

В.А. Белевитин

**МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ:
НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ**

Учебное пособие

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Южно-Уральский государственный гуманитарно-
педагогический университет»

В.А. Белевитин

**МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ:
НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ**

Учебное пособие

Челябинск
2017

УДК 629.11 (076)
ББК 39.33–082–032я73
К 78

Белевитин, В.А. Материаловедение: неметаллические материалы [Текст]: учебное пособие / В.А. Белевитин. – Челябинск: Изд-во Юж.-Урал. гос. гуман.-пед. ун-та, 2017. – 143 с.

ISBN 978-5-906908-64-3

В учебном пособии содержатся материалы по разделам «Неметаллические материалы в автомобилестроении» и «Стекла, резины, лакокрасочные и другие материалы на полимерной основе». Подборка материалов включает сведения по неметаллическим полимерным материалам – пластмассам, стеклу, резине, лакокрасочным и другим материалам, их компонентам, классификации, свойствам и областям применения. Приводятся иллюстрации – схемы технологий и оборудования производства деталей из пластмасс, виды неметаллических полимерных материалов, включая композиционные материалы с использованием нанодисперсных наполнителей.

Рекомендуется студентам, обучающимся по программе бакалавриата направления Транспорт.

Рецензенты: В.В. Мусатов, канд. техн. наук, доцент
С.А. Богатенков, канд. пед. наук, доцент

ISBN 978-5-906908-64-3

© В.А. Белевитин, 2017
© Издательство Южно-Уральского государственного гуманитарно-педагогического университета, 2017

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ГЛАВА 1. НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ В АВТОМОБИЛЕСТРОЕНИИ	6
1.1. Пластмассы – неметаллические полимерные материалы	6
1.1.1. Компоненты и классификация пластмасс	6
1.1.2. Области применения конструкционных пластмасс ...	24
1.1.3. Исходные материалы для производства деталей из пластмасс	33
1.2. Технологии и оборудование производства деталей из пластмасс	46
1.2.1. Приготовление материала на основе исходного полимера и подготовка его к формованию	47
1.2.2. Процессы изготовления формованием изделий из пластмасс	50
1.2.3. Основные области применения пластмасс в машиностроении	67
Контрольные вопросы	73
ГЛАВА 2. СТЕКЛА, РЕЗИНЫ, ЛАКОКРАСОЧНЫЕ И ДРУГИЕ МАТЕРИАЛЫ НА ПОЛИМЕРНОЙ ОСНОВЕ ...	74
2.1. Стекла	74
2.2. Резины	81
2.3. Автомобильные отделочные лакокрасочные материалы	91
2.4. Композиционные материалы	103
2.4.1. Традиционные композиционные материалы	103
2.4.2. Композиты с использованием нанодispersных наполнителей	115
Контрольные вопросы	129
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	132

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время все более широкое применение в качестве конструкционных материалов находят неметаллические органические и неорганические соединения – полимерные материалы: пластмассы, композиционные материалы, резиновые материалы, клеи, лакокрасочные покрытия, древесина, а также силикатные стекла, керамика и др. Неметаллические материалы являются не только заменителями металлов и сплавов, но и применяются как самостоятельные, иногда даже незаменимые материалы из-за ряда достоинств таких их свойств, как достаточная прочность, жесткость и эластичность при малой плотности, светопрозрачность, химическая стойкость и др.

Одним из самых многочисленных и разнообразных видов конструкционных материалов являются композиты, в которых матрицей служит полимерный материал. Совершенствование композитов связано с использованием наноразмерных наполнителей, благодаря которым композиции приобретают ценный комплекс уникальных эксплуатационных свойств даже при малом объеме наполнителя. Порошки с наночастицами железа сферической формы используют в качестве присадок моторных масел двигателей внутреннего сгорания, устраняющих микродефекты и восстанавливающих детали шатунно-поршневой группы, повышающих компрессию в двигателе в 1,1-1,3 раза, снижающих токсичность и дымность выхлопных газов.

Наноразмерные частицы металлов платиновой группы (Pt, Pd, Ru) служат высокоэффективными многокомпонентными катализаторами в электрохимических системах с твердым полимерным электролитом.

При использовании новых конструкционных материалов, свойства которых значительно отличаются от свойств традиционных, необходим иной подход ко многим вопросам проектирования изделий: выбору силовой схемы изделия, оформлению сборочных единиц, определению толщины стенок, соединению деталей и т.д.

Глава 1. НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ В АВТОМОБИЛЕСТРОЕНИИ

Основой неметаллических материалов являются природные (натуральный каучук, белки, целлюлоза) и главным образом синтетические полимеры, производство которых возрастает с каждым годом. Ряд синтетических полимеров получают путем химической модификации природных полимеров, и получаемые при этом вещества называются искусственными полимерами. Многие синтетические полимеры не имеют аналогов среди природных. Наиболее известные синтетические полимеры [8]:

Полиметилметакрилат $[\sim\text{CH}_2\text{-C}(\text{CH}_3)(\text{COOCH}_3\text{-})_n$;

Найлон $[-\text{CO}\text{-(CH}_2)_4\text{-COMH}\text{-(CH}_2)_6\text{-NH-}]_n$.

Производство неметаллических материалов из дешевых и массовых источников сырья, продуктов химической переработки нефти, природного газа и каменного угля, высокопроизводительные методы изготовления деталей из неметаллических материалов наряду с достоинствами их технико-технологических характеристик обеспечивают значительную экономическую эффективность автотранспортного машиностроения.

1.1. Пластмассы – неметаллические полимерные материалы

1.1.1. Компоненты и классификация пластмасс

Пластмассы представляют собой материалы, основным компонентом которых является синтетический или природный полимер. К другим компонентам пластмасс

относятся вспомогательные вещества. Полимеры – высокомолекулярные соединения, состоящие из огромного количества молекул веществ (звеньев), называемых мономерами, которые вследствие обладания способностью при определенных условиях последовательно соединяться друг с другом образуют длинные цепи с линейной (а), разветвленной (б), лестничной (в), густосетчатой (г), редкосетчатой (д) и паркетной (е) структурами связи (рис. 1.1). В результате соединения (химического сложения) мономеров друг с другом получают макромолекулы полимера [1].

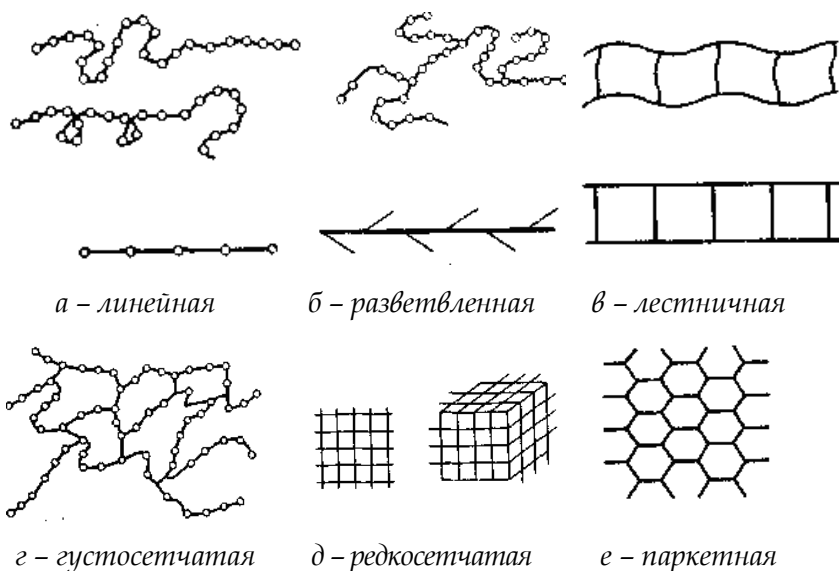


Рис. 1.1. Формы макромолекул полимеров

Линейные макромолекулы полимера представляют собой длинные зигзагообразные или закрученные в спираль цепочки (рис. 1.1, а).

Разветвленные макромолекулы (рис. 1.1, б), являясь также линейными, отличаются наличием боковых ответвлений, что препятствует их плотной упаковке (полиизобутилен).

Макромолекула *лестничного* полимера (рис. 1.1, в) состоит из двух цепей, соединенных химическими связями. Лестничные полимеры имеют более жесткую основную цепь и обладают повышенной теплостойкостью, большей жесткостью, они нерастворимы в стандартных органических растворителях (кремнийорганические полимеры).

Пространственные полимеры образуются при соединении («сшивке») макромолекул между собой в поперечном направлении прочными химическими связями непосредственно или через химические элементы или радикалы. В результате образуется сетчатая структура с различной плотностью сетки. *Редкосетчатые* (сетчатые) полимеры (см. рис. 1.1, д) теряют способность растворяться и плавиться, они обладают упругостью (мягкие резины). *Густо-сетчатые* (пространственные) полимеры (см. рис. 1.1, е) отличаются твердостью, повышенной теплостойкостью, нерастворимостью. Пространственные полимеры лежат в основе конструкционных неметаллических материалов. К сетчатым полимерам относятся также пластинчатые (*паркетные*) полимеры (рис. 1.1, е).

В зависимости от *взаимной ориентации макромолекул* полимеры могут находиться в аморфном или кристаллическом состояниях. В *аморфном* состоянии полимер имеет упорядоченное строение только в пределах участков, размеры которых соизмеримы с размерами звеньев цепи макромолекул, т.е. в аморфных полимерах соблюдается ближний порядок. В *кристаллических* полимерах соблюдается не только ближний, но и дальний порядок на расстояниях, во много раз превышающих размеры звеньев цепи макромолекул полимера.

