентностью три и выше, то в результате

образуется трехмерный пространственный каркас из цепочек, соединенных друг с другом ковалентными связями, - полимерная сетка. Такие сетки, будучи помещены в хороший растворитель и набухают в нем. Полимерная сетка, адсорбировавшая в себя значительное количество растворителя, называется полимерным гелем.

Вообще методов проведения золь-гель реакции несколько. Дж.Марк, например, предложил осуществлять гидролиз и конденсацию в набухшей полимерной матрице. В ходе такой реакции образуются взаимопроникающие органическая и керамическая сетки, что обеспечивает уникальные механические свойства конечного материала.

Существует также метод синтеза, в котором полимеризация и образование неорганического стекла протекают одновременно. За счет этого расширяется класс используемых мономеров, кроме того, при сушке конечного продукта не происходит заметной усадки, как в способе Марка.

Суть золь-гель-метода заключается в том, что на первой стадии процесса формируется химический состав продукта в виде высокодисперсного коллоидного жидкого раствора - золя (размер частиц дисперсной фазы 10^{-9} - 10^{-8} м). Увеличение концентрации дисперсной фазы приводит к появлению коагуляционных контактов между частицами и образованию геля. Золь-гель-процесс - удобный путь получения дисперсных материалов (называемых керамерами) через рост металлоксиполимеров в растворах. Он основан на неорганических реакциях полимеризации. Золь-гель-метод включает следующие основные этапы: приготовление раствора образование геля сушка термообработка. В большинстве случаев исходными веществами служат алкоксиды металлов. Реакцию осуществляют в среде органических растворителей. Алкоксиды металлов (в большей степени титана и кремния) - сшивающие реагенты для многих природных полимеров, таких как полисахариды, целлюлозные материалы и др. Такие полимеры содержат высокоактивные гидроксильные группы, способные *in situ* формировать оксиполимеры. Для других видов полимеров вода является реагентом, при добавлении которого происходит гидролиз алкоксидов металлов $M(OR)_n$ ($M=Si, Ti, Zr, VO, Zn, Al, Sn, Ce, Mo, W$, а также лантаниды и др.) с последующей конденсацией образующихся соединений, приводящих к формированию геля.

Экологически оптимальными являются бессточные способы получения композиционных материалов, к которым относится и золь-гель-метод, применяемый для получения катализаторов, связующих и адсорбентов для фармацевтической и косметической промышленности и др.

Области применения полимерных композитов

Возможность существенного улучшения массовых характеристик изделий при замене легированных сталей, цветных металлов и их сплавов на ПКМ привела к довольно широкому применению ПКМ в качестве материалов конструкционного, теплоизоляционного, теплозащитного, антифрикционного, коррозионно-стойкого и других назначений.

Современная авиация, ракетно-космическая техника, судостроение, машиностроение немыслимы без полимерных композитов. Чем больше развиваются эти отрасли техники, тем шире в них используют композиты, тем выше становится качество этих материалов. Многие из них легче и прочнее лучших алюминиевых и титановых сплавов, их применение позволяет снизить вес изделия (самолета, ракеты, космического корабля) и, соответственно, сократить расход топлива. В настоящее время в скоростной авиации используют от 7 до 25% по весу полимерных композитов, что снижает вес изделия на 5-30%.

Важно и то, что при изготовлении деталей из полимерных композитов в отходы идет не более 10-30% материала, в то время как у аналогичных деталей из высокопрочных сплавов алюминия и титана, применяемых в авиации, отходы могут в 4-12 раз превышать массу изделия. Кроме того, при изготовлении деталей из ПКМ требуются меньшие трудовые и энергетические затраты, уменьшается количество производственных циклов. Удельные затраты энергии на производство различных материалов и изделий из них, кВт·ч.

Снижение стоимости углеродных, борных волокон, разработка термостойких органических волокон делают экономически целесообразным внедрение волокнистых ПКМ в машино-, автомобиле- и судостроение, медицину и т.д. Из этих ПКМ изготавливают однослойные изделия или их используют в качестве одного из слоев в многослойных конструкциях. Комбинированные конструкции обеспечивают снижение массы до 50% по сравнению с массой металлической конструкции равной прочности, повышение жесткости, демпфирующей способности и увеличение срока службы. Более четверти полимерных композиций идет на цели строительства, широкое применение ПКМ находят в производстве товаров народного потребления и др.

Стеклопластики - наиболее дешевые композиционные материалы, поэтому они широко используются в строительстве, быту, судостроении, в том числе подводном, в наземном транспорте, в производстве спортивного инвентаря.

ПКМ с углеродными волокнами (*углепластики*) широко применяют в авиации, ракетостроении, для усиления металла в комбинированных конструкциях

цилиндрических обечаек, емкостей, работающих под давлением, деталей, находящихся в поле действия центробежных сил или подвергающихся вибрациям и др. Так, усиление оболочки корпуса компрессора газотурбинного двигателя Д-36, выполненного из алюминиевого сплава намоткой углепластика, позволило уменьшить уровень вибронапряжений на 15%, увеличить ресурс работы в 2 раза, снизив при этом массу на 15%.

Применение высокомодульных углепластиков в производстве лопастей несущих винтов, обшивок и других деталей вертолетов обеспечивает снижение массы и повышение долговечности изделия.

Стойкость углепластиков к тепловому удару делает эффективным использование их для тепловой защиты. Кроме того, углеродные волокна и углепластики имеют очень низкий, практически нулевой коэффициент линейного расширения, что делает их незаменимыми в некоторых специальных областях применения, например, в космических телескопах или других аналогичных элементах космической техники. Низкий коэффициент трения обуславливает применение углепластиков в узлах трения. Эти материалы могут оказаться незаменимыми в качестве самосмазывающихся подшипников, сальников, а также вкладышей опорных подшипников.