В структуре реальных полимеров практически всегда содержатся как аморфная, так и кристаллическая части. По преобладанию той или иной структуры полимеры делят на аморфные и кристаллические.

Характерными элементами надмолекулярной структуры полимеров являются *глобула* (рис. 1.2, *а*) для аморфных структур и *пачка* (рис. 1.2, *б*) для кристаллических [5]. Глобула представляет собой свернутые в клубок цепи макромолекул полимера или их агрегатов. Пачка состоит из параллельно расположенных цепей, причем суммарная длина пачки, как правило, превышает длину отдельных цепей макромолекул полимера.

Аморфное состояние для большинства полимеров термодинамически более устойчиво, что определяется энергетически более выгодной формой надмолекулярного образования аморфного полимера: глобула обладает минимумом свободной энергии.

Выделяющаяся в процессе полимеризации кристаллизующегося полимера пачка макромолекул характеризуется анизометрией, поэтому энергетически выгодным является ее расположение параллельно поверхности кристаллизации. Взаимосогласованная ориентация макромолекул относительно поверхности кристаллизующихся полимеров определяет все многообразие надмолекулярных структур кристаллизующихся полимеров. Термодинамически наиболее устойчивой формой надмолекулярного образования является *сферолит* (рис. 1.2, *в*), сформированный тангенциально расположенными пачками макромолекул. Сферолитные структуры типичны для большинства кристаллизующихся полимеров.

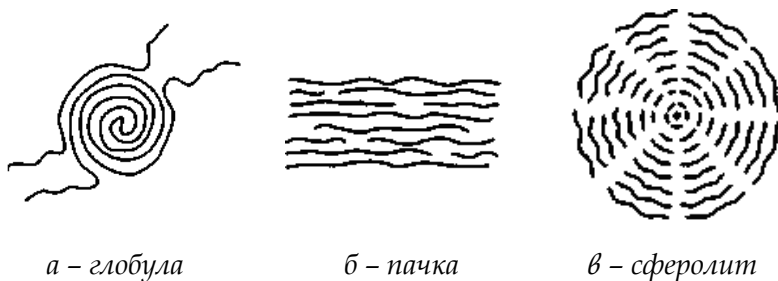


Рис. 1.2. Элементы надмолекулярной структуры полимеров

На поверхностях раздела сферолитов условия контактного взаимодействия макромолекул различны. Экспериментально установлено, что прочность торцового контакта макромолекул более чем на порядок превышает

прочность бокового контакта. Это открывает возможность управления прочностью кристаллизующихся полимеров.

Примером практической реализации влияния надмолекулярной структуры на прочность может служить ориентационное упрочнение полимеров. В процессе вытяжки полимеров при повышенных температурах макромолекулы ориентируются параллельно направлению приложения нагрузки. Полученная структура полимера затем фиксируется путем снижения температуры под силовой нагрузкой. Физико-механические свойства полимера в направлении ориентации увеличиваются примерно в 5 раз, а в перпендикулярном направлении уменьшаются до 2 раз по сравнению с исходным значением. Анизотропия прочности объясняется изменением соотношения торцового и бокового контактов макромолекул полимера. Ориентационное упрочнение полимеров наиболее широко применяется при получении искусственных волокон и пленок.

По отношению к электрическому полю (*по полярности*) полимеры подразделяются на *полярные* и *неполярные*. Полярность определяется наличием в составе полимера диполей – разобщенных центров положительных и отрицательных зарядов.

В *полярных* полимерах (рис. 1.3, а) имеются полярные связи (группировки -Cl, -F, -ОН) и несимметрия в их структуре: центр тяжести электронов сдвинут в сторону более электроотрицательного атома. Центры тяжести разноименных зарядов не совпадают.

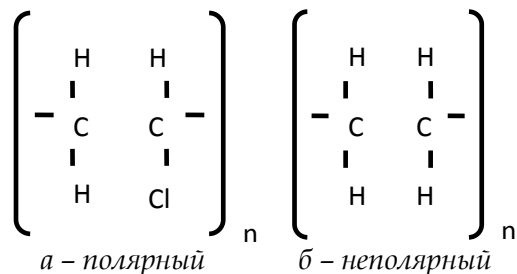


Рис. 1.3. Пример полярного и неполярного полимера

Полярные полимеры имеют повышенную прочность, жесткость, но низкую морозостойкость (хрупкость уже при температуре от -10°C до -20°C). Их можно сваривать током высокой частоты. Полярности полимера можно оценить по величине диэлектрической проницаемости E . У полярных полимеров $E \geq 3,5$.

Неполярные (на основе углеводородов) – высококачественные диэлектрики, обладают хорошей морозостойкостью.

Дипольный момент связей атомов в неполярных полимерах взаимно компенсируется. В макромолекулах неполярных полимеров симметричное расположение групп (рис. 1.3, б). Центры тяжести разноименных зарядов совпадают.

Все полимеры по отношению к нагреву подразделяют на *термопластичные* и *терморективные*.

Некоторые полимеры при нагревании плавно переходят через вязкопластическое в жидкотекучее состояние. При охлаждении отмечается также плавный переход в твердое состояние. Нагревание полимера до температур ниже температуры его термической деструкции не вызывает

необратимого изменения свойств материала, что позволяет многократно повторять процесс термической обработки линейных полимеров. Такие структуры макромолекул образуют класс *термопластичных полимеров*. К термопластам относятся полипропилен (PP – самый распространенный тип пластика, применяемый в автомобилестроении, (рис. 1.4), поливинилхлорид (PVC), сополимеры акрилонитрила, бутадиена и стирола (ABS), полистирол (PS), поливинилацетат (PVA), полиэтилен (PE), полиметилметакрилат (оргстекло) (PMMA), полиамид (PA – используют для производства съемных автомобильных колпаков, различных втулок и вкладышей, хомутов, языков замка дверей и защелок), поликарбонат (PC), полиоксиметилен (POM) и др.

Большинство полимеров, применяемых в автомобилестроении, являются именно термопластами. Они используются для производства различных деталей интерьера и экстерьера автомобиля (панели, каркасы, бампера, решетки радиатора, корпуса фонарей и наружных зеркал, колпаки колес и т.д.). Любые модификации полипропилена, какой бы длинной не была аббревиатура его маркировки, начинаются с букв >PP...<. Например, на передних крыльях Renault Clio можно встретить маркировку >PPE+PA66<.



Рис. 1.4. Полипропиленовый бампер автомобиля

До широкого внедрения в производство полипропилена самым популярным материалом эластичных деталей автомобиля был полиуретан, из которого изготавливали рулевые колеса, грязезащитные чехлы, покрытия педалей, мягких дверных ручек, спойлеров и т.д. У многих этот тип пластика ассоциируется с маркой Mercedes. Бамперы, боковые накладки дверей, порогов практически на всех моделях изготавливались до недавнего времени из полиуретана. Производство деталей из этого типа пластмассы требует менее сложного оборудования, чем для полипропиленовых. В настоящее время многие частные компании, как за рубежом, так и в странах бывшего Союза предпочитают работать именно с этим типом пластика для изготовления всевозможных деталей для тюнинга автомобилей.

Другие полимеры под действием теплоты, минуя жидкое состояние, необратимо переходят в твердое состояние и не могут использоваться повторно. Такое поведение полимеров при нагревании называют терморезистивным, а сами полимеры относят к классу *терморезистивных полимеров* (реактопластов). Эти материалы являются достаточно термостойкими (таблица 1.1), поэтому их используют, например, для производства деталей картера в подкапотном пространстве. Из армированных (например стекловолокном) реактопластов производят крупногабаритные наружные кузовные детали (капоты, крылья, крышки багажников).

Таблица 1.1

Свойства терморезактивных пластмасс

Материал	Плотность, кг/м ³	Рабочая температура, °С		σ_{br} МПа при растяжении	Модуль упругости, МПа	δ , % на разрыв	Ударная вязкость, КДж/м ²
		min	max				
Полиэтален ПЭВД	913-29	-70	105	10-17	120-260	15-20	Не ломается
Полиэтален ПЭНД	949-53	-70	125	18-35	650-750	10-12	2-150
Полистирол	1050-1080	-20	90	35	2700	1,5	16-20
Фторопласт	215-2240	-269	250	14-35	470-850	250-500	10-100
Поливинилхлорид	1400	-40	80	40-120	2600-3000	5-100	75-80
Полиметил-акрил	1200	-60	60	63-100	2900-4160	2,5-20	8-18

К группе реактопластов относятся материалы на основе фенолформальдегидных (PF), карбамидо-формальдегидных (UF), эпоксидных (EP) и полиэфирных смол. ПА (Polyamide (Nylon)) – умеренно жесткий реактопласт, используемый для изготовления внешних деталей отделки автомобильного кузова, декоративных колпаков колес, лючков бензобака, радиаторных бачков, корпуса фар и боковых зеркал, пластиковых частей двигателя.

По природе все полимеры можно разделить на две группы – природные и синтетические. Полимеры, встречающиеся в природе – органические вещества растительного

(хлопок, шелк, натуральный каучук и др.) и животного (кожа, шерсть и др.) происхождения, а также минеральные вещества (слюда, асбест, естественный графит, природный алмаз и др.). *Синтетические* полимеры получают из простых веществ путем химического синтеза. Основным преимуществом синтетических полимеров перед природными являются неограниченные запасы исходного сырья и широкие возможности синтеза полимеров с заранее заданными свойствами. Исходным сырьем для получения синтетических полимеров являются продукты химической переработки нефти, природного газа и каменного угля. Получаемые при этом низкомолекулярные вещества называют мономерами. Их перерабатывают в полимеры в процессе дальнейшей химической обработки.

Все синтетические полимеры разделяют на полимеризационные и поликонденсационные.

При реакции полимеризации большое количество одинаковых молекул простых веществ (мономеров) соединяются в одну сложную молекулу (полимер) без выделения побочных продуктов и без изменения первоначального состава. Полимеризацией получают такие синтетические полимеры, как полиэтилен, поливинилхлорид, полипропилен, полиметилметакрилат (оргстекло) и др.

При реакции поликонденсации из нескольких простых соединений образуется полимер, состав которого отличается от состава исходных продуктов, и при этом выделяются побочные вещества (вода, аммиак, уголекислота и др.). Поликонденсацией получают фенолоформальдегидные,

карбамидные, полиамидные и другие синтетические полимеры.

Полимеры являются связующими веществами, определяющими основные свойства пластмасс. Введение добавок, в качестве которых используются наполнители, пластификаторы, стабилизаторы, отвердители, красители, смазывающие вещества, антипирены и др., придает пластмассам специальные свойства за счет воздействия на межмолекулярные силы полимеров. Вследствие этого различают простые и сложные пластмассы. К простым относятся пластмассы, состоящие только из полимера, а к сложным – содержащие, кроме полимера, различные добавки.

Для улучшения механических свойств, уменьшения усадки и стоимости пластмасс используют добавки-наполнители в количестве 40–90 % (по массе), т.е. у большинства пластмасс существенная часть объема приходится на долю наполнителей. Номенклатура наполнителей для пластмасс разнообразна. Это порошкообразные (мел, древесная мука, тальк, кварцевая мука, графит, сажа и т.п.), волокнистые (асбестовые, древесные, стеклянные, хлопчатобумажные волокна) и слоистые (древесный шпон, бумага, стеклоткань) материалы. Слоистые и волокнистые наполнители резко повышают прочность пластмасс на растяжение и изгиб. Сажа или графит, вводимые в пластмассу, придают ей свойство электропроводности, преимущественно минеральные наполнители увеличивают теплостойкость и атмосферостойкость пластмасс и снижают их горючесть наряду с наполнителями антипиренами. К числу наполнителей

можно отнести и воздушные поры, которые делают газонаполненные пластмассы (пено- и порошковые) высокоэффективными теплоизоляторами. Наполнители, уменьшая содержание полимера в пластмассах, значительно снижают их стоимость.

Для улучшения текучести и пластических свойств пластмасс используют добавки-пластификаторы. В качестве пластификаторов применяют камфору, олеиновую кислоту, эфиры, дибутилфталат, трикрезилфосфат и т.п.

Добавки-стабилизаторы (антиоксиданты) способствуют длительному сохранению пластмассами своих первоначальных свойств, например долговечности. Пластмассы под действием кислорода, температуры подвергаются старению, вызывающему снижение их эластичности и повышение хрупкости. Количество стабилизаторов зависит от их эффективности и от некоторых побочных воздействий, которые они могут оказывать на свойства полимеров. Основные стабилизаторы вводят в количестве до 5 %. Для придания полимеру определенного комплекса свойств используют смеси стабилизаторов. Антиоксиданты защищают полимер от разрушения под действием теплоты и кислорода, предотвращая или замедляя те окислительные процессы, которые приводят к старению полимеров. Это наиболее важная группа стабилизаторов, применяющихся для защиты почти всех полимерных материалов. Наиболее распространенный антиоксидант – 2,6-дитрет-4-метилфенол (ионол). На практике также широко применяется НЕО-ЗОН-Д – фенил-*b*-нафтиламин.

С целью ускорения технологического процесса изготовления деталей за счет сокращения времени отверждения пластмасс за счет образования на определенной стадии их переработки трехмерной сетки в их состав вводят сшивающие агенты – катализаторы-отвердители в количестве до 20 % (по массе). Основой этих процессов являются реакции полимеризации и поликонденсации. В качестве отвердителей преимущественно используют ангидриды кислот, амины и другие вещества (известь, окись магния), способные образовывать поперечные связи между макромолекулами полимера. Отвердители подразделяются на два класса: отверждающие на холоде и отверждающие при нагревании. К первым относятся в основном амины, ко вторым – кислоты и ангидриды кислот.

В пластмассы часто вводятся в небольших количествах и другие добавки – смазывающие вещества (стеарин, воск и т.п.), облегчающие прессование и предупреждающие прилипание деталей к стенкам формы в процессе их формования, порообразователи для получения пено- и порошковых, светящиеся составы, красители (нигрозин, охра, сурик и др.), придающие пластмассам требуемую окраску, фунгициды – против разрушающего воздействия плесени и пр. [2].

Пластмассы, в зависимости от свойств составляющих их основу полимеров при нагревании и охлаждении, подразделяются на термопластичные и термореактивные.

К термопластичным пластмассам относятся пластмассы с линейной или разветвленной структурой полимеров

(рис. 1.1, *a* и *б*). Свойства таких пластмасс обратимо изменяются при многократном нагревании и охлаждении.

Температурный интервал формования изделий из термопластичных пластмасс определяет температура T_0 термической и термохимической деструкции (термостойкости) полимеров (табл. 1.2).

Таблица 1.2

Температурные интервалы переработки
термопластичных полимеров

Полимер	Минимальная температура формования, °С	Температура начала деструкции T_0 , °С	Интервал формования, °С
Полистирол	90–110	310	220–200
Полиметилметакрилат	100–115	280	180–165
Поливинилхлорид	70–90	170	100–80
Поликарбонат	275	330	55
Политетрафторэтилен	327	400	73
Полипропилен	170	300	130
Полиэтилен	120–130	320	200–190
Полиформальдегид	173–190	240	50–67

Для терморезистивных пластмасс характерно сетчатое строение полимеров (рис. 1.1, *г* и *д*). Свойства таких пластмасс необратимы при изменении температуры после нагревания и охлаждения (не размягчаются при повторном нагревании). Они отличаются от термопластичных большей прочностью, теплостойкостью и твердостью.

Общепринятой единой научной классификации пластмасс не существует. Один и тот же вид пластмассы может иметь различные фирменные названия, которые не дают никаких представлений о свойствах материала.

Пластмассы находят широкое применение в машиностроении. Они являются не только заменителями дефицитных цветных металлов, но и самостоятельными машиностроительными материалами, для которых не всегда может быть найдена замена.

Широкое использование пластмасс для изготовления огромной номенклатуры узлов и деталей машин обусловливается многообразием их физико-механических, диэлектрических, антикоррозионных и других свойств. Применение пластмасс улучшает качество машин и оборудования за счет снижения их веса и трудоемкости, повышения долговечности и надежности, улучшения внешнего вида, снижения затрат на изготовление, экономии цветных и черных металлов. Особенно эффективна замена пластмассами цветных металлов (свинца, меди, цинка, латуни, бронзы) и легированных сталей при изготовлении узлов и деталей машин. На производство пластмасс требуется в два-три раза меньше капитальных вложений, чем на получение цветных металлов, если сравнивать их выпуск в тоннах.

Пластмассы широко применяют в машиностроении благодаря высоким показателям следующих основных положительных свойств [3]:

- 1) малая плотность полимерных материалов по сравнению с металлами ($1,1-1,8 \text{ г/см}^3$) позволяет значительно уменьшить вес машин при изготовлении их деталей из пластмасс;

2) химическая стойкость: пластмассы не подвержены коррозии, а многие из них и агрессивным средам;

3) электроизоляционные свойства, позволяющие применять пластмассы в качестве диэлектриков, незаменимых в высокочастотных устройствах радиосвязи, телевидения и т.д.;

4) абсолютная и удельная механическая прочность и возможность создания анизотропных материалов;

5) антифрикционные свойства: некоторые виды пластмасс, например текстолит, ДСП (древеснослоистые пластики), капрон, капролон, успешно заменяют бронзу и баббит в подшипниковых узлах машин;

6) фрикционные качества: фенопласты с асбестовым наполнителем, пресскмпозиции на основе каучуков и другие виды специальных пластмасс обладают высоким коэффициентом трения, малым износом; они с успехом заменяют в конструкциях транспортных и прочих машин чугун и дорогие сорта дерева;

7) оптические свойства: некоторые ненаполненные пластические массы, как полиметилметакрилат (органическое стекло), полистирол и другие, прозрачны и бесцветны, способны пропускать лучи света в широком диапазоне волн, в т.ч. ультрафиолетовую часть спектра, значительно превосходя в этом отношении силикатные стекла; эти пластмассы широко применяют в оптической промышленности и машиностроении для изготовления прозрачных деталей – водомерных стекол, арматуры масляных и охлаждающих систем, линз смотровых отверстий и т.д.;

8) технологичность: трудоемкость изготовления самых сложных деталей из пластмасс незначительна по сравнению с трудоемкостью изготовления деталей из других материалов;

9) наличие неограниченных ресурсов дешевого сырья.

Одновременно с указанными достоинствами пластмассы обладают следующими недостатками [3]:

1) низкая теплостойкость: основные виды пластмасс могут удовлетворительно работать лишь в сравнительно небольшом интервале температур (от - 60 до + 200 С); пластмассы на основе кремнийорганических полимеров, фторопластов и других композиций имеют верхний предел температур 300–400° С;

2) низкая теплопроводность: теплопроводность пластмасс в 500–600 раз ниже теплопроводности металла, что создает трудности при их применении в узлах и деталях машин, где необходим быстрый отвод больших количеств тепла;

3) низкая твердость (НВ6–60);

4) ползучесть: это свойство особенно ярко выражено у термопластов;

5) малая жесткость: модуль упругости самых жестких пластмасс – стеклопластиков на один-два порядка ниже, чем у металлов;

6) старение: пластмассы теряют свои свойства под действием температуры, влажности, света, воды, длительного пребывания в атмосферных условиях.