По мере снижения стоимости углеволокна применение углепластиков становится все более экономически выгодным в разных отраслях. Широкое применение находят углепластики в автомобиле- и судостроении (повышается грузоподъемность судна, увеличивается скорость).

Высокая химическая стойкость углепластиков позволяет использовать их в химическом машиностроении, нефтяной промышленности для изготовления трубопроводов и других конструкций, работающих в агрессивных средах.

Электропроводность углепластиков используется при создании различных нагревательных устройств: нагревательных панелей для жилых помещений, теплиц, кабин автомобиля и др.

Биологическая совместимость углеродного волокна с тканями живого организма позволяет использовать углепластики для изготовления протезов, деталей медицинской аппаратуры.

Углепластики используют для изготовления спортивного инвентаря (велосипедов, теннисных ракеток, удилищ, луков и др.).

Применение *боропластиков* эффективно в элементах конструкций, определяющим критерием работоспособности которых являются высокие удельные значения прочности и жесткости при действии сжимающих нагрузок. Боропластики обладают рекордной

прочностью при сжатии и применяются в военной аэрокосмической технике для изготовления деталей, работающих в сложном напряженном состоянии, из них делают небольшие глубоководные аппараты. Стоимость конструкций из борволокнитов, несмотря на большую стоимость исходного сырья (волокон бора), оказывается меньше стоимости металлических конструкций. При изготовлении конструкций из боропластиков практически не требуется механической обработки.

Низкая плотность, высокая прочность, жесткость, влагостойкость, химическая стойкость, диэлектрические и теплофизические свойства *органопластиков* определили их применение в качестве конструкционных материалов в изделиях электроизоляционного, коррозионностойкого и фрикционного назначения. Органопластики (армированные пластики на основе органических полимерных волокон) применяют в авиационной технике и ракетостроении для изготовления деталей, работающих под растягивающей нагрузкой, например, сосудов внутреннего давления, высокоскоростных маховиков. Органопластики применяют для внутренней и внешней отделки самолетов вместо стеклопластиков.

Высокая эффективность применения органопластиков в качестве тепловой защиты определяется сочетанием в них сравнительно низкой теплопроводности и повышенной теплоемкости. Органопластики широко используются в качестве теплоизоляции контейнеров для хранения и транспортирования сжиженных природных газов, автомобилей-рефрижераторов и др.

Высокая жесткость и низкая плотность являются основными требованиями к материалам, применяемым в производстве судов, особенно спортивных. Использование материалов на основе арамидных волокон в производстве катеров, глассеров, гоночных яхт обеспечивает необходимую жесткость конструкций при малой их массе.

Высокая стойкость органопластиков к действию агрессивных сред позволяет широко использовать их для изготовления химической аппаратуры. Органопластики широко используются в электро- и радиотехнической промышленности. Благодаря высоким диэлектрическим характеристикам органопластики применяют в качестве обмоточных лент роторов электродвигателей, для изготовления защитных элементов конструкций крупногабаритных электрогенераторов.

Легкие листовые материалы на основе тканей и войлока из арамидных волокон используют в производстве динамиков радиоприемников, магнитофонов и других деталей радио- и телеаппаратуры. Из органопластиков делают средства индивидуальной защиты от огнестрельного оружия: бронежилеты, каски и прочее.

Искусственные кожи - широкий класс ПКМ (в основном органопластики),

применяемый для изготовления обуви, одежды, головных уборов, галантереи, а также многочисленных материалов и изделий технического назначения, признанных восполнить дефицит натурального сырья.

Как отмечалось, в последние годы широко исследуются композиты, где в качестве армирующего элемента выступают микро- и наночастицы. например, *магнитопласты*, изготовленные из порошка высококоэрцитивных сильных магнитных материалов, таких как SmCos и Nd-Fe-B с диэлектрическим полимерным связующим (термопласт). Такие материалы обладают сильным текстурированием в магнитном поле и могут найти широкое применение при разработке и создании новых приборов микроэлектроники.

Дендримеры - новый вид полимеров и композиты на их основе

Полимерами нового поколения называют дендримеры, синтезированные в последнее десятилетие XX в. В отличие от обычных цепных полимеров, у которых длина цепи или линейного отрезка цепи существенно превосходит диаметр, дендримеры имеют принципиально иное строение, которое напоминает строение кораллов или дерева. Такие полимеры называют каскадными и их получают менее «затратным» одностадийным методом.

Синтезированные к настоящему времени дендримеры и дендрито-подобные полимеры являются вязкими жидкостями или твердыми аморфными веществами, хорошо растворимыми в большинстве известных органических растворителей. В отличие от цепных полимеров для них не характерно кристаллическое состояние, однако возможно жидкокристаллическое упорядочение. До настоящего времени физико-механические свойства дендримеров недостаточно изучены. Дендримеры имеют большое будущее как материалы специального назначения. Наличие каналов и пор в макромолекулах дендримеров позволяет использовать их для капсулирования «гостевых молекул», в том числе физиологически активных. Такие композиты, построенные по типу гость-хозяин, перспективны для применения в биологии, медицине, фармакологии, косметике и др. Высокая степень функциональности создает поистине неограниченные возможности для широкого применения макромолекул дендримеров в различных областях.

Таким образом, создание, изучение и использование полимерных композиционных материалов - чрезвычайно перспективная и бурно развивающаяся область современного материаловедения.