Высокое качество изделий из пластмасс достигается в том случае, если выбранные материалы и технологический процесс их переработки удовлетворяют заданным эксплуатационным требованиям изделий: механической прочности, химической стойкости, плотности и т.п.

1.1.2. Области применения конструкционных пластмасс

За последнее десятилетие произошли принципиальные сдвиги в области применения пластмасс в автомобилестроении. Применение пластмасс в конструкции автомобилей приобретает все более широкие масштабы. Это объясняется в первую очередь тем, что по ряду показателей – плотности, коррозионной стойкости, антифрикционным и электротехническим, а также технологическим свойствам – пластики значительно превосходят традиционные конструкционные материалы, используемые при изготовлении автомобилей. Применение пластиков в конструкции автомобиля позволяет снизить массу, улучшить эксплуатационные характеристики автомобиля, повысить его травмобезопасность и комфортабельность. В среднем в одном легковом автомобиле применяется 45 кг пластмасс, в перспективе предусматривается увеличение этого количества до 80–110 кг. В основном внедрение пластмасс в автомобилестроении происходит при разработке новых конструкций базовых моделей автомобилей. Основным направлением расширения применения пластмасс в конструкции автомобилей является внедрение крупногабаритных наружных деталей их кузова из композиционных полимерных материалов, обеспечивающих снижение массы

и повышение долговечности за счет коррозионной стойкости. Разработка высокопрочных композиционных материалов с полимерной матрицей и стеклянными, углеродными и другими волокнами позволила перейти к использованию их в нагруженных силовых деталях, таких как карданные валы, рессоры, обода колес [4]. Кроме повышения долговечности за счет коррозионной стойкости деталей автомобиля, эксплуатационных характеристик автомобиля и снижения его массы, что снижает расход топлива, а, следовательно, повышает экономичность эксплуатации транспортного средства, к основным факторам, обуславливающим значительное внедрение пластмасс в конструкцию автомобилей, также относятся возможности:

- новых конструкционных решений, поскольку термопластичные полимеры легко поддаются переработке и позволяют воплотить инновационные идеи получения деталей сложных форм без дополнительных операций по их механической обработке;

- адекватной замены дорогостоящих цветных металлов и нержавеющей сталей;

- сокращения энерго- и трудозатрат в процессе производства, а значит, снижения себестоимости автомобиля.

Самое главное преимущество пластика в том, что они обладают комплексом свойств, необходимых для конкретного конструкционного элемента. А от того, насколько соответствует материал условиям эксплуатации, зависит надежность детали и, в конечном итоге, безопасность автомобиля, а также комфорт водителя и пассажиров.

В настоящее время в конструкции автомобилей применяются разнообразные полимеры: полиолефины, ПВХ, полистирол, фторопласты, полиметилакрилат, полиамиды, полиформальдегид, поликарбонат, стеклопластики, полиуретаны, фенольные пластики, этролы, аминопласты, волокниты, текстолиты и др. Для пластиков характерны следующие свойства [4]:

- низкая плотность (обычно 1,0-1,8 г/см³, в некоторых случаях до 0,002-0,04 г/см³);

- высокая коррозионная стойкость. Пластмассы не подвержены электрохимической коррозии, на них не действуют слабые кислоты и щелочи;

- высокие диэлектрические свойства;

- механические свойства широкого диапазона. В зависимости от природы выбранных полимеров и наполнителей пластики могут быть твердыми и прочными или же гибкими и упругими. Ряд пластиков по своей механической прочности превосходят чугун и бронзу. При одной и той же массе пластмассовая конструкция деталей автомобиля может по прочности соответствовать стальной ее конструкции;

- антифрикционные свойства. Пластики могут служить полноценными заменителями антифрикционных сплавов (оловянистых бронз, баббитов и др.). Например, полиамидные подшипники скольжения длительное время могут работать без смазки;

- высокие теплоизоляционные свойства. Все пластики, как правило, плохо проводят теплоту;

- высокие адгезионные свойства;

- хорошие технологические свойства. Изделия из пластика изготавливают способами безотходной технологии литьем, прессованием, формованием с применением низких давлений. Замена металлов пластмассами при изготовлении деталей сложной конфигурации дает значительный технико-экономический эффект, так как многие детали из пластмасс могут быть получены на автоматизированных установках с минимальными отходами перерабатываемого материала.

Наряду с высокими свойствами для пластмасс характерны и специфические недостатки, которые сдерживают их применение. К ним относятся:

- ползучесть (крип) - особенность материала деформироваться на холоде под действием постоянных механических нагрузок;

- невысокая теплостойкость - порядка 70-120° С, т.е. способность материала работать под нагрузкой при повышенных температурах;

- плохая теплопроводность;

- высокий коэффициент термического расширения.

Следует учитывать, что пластмассы малотеплопроводные, следовательно, на изделиях могут возникать значительные внутренние напряжения, которые в конечном счете могут быть причиной появления трещин при эксплуатации, особенно при резких изменениях температур. Эти напряжения особенно значительны, если:

- впрессована металлическая арматура;

- влияет пониженная прочность при переменных нагрузках;

- влияет старение пластмасс под действием внешних условий, т.е. снижение свойств при эксплуатации. Это может быть взаимодействие полимера с кислородом воздуха. В результате этой химической реакции происходит разрыв макромолекулы или окислительная деструкция. При облучении светом происходит фотохимическая деструкция. Поэтому, как правило, предусматриваются добавки.

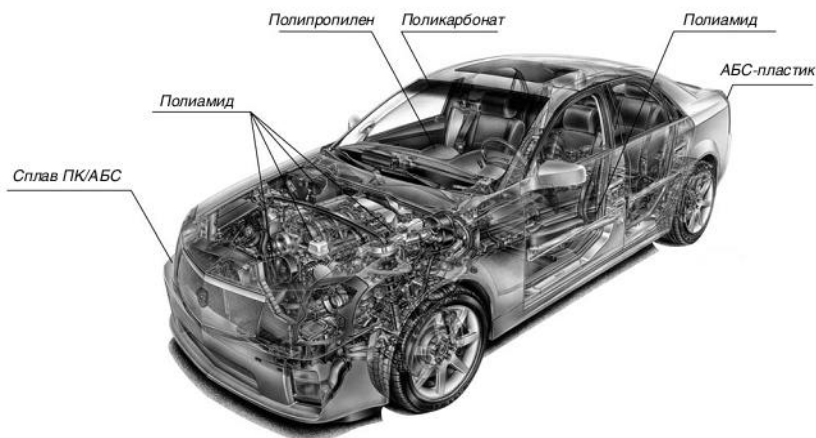
Недостатки полимерных материалов могут быть значительно преодолены созданием определенной структуры материала, кроме того, введением специальных добавок в полимеры, а также подбором определенных режимов переработки.

В современном автомобиле из полимеров выполнено множество деталей (рис. 1.5) [6].

Наиболее широко пластмассы применяют в производстве деталей внутренней отделки салона автомобиля, особенно его передней части. При изготовлении декоративных деталей пластмассы окрашивают в массу или металлизуют. На наружные видовые детали металл наносят трудоемким, но позволяющим получать более износостойкие покрытия гальваническим способом, на внутренние детали – вакуумным способом.

Большую перспективу имеет применение пластмасс для изготовления кабин и кузовов и их крупногабаритных деталей, так как на долю кузова приходится около половины массы автомобиля и ~40 % стоимости. Кузова из коррозионностойких пластмасс на основе полиэфирных

стеклопластиков, фенотекстолитов (слоистых пластиков) и АБС-сополимеров более надежны и долговечны в эксплуатации, чем металлические: 70 % автомобилей с металлическими кузовами не выдерживают 10-летнего срока эксплуатации из-за коррозии металла. Ремонт пластиковых кабин и кузовов автомобилей дешевле и проще.



В современном авто множество деталей выполнено из полимеров.

Рис. 1.5. Использование полимеров в изготовлении деталей автомобилей

Из пластмасс изготавливают детали двигателя (рис. 1.6), трансмиссии, шасси. После замены стандартных деталей на пластиковые масса двигателя Polimotor Lola снизилась со 150 до 76 кг.

При использовании пластмасс в подшипниках скольжения уменьшается трудоемкость обслуживания автомобиля, так как подшипники с вкладышами из пластмассы

и консистентной смазкой, которую закладывают во время сборки, не требуют периодической смазки при пробеге автомобиля до 80–100 тыс. км. Подшипники скольжения рулевого управления, подвески, ремни привода распределительного вала, амортизатор рулевого механизма изготавливают из монолитных полиуретанов (ПУ), представляющих собой самостоятельный класс полимерных материалов разнообразных составов, свойств и областей применения. В последние годы ПУ привлекают все большее внимание в качестве матрицы полимерных композиционных материалов на основе непрерывных армирующих волокон (ВПКМ) при производстве легких и одновременно высокопрочных конструкций.

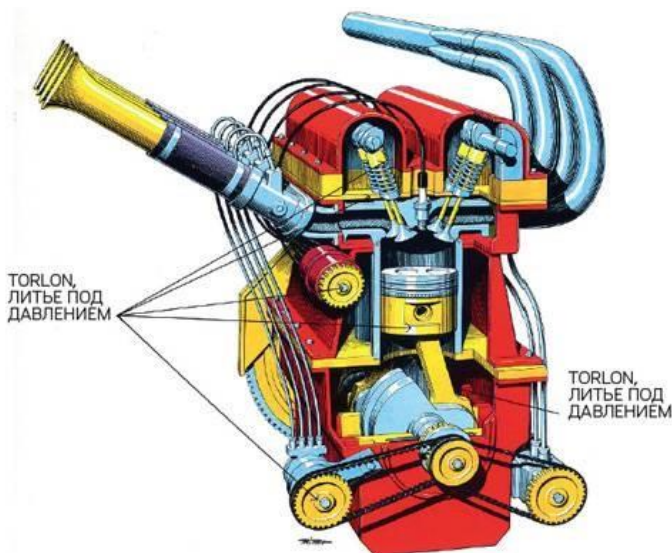


Рис. 1.6. Использование полимеров в изготовлении деталей двигателя

Для производства малогабаритных комплектующих деталей автомобиля полимеры применяются достаточно широко.

Из поливинилхлорида (ПВХ), например, изготавливают шланги омывателя ветрового стекла, сиффоны, изоляцию электропроводов, мягкие ручки, кнопки, канты и др. Для звукоизоляции, защиты днища кузова от коррозии, герметизации сварных швов внутри кузова, препятствующей проникновению воды и пыли, уплотнения желобка водослива, склеивания фильтрующих элементов масляных фильтров с верхней и нижней картонными крышками, изготовления прокладок воздушного фильтра и др. широко используют полимерные пасты (поливинилхлоридные пластизоли). Поливинилхлоридными пленками (эластичными пенополиуретанами) отделяют потолок, сиденья, дверную и боковую обшивку салона автомобиля. Из полужесткого пенополиуретана изготавливают стойки ветрового стекла, щитки приборов, подлокотники, внутренние дверные панели, противосолнечный козырек и др.

Для изготовления вентиляционных трубопроводов, лопастей вентиляторов, педалей акселератора, ручек, крючков и др., а также для облицовки дверей используют полипропилен (ПП), физико-механические свойства которого приведены в таблице 1.3.

В производстве вентиляционных решеток, картера системы охлаждения, облицовки радиатора, колпаков колес, щитка приборов, дверных карманов, чехлов для сидений, перчаточного ящика автомобилей используют сополимер

АБС – пластик с диапазоном эксплуатационных температур от $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+90\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Таблица 1.3

Физико-механические свойства полипропилена

Плотность, г/см ³	0,90–0,91
Разрушающее напряжение при растяжении, кгс/см ²	250–400
Относительное удлинение при разрыве, %	200–800
Модуль упругости при изгибе, кгс	6700–11900
Предел текучести при растяжении, кгс/см ²	250–350
Относительное удлинение при пределе текучести, %	10–20
Ударная вязкость с надрезом, кгс·см/см ²	33–80

Основным полимером для изготовления деталей внутрисалонного освещения, защитных колпаков фонарей заднего света автомобилей является полиметилметакрилат (ПММА) или органическое стекло (оргстекло) – синтетический виниловый полимер метилметакрилата, термопластичный прозрачный пластик, известный под торговыми марками *Plexiglas (плексиглас), Deglas, Acrylite, Lucite, Perspex, Карбогласс, новаттро, плексима, лимакрил, плазкрил, акрилекс, акрилайт, акрипласт*, а также под названием *акриловое стекло, акрил, метаплекс* и др.

Пластмассы-полиамиды на основе ацетобутирата целлюлозы (АБЦ) используют для облицовки рулевого колеса, изготовления кнопок управления, а также разнообразных декоративных деталей. Из полиамидов изготавливают лопасти вентиляторов, подшипники, топливопроводы,

направляющие сидений, детали дверных замков, из полиэтилена – топливные баки (емкостью до 100 л), уплотнительные прокладки, облицовку дверей, багажников, из поликарбонатов – крышку ступицы колеса, внутренние осветители, изоляторы и крышки, облицовку репродукторов, плафоны и др., из полиэфирного стеклопластика, помимо крупногабаритных деталей, – картер системы отопления и защитные трубы. Политетрафторэтилен (ПТФЭ, тефлón или фторопласт-4 – полимер тетрафторэтилена, пластмасса, обладающая редкими физическими и химическими свойствами) применяют для изготовления втулок подшипников скольжения, фенопласты – для электроизоляционных деталей системы зажигания и др. [8].

1.1.3. Исходные материалы для производства деталей из пластмасс

По сравнению с металлами пластмассы характеризуются значительно меньшей плотностью, обладают высокими электроизоляционными свойствами, повышенной износостойкостью, имеют низкий коэффициент трения, хорошо противостоят коррозии, химически стойки, немагнитны. Некоторые разновидности этих материалов обладают высокими прочностными и хорошими оптическими свойствами. Переработка большинства пластмасс в изделие производится высокопроизводительными технологическими методами почти без механической обработки.

Детали в автомобилестроении изготавливают из пластмасс на основе полимеров – синтетических органических соединений (смола). Некоторые виды пластмасс целиком

состоят из полимеров, но чаще пластмассы представляют собой композиции из полимера, который играет роль связующего вещества, наполнителя и различных добавок – красителей, пластификаторов, инициаторов, ингибиторов, ускорителей, растворителей и других компонентов.

Полимер делает пластмассу пластичной и превращает ее после отвердевания в монолитную деталь. В качестве полимеров применяют фенолформальдегидные, фенолкрезолные, эпоксидные и другие смолы.

Фенолформальдегидная смола

Фенолформальдегидная смола представляет собой находящееся в равновесии со своими мономерами полимерное соединение, которое образуется в результате поликонденсации фенола с формальдегидом в присутствии катализаторов. Фенолформальдегидная смола обладает высокой механической устойчивостью и прочностью, коррозионной устойчивостью и высокими электроизоляционными свойствами. В настоящее время объемы выпуска фенолформальдегидной смолы значительно сократились из-за ужесточений экологических требований к материалам, на смену фенолформальдегидным смолам пришли другие полимерные материалы с аналогичными свойствами.

Эпоксидная смола

Востребованная практически во всех отраслях промышленности эпоксидная смола, с точки зрения химического строения, представляет собой синтетическое олигомерное соединение, которое используется в комплексе с отвердителями, способствующими завершению процессов

полимеризации. Именно эти процессы, после завершения которых эпоксидная смола готова к использованию, определяют ее технические и эксплуатационные характеристики. В процессе комбинации различных видов эпоксидных смол и отвердителей образуются разнообразные вещества, обладающие порой противоположными свойствами. Одни из них могут быть твердыми и жесткими, прочность которых превышает прочность стали, а другие, напротив, будут мягкими, по консистенции напоминающими резину. Характеристики некоторых эпоксидных смол отечественных и зарубежных марок приведены в таблице 1.4 [10].

Таблица 1.4

Характеристики эпоксидных смол [10]

Техническое наименование	Температура размягчения °С	Молекулярный вес	Содержание эпоксидных групп %
ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ МАРКИ			
ЭД-5	5-7	400	25
ЭД-6	3-5	550	18
ЭД-13	50-55	1500	8-10
ЭД-15	60-70	2200	5-7
ЗАРУБЕЖНЫЕ МАРКИ			
Эпон 1064	40-45	-----	12,5
Эпон 1001	64-76	900	8,6
Эпон 1004	97-103	1400	5,2
Эпон 1007	127-133	2900	2,0
Эпон 1009	145-155	3750	1,3

Отвержденные эпоксидные смолы имеют микрогетерогенную структуру глобулярного типа. Для изменения тех или иных показателей отвержденных эпоксидных смол в них до введения отвердителя добавляют пластификаторы и наполнители. По прочностным показателям продукты отверждения эпоксидных смол превосходят все применяемые в промышленности полимерные материалы на основе других синтетических смол. Так, прочность при растяжении (для композиций на основе эпоксидных смол без наполнителя) может достигать 140 Мн/м^2 (1400 кгс/см^2), при сжатии 400 Мн/м^2 ($4\,000 \text{ кгс/см}^2$), при изгибе 220 Мн/м^2 ($2\,200 \text{ кгс/см}^2$), модуль упругости $5\,000 \text{ Мн/м}^2$ ($50\,000 \text{ кгс/см}^2$), ударная вязкость 250 кДж/м^2 , или $\text{кгс}\cdot\text{см/см}^2$, относительное удлинение 750 % (температура испытания $20 \text{ }^\circ\text{C}$). Основной недостаток эпоксидных смол в их сравнительно высокой стоимости [10].

Наполнители

Наполнители придают изделиям прочность, жесткость, нагревостойкость и необходимые электротехнические свойства. Номенклатура наполнителей для пластмасс разнообразна. Наполнители могут быть органическими (древесная мука, бумажная крошка, различные ткани, хлопковый очес) и неорганическими (слядяная и кварцевая мука, асбест, мел, тальк, стекловолокно). Наиболее широко применяются порошковые наполнители: мелкоразмолотые каолин, кварц, тальк, фарфор, стальные стружки, асбест, стекловолокно и другие материалы. К числу наполнителей можно отнести и воздушные поры в газонаполненных

пластмассах (пено- и поропласты). У большинства пластмасс существенная часть объема приходится на долю наполнителей, а некоторые пластмассы на 80–90 % (по объему) состоят из наполнителей. Наполнители служат для придания пластмассе следующих свойств:

- улучшения физико-механических, диэлектрических, фрикционных или антифрикционных характеристик;
- повышения теплостойкости;
- уменьшения теплостойкости и усадки;
- снижения стоимости пластмасс.

Пластификаторы

Пластификаторы – органические соединения, придающие пластичность полимерам и расширяющие интервал их высокоэластичного состояния. Пластификаторы увеличивают пластичность и текучесть пластмасс, улучшают морозостойкость, а также уменьшают модуль упругости полимера, т.е. делают его более мягким (поэтому пластификаторы иногда называют мягчителями).

В качестве пластификаторов применяют дибутилфталат (ДБФ), диоктилфталат (ДОФ), трикрезиловый эфир ортофосфорной кислоты – трикрезилфосфат (ТКФ) и др. Универсального пластификатора нет, вследствие чего в зависимости от области применения полимера и предъявляемых к нему требований в композиции вводят либо один, либо смесь пластификаторов. Наиболее распространенный пластификатор как у нас, так и за рубежом – ДОФ. Он относится к так называемым первичным пластификаторам. Помимо первичных имеются также вторичные пластификаторы, которые используются самостоятельно, но могут заменять

первичные лишь частично. Цена вторичных пластификаторов ниже, поэтому многие производители пластмасс стараются использовать именно их. Классическими примерами вторичных пластификаторов являются хлорпарафины (хлорорганические соединения), а также смесь побочных продуктов производства изопрена (ЭДОС) и его аналоги. Помимо ЭДОС в настоящее время на рынке имеется целый ряд его аналогов, характеристики которых несколько хуже. При введении этих пластификаторов в композицию (особенно в больших количествах) могут возникнуть проблемы с пористостью, стабильностью цвета и выцветанием на поверхности при переработке пластмасс.

Стабилизаторы

В процессе переработки пластмасс и эксплуатации изделий из них происходит ухудшение их физико-механических свойств в результате протекания процессов старения. Обычно при старении пластмасс наряду с деструкцией происходит структурирование цепей макромолекул, которое приводит к уменьшению эластичности, повышению жесткости, а соответственно и хрупкости материала. Поэтому в состав пластмасс часто вводят стабилизаторы – вещества, предотвращающие разложение полимерных материалов во время их переработки и эксплуатации под воздействием атмосферных условий, повышенных температур, механического нагружения и других факторов. Стабилизаторы вводят в полимер на стадии переработки в количествах, не превышающих 5 %. При выборе стабилизаторов принимают во внимание их доступность, стоимость и токсичность. Стабилизаторы делятся на:

- антиоксиданты (противоокислители, антиокислители, консерванты) - вещества (ароматические амины, фенолы, нафтолы и др.), которые ингибируют окисление, предотвращают и термическую, и термоокислительную деструкцию;

- антиозонанты - предотвращают озонное старение;

- светостабилизаторы (УФ-адсорберы) - предотвращают фотоокислительную деструкцию;

- антирады - предотвращают радиационную деструкцию.

По механизму действия стабилизаторы подразделяют на:

- блокирующие - вещества (ингибиторы), которые реагируют со свободными полимерными радикалами на стадии их образования (NH_2 , OH);

- превентивные антиоксиданты - вещества (сульфиды, тиофосфаты и др.), обладающие способностью вызывать при разложении окислении образующихся в полимере гидропероксидов.

На практике широко используется применение смеси из двух антиоксидантов, действующих по различным механизмам. Их действие в этом случае взаимосоиливается, что называют эффектом синергизма.

Отвердители

Отвердители вводят для сокращения времени отверждения пластмасс посредством ускорения процесса их полимеризации и сокращения технологического процесса при формообразовании изделий. Тип отвердителя выбирают

в зависимости от природы полимера и заданных свойств системы. В качестве отвердителей могут применяться как полифункциональные соединения (диамины, оргкислоты, их ангидриды), так и пероксиды в сочетании с ускорителями и активаторами реакции полимеризации. Для полимеризации эпоксидной смолы используют следующие отвердители: полиэтиленполиамин (ПЭПА, разводится в соотношении 10 % от массы смолы); Этал-45М, разводится в соотношении 50 % от массы смолы; триэтилентетрамин (ТЭТА, разводится в соотношении 10 % от массы смолы) [11]. Будучи реактопластом, эпоксидная смола вступает в необратимую реакцию полимеризации с отвердителем, что способствует получению прочного вещества, нерастворимого в воде и под действием высоких температур (рис. 1.7), так как при отверждении идут реакции взаимодействия функциональных групп олигомера с функциональными группами отвердителя. Отвердитель Butanox-M50 используют в отношении к полиэфирным смолам. Сокращают время отверждения пластмасс катализаторы-отверждения (известь и окись магния), а также инициаторы отверждения с ускорителями. Инициаторы отверждения – вещества, которые вызывают образование поперечных связей между молекулами олигомера по механизму радикальной полимеризации (пероксиды). Ускорители разложения пероксидов – азотосодержащие соединения, применяемые в сочетании с пероксидом бензоила, или металлосодержащие соли (переменной валентности).

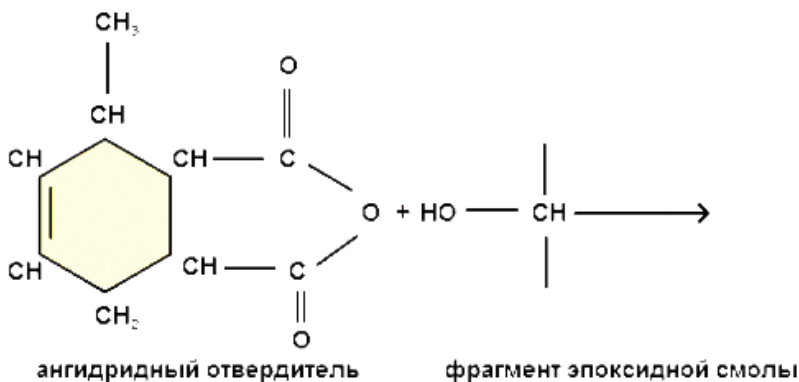


Рис. 1.7. Фрагмент необратимой реакции полимеризации эпоксидной смолы с отвердителем

Красители

Красители (пигменты) добавляют для окрашивания пластических масс. Применяют как минеральные красители (охра, сурик, умбра, литопон, крон и т.д.), так и органические (нигрозин, родамин, хризондин). Красители добавляют в пластмассу для придания деталям необходимого цвета, цветовой гаммы и различных оттенков. Например, нигрозин обеспечивает получение пластмассовых изделий черного цвета; родомин – красного; метилфиолет – фиолетового. К красителям предъявляют ряд требований: высокая дисперсность (частицы 1–2 мкм), химическая и свето-, термо-, атмосферостойкость.

Красители вводят в полимеры в виде порошка или суперконцентрата (порошок, паста, гранулы). Основные преимущества окрашивания полимеров в массе:

- сокращение технологических операций;
- качество окраски сохраняется весь период эксплуатации изделия;
- окрашенный слой не отслаивается из-за плохой адгезии или механических повреждений поверхности;
- окрашенный в массе материал не выгорает.

Вместе с тем окрашивание полимеров в массе путем добавления порошка красителя неудобно, так как это имеет ряд недостатков:

- неудовлетворительные оптические свойства окрашиваемого полимера;
- снижение механических показателей изделия;
- неоправданно высокий расход дорогостоящего красителя;
- трудность перехода от одного цвета к другому, вызванная чисткой оборудования.

В основном все перечисленные недостатки имеют одно объяснение – сложность полного диспергирования (распределения) красителя в объеме полимера. Частицы красителя агрегируются (слипаются), что приводит к возникновению разводов, тусклости и неравномерности окраски. Для предотвращения описанных выше проблем, а также улучшения условий труда при окрашивании пластиков используют суперконцентраты красителей, которые представляют собой дисперсии пигментов в веществах,

легко совмещающихся с окрашиваемым полимером. Другими словами, при использовании суперконцентрата в объеме полимера вводится уже диспергированный порошок красителя. При переработке частицы красящего вещества будут легко и равномерно распределяться по всему объему будущего изделия, не слипаясь и не оседая. В названии суперконцентратов приставка «супер» означает высокое содержание порошка красителя в красящей массе (до 90 %).

Наряду с суперконцентратами существуют просто концентраты красителей с содержанием в своем составе до 20 % пигмента. Производителям изделий из пластмасс выгоднее иметь дело с суперконцентратами, т.к. из-за высокого содержания пигмента их расход на производство значительно ниже.

В зависимости от способа получения конечный красящий продукт – исходный материал для изготовления деталей автомобилей может быть в виде гранул, порошка, пасты или раствора. Наиболее востребованы суперконцентраты, полученные методом диспергирования пигмента в расплаве полиолефинов, полиолефиновых восков и полистирола, так как львиная доля перерабатываемых материалов – именно полиолефины. Преимущества использования суперконцентратов:

- возможность окрашивания полимера в любые цвета;
- высокое качество окраски;
- окрашивание может производиться на любом стандартном оборудовании без каких-либо дополнительных материальных и временных затрат;

- экологичность производства;
- простота введения необходимо количества суперконцентрата в расплав полимера;
- возможность быстрого перехода с одного цвета на другой.

На данный момент имеется множество суперконцентратов, которые позволяют окрасить полимер практически в любой цвет и оттенок в пределах известной цветовой гаммы. Кроме того, появились суперконцентраты, позволяющие получить при окрашивании различные спецэффекты, от которых внешний облик изделий из полимеров существенно меняется. К спецэффектам относятся перламутровые, флуоресцентные, опалесцирующие, фосфоресцирующие и радужные окраски полимеров. Добавки с такими эффектами используются в дорожных знаках, рекламе, спецодежде, игрушках и многих других изделиях, где важен визуальный эффект.

В суперконцентратах могут использоваться также флеку и флиттеры, как вкрапления в основную массу полимера волокон, чешуек или точек. С их применением возможно получать окраску «под горные породы» – мрамор, гранит и другие. Такие эффекты достигаются за счет того, что данные вкрапления являются окрашенными частицами полимеров с более высокой температурой плавления, чем окрашиваемый материал.

Структурообразователи

Для создания у деталей автомобилей мелкокристаллической структуры с улучшенными физико-механическими

свойствами в полимер вводят различные оксиды, карбиды, нитриды, соли органических кислот и другие соединения, которые играют роль искусственных центров кристаллизации. Увеличенное число центров кристаллизации в единице объема полимера приводит к тому, что крупные кристаллические образования «физически» не могут сформироваться из-за пространственных затруднений. В результате этого образуется большое число сферолитов небольших размеров однородной мелкокристаллической структуры (рис. 1.8).

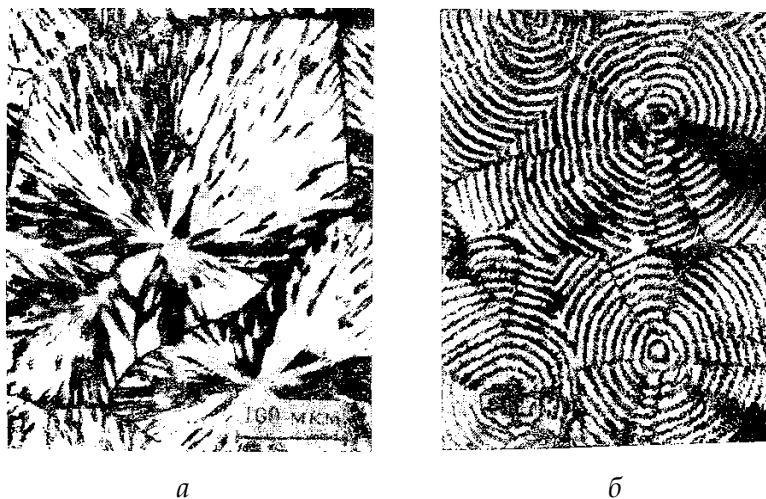


Рис. 1.8. Различные виды сферолитов:
a – радиальный; *б* – кольцевой

Добавляют структурообразователи (регуляторы структурообразования) в количестве 0,1–1,0% от массы полимера. Большие количества добавок структурообразователей

(нуклеаторов, зародышеобразователей) приводят к образованию трещин.

Антипирены

Антипирены снижают горючесть полимеров. Это соединения, содержащие в своем составе галогены, фосфор и азот. По механизму своего действия они: 1) препятствуют пиролизу полимера и 2) образуют слаболетучие негорючие газы, препятствующие воспламенению газов пиролиза.

Антистатика

Антистатика препятствуют возникновению и накоплению статического электричества в изделиях из полимеров. В качестве антистатиков используют различные поверхностно-активные вещества (амины, порошки металлов, графит, технический углерод). Их действие основано на повышении электропроводности полимера, что обеспечивает утечку зарядов.

1.2. Технологии и оборудование производства деталей из пластмасс

Основные способы производства деталей из пластмасс в автомобилестроении – прессование и литье под давлением. Простота процессов переработки пластмасс, обеспечивающих получение готовых изделий или полуфабрикатов с заданными свойствами на специальных оборудовании, является главным их преимуществом по сравнению с другими материалами. Переработке пластмасс предшествуют проектирование рациональной конструкции изделия, выбор оптимального метода переработки

и условий его осуществления, разработка состава исходного материала, наиболее пригодного для выбранного метода производства, оборудования и условий эксплуатации. Собственно технология переработки пластмасс состоит из следующих основных стадий [15]:

а) приготовление материала на основе исходного полимера и подготовка его к формованию (например, таблетированию);

б) формование полученного материала и изготовление из него изделий или полуфабрикатов;

в) последующая обработка с целью улучшения свойств полимера или изделия (термическая обработка, механическая обработка, сварка и др.).

Способы формования (прессования и литья под давлением) изделий из пластмасс зависят от их отношения к нагреву, т.е. от того, являются они термопластами или реактопластами. На выбор способа формования изделий из пластмасс влияют технологические свойства исходного материала – композиции из полимера, который играет роль связующего вещества, наполнителя и различных добавок – красителей, пластификаторов, инициаторов, ингибиторов, ускорителей, растворителей и других компонентов.

1.2.1. Приготовление материала на основе исходного полимера и подготовка его к формованию

При переработке пластмасс важнейшей задачей является обеспечение высокого качества изделий при максимально возможной производительности. Наиболее надежным показателем качества изделия являются структурные

показатели, достигаемые путем целенаправленной кристаллизации. Тем самым обеспечивается создание заданных свойств изделий. При этом важное значение имеют технологические свойства пластмасс, оказывающих доминирующее влияние на выбор способов и методов их переработки в изделия. К основным технологическим свойствам пластмасс относят: текучесть, усадку, скорость отверждения (реактопластов) и термостабильность (термопластов).

Технологические свойства, процессы переработки и качество готовых изделий продукции существенно зависят от влажности и температуры полимера. Придание материалу требуемой влажности сушкой или увлажнением осуществляют на стадии подготовки к формованию. Увеличение влажности полимера сверхнормативных показателей способствует уменьшению текучести исходного материала, затрудняет его переработку, влияет на стабильность свойств готовых изделий. Для сушки исходного полимерного материала перед его переработкой используют вакуум-сушилки, барабанные, турбинные, ленточные и другие типы сушилок. Основной задачей в этом случае является обеспечение требуемой влажности путем сушки или увлажнения, гранулирования, таблетирования, предварительного подогрева. Если влажность исходного полимерного материала понижена, то ее повышают путем его увлажнения опрыскиванием водой, спиртом, ацетоном или другими жидкостями.

Все многообразие оборудования для переработки пластмасс ориентировано на работу именно с гранулятом

исходного полимерного материала (сырья), что позволяет в каждом конкретном случае добиваться максимальной эффективности производства готовых изделий. Грануляция (гранулирование) – это стадия подготовки пластика к переработке, заключающаяся в превращении порошкообразного полимерного материала в сыпучий продукт – гранулы (частицы, зерна) определенной величины, т.е. в укрупнении порошкообразного продукта с образованием компактной формы и объемной поверхности гранул.

Гранулы могут иметь форму шара, цилиндра, куба, чечевицы и т.д., однако в пределах одной партии материала форма частиц должна быть одинаковой.

Назначение гранулирования порошкообразного полимерного материала:

- улучшение сыпучести гранулированной массы;
- предотвращение расслаивания многокомпонентной гранулированной массы;
- предотвращение слипания частиц различной величины и удельной плотности;
- обеспечение равномерной скорости поступления и степени дозирования гранулированной массы при формировании полученного материала и изготовлении из него изделий или полуфабрикатов.

Гранулированные материалы имеют большую насыпную плотность, хорошую сыпучесть и стабильные характеристики в течение длительного времени хранения. Они хорошо дозируются, хранятся, транспортируются, не пылят в производственных помещениях, уменьшают объем

складских хранилищ и емкостей. Конечный продукт процесса грануляции исходного полимерного материала используется для дальнейшей переработки и формирования различных изделий.

Виды грануляции: 1) влажная грануляция – осуществляется продавливанием влажных масс с последующим распылительным или контактным высушиванием; 2) сухая грануляция – размол до определенной величины с предварительным уплотнением (компактированием) или без него; 3) структурная грануляция (грануляция в псевдосжиженном слое).

На рис. 1.9 представлен гранулятор для влажного гранулирования протиранием масс исходного полимерного материала через сито.

Современные тенденции приготовления материала на основе исходного полимера и подготовки его к формированию основаны на совмещении нескольких операций: «смешение + гранулирование» или «смешение + гранулирование + сушка» в комбинированных грануляторах «Baker Perkin» (Англия) и «Machines collete» (Бельгия), например.

1.2.2. Процессы изготовления формованием изделий

из пластмасс

Способы формообразования деталей

в вязкотекучем состоянии

Большинство пластмасс перерабатывают в детали в вязкотекучем состоянии способами прессования, литья, выдавливания. Прямое (компрессионное) прессование – один из основных способов переработки реактопластов в изделия – в автомобильные детали, в частности.

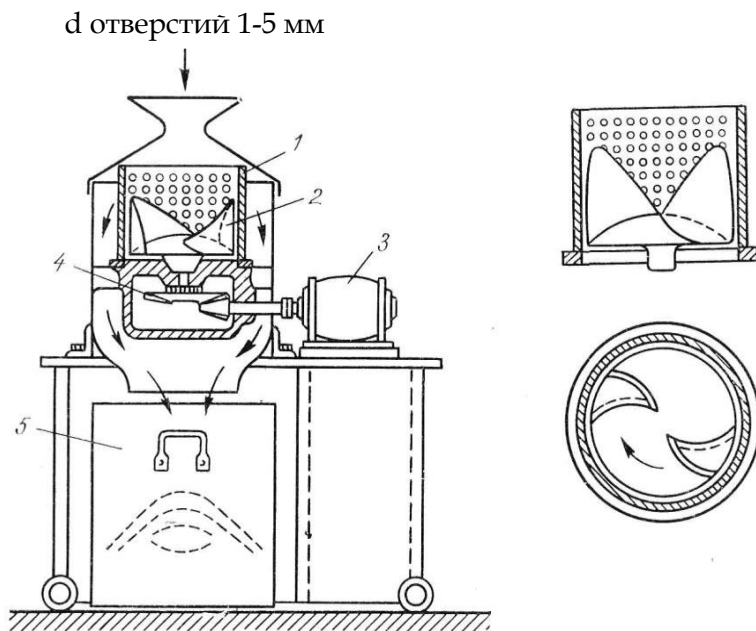


Рис. 1.9. Гранулятор для влажного гранулирования исходного полимерного материала:

- 1 - цилиндр с отверстиями диаметром $d = 1-5$ мм;
- 2 - протирающие лопасти;
- 3 - электродвигатель; 4 - коническая передача;
- 5 - приемник для гранул

В полость матрицы пресс-формы 3 (рис. 1.10, а) загружают предварительно гранулированный или порошкообразный материал 2. При замыкании пресс-формы под действием усилия пресса пуансон 1 создает давление на прессуемый материал (рис. 1.10, б). Под действием этого давления и теплоты от нагретой пресс-формы материал

размягчается и заполняет формообразующую полость пресс-формы. После определенной выдержки, необходимой для отверждения материала, пресс-форма раскрывается и с помощью выталкивателя 5 из нее извлекается готовая деталь 4 (рис. 1.10, в).

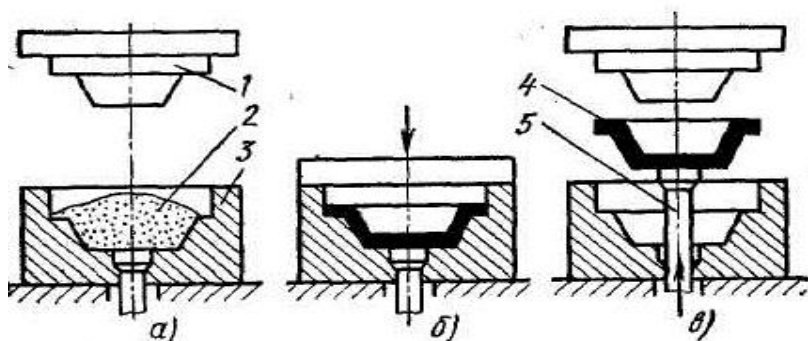


Рис. 1.10. Схема прямого прессования

Процесс отверждения формируемого изделия сопровождается выделением летучих составляющих композиционного материала и паров влаги. Для удаления газов в процессе прессования выполняют так называемую подпрессовку, заключающуюся в переключении гидропресса после определенной выдержки на обратный ход, в подъеме пуансона на 5–10 мм и выдержке его в таком положении в течение 2–3 с. После этого пресс-форма снова смыкается. При прессовании крупных толстостенных деталей из материалов с повышенной влажностью подпрессовку проводят дважды.

Нагрев пресс-формы осуществляют обычно электронагревателем. Рабочую температуру в процессе прессования поддерживают постоянной с помощью автоматически действующих приборов. Для загрузки в полость пресс-формы определенного количества пресс-материала используют объемную дозировку или дозировку по массе. Применяют также поштучную дозировку (определенного числа таблеток). Прессуют на гидравлических прессах, в т.ч. работающих по автоматическому циклу.

Прямым прессованием получают детали средней сложности и небольших размеров из термореактивных материалов с порошкообразным и волокнистым наполнителями.

Получать детали сложной формы, с глубокими отверстиями, в том числе резьбовыми позволяет литьевое прессование (рис. 1.11). В процессе перетекания через литниковое отверстие пресс-материал прогревается одинаково, что обеспечивает более равномерную структуру прессуемой детали. При литьевои прессовании отпадает необходимость в подпрессовках, так как образующиеся газы могут выходить в зазор между литниковой плитой 3 и матрицей 5.

Литьевое прессование отличается от прямого тем, что прессуемый материал загружают не в полость пресс-формы, а в специальную загрузочную камеру 2 (см. рис. 1.11). Под действием теплоты от пресс-формы прессуемый материал переходит в вязкотекучее состояние и под давлением со стороны пуансона 1 выжимается из загрузочной камеры 2 в полости матрицы пресс-формы через специальное отверстие в литниковой плите 3. После отверждения материала пресс-форму разъединяют и готовые детали 4 извлекают из матрицы 5.

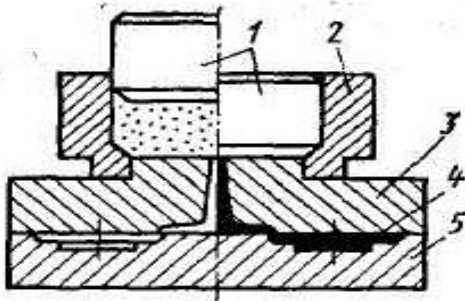


Рис. 1.11. Схема литьевого прессования

Недостатком литьевого прессования является повышенный расход пресс-материала, так как в загрузочной камере и литниковых каналах остается часть отвержденного и неиспользуемого в дальнейшем пресс-материала. Кроме того, пресс-формы для литьевого прессования сложнее по конструкции и дороже пресс-форм для прямого прессования.

Для прессования деталей применяют одно- и многогнездные пресс-формы. Многогнездные пресс-формы используют для получения деталей простой формы и небольших размеров. Форма и размеры прессуемых деталей зависят от формообразующих элементов пресс-формы, к которым предъявляют высокие требования по точности и качеству поверхности. Формообразующие детали пресс-форм изготавливают из высоколегированных или инструментальных сталей с последующей закалкой до высокой твердости. Для повышения износостойкости и улучшения внешнего вида прессуемых деталей формообразующие элементы пресс-форм полируют и хромируют.

Высокопроизводительный и эффективный способ массового производства деталей из термопластов – литье под давлением (рис. 1.12).

Предварительно подсушенный пресс-материал загружается в бункер 3 и подается дозирующим устройством 2 в камеру сжатия 14 в тот момент, когда поршень 1 литьевого цилиндра 15 находится в крайнем левом положении. За каждый рабочий ход поршня в цилиндр подается количество материала, равное по массе отлитой детали вместе с литниковой системой. В камере сжатия пресс-материал нагревается устройствами электроподогрева 4 до требуемой температуры, которая поддерживается с помощью автоматического терморегулятора 5. Процесс литья начинается замыканием литьевой пресс-формы, состоящей из двух частей 7 и 9. Сочлененная пресс-форма перемещается влево до соединения с соплом 13 камеры сжатия, после чего поршнем 1 пресс-материал под большим давлением нагнетается в пресс-форму, где он охлаждается водой, циркулирующей по каналам 12, и отвердевает. Время выдержки составляет 1–2 с на 1 мм наибольшей толщины стенки. После выдержки давление снимается и пружины 6 отводят пресс-форму от цилиндра, происходит ее разъем. Изделие 16 удаляется из матрицы 9 выталкивателями 8, соединенными общей плитой, при воздействии на эту плиту упора 11. Пружины 10 возвращают плиту с выталкивателями в исходное положение.

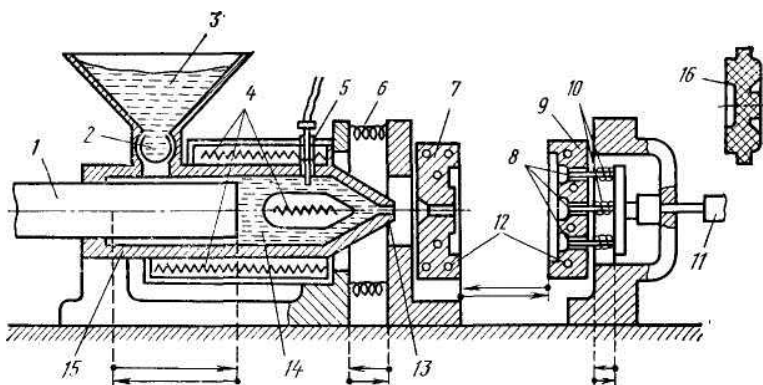


Рис. 1.12. Схема литья под давлением на поршневой машине [15]:

- 1 – поршень; 2 – дозирующее устройство; 3 – бункер;
- 4 – устройство электроподогрева; 5 – терморегулятор;
- 6 – пружины; 7 – часть пресс-формы; 8 – выталкиватель;
- 9 – часть пресс-формы; 10 – пружины; 11 – упор; 12 – каналы;
- 13 – сопло; 14 – камера сжатия; 15 – литевой цилиндр;
- 16 – изделие

Давление и температура прессования зависят от марки материала (таблица 1.5). При прессовании деталей, например из полистирола, давление в цилиндре машины составляет 80–150 МПа. Температура в камере сжатия должна быть не ниже 463–488 К. Чем ниже температура, тем выше должно быть давление в цилиндре. При литье под давлением термопластов нагревается только литевой цилиндр машины.

Литьем под давлением можно получить сложные по конфигурации, тонкостенные детали с высокой точностью размеров. Можно получать армированные детали. По сравнению с процессами прямого литьевого прессования реактопластов литье под давлением имеет значительно более

высокую производительность (до 300 отливок в час в одно-местной пресс-форме). В качестве оборудования используют автоматические и полуавтоматические литейные машины моделей ЛМ30; ЛМ50; ЛМ100; ЛМ250; ЛМ500; ЛМ1000 с поршневой или шнековой подачей материала.

Для получения крупногабаритных и толстостенных деталей из термопластов (кольца, шкивы, зубчатые колеса и т.п.) применяют центробежное литье. Центробежные силы плотно прижимают залитый материал к внутренней поверхности формы. После охлаждения готовую деталь извлекают из формы и заливают новую порцию расплавленного материала.

Таблица 1.5

Режимы литья термопластов [14]

Материал	Условия литья		
	Температура расплава, °С	Давление, МПа	Температура формы, °С
ПЭВД*	170–220	0,6–10	30–60
ПЭНД**	180–250	0,8–12	50–60
ПП***	180–280	0,8–14	40–80
ПВХ	120–160	0,5–15	40–60
Полистирол	190–230	10–15	50–70
Полиамид ПА-610	220–270	0,8–14	50–90
Поликарбонаты	220–230	10–15	80–100

* – полиэтилен высокого давления;

** – полиэтилен низкого давления;

*** – полипропилен

Высокой производительностью и возможностью получения на одном и том же оборудовании большого многообразия деталей обладает наиболее прогрессивный технологический процесс выдавливания (экструзии), который отличается от других способов переработки термопластов непрерывностью. Выдавливание перерабатываемого материала в виде порошка или гранул осуществляют на специальных червячных машинах (рис. 1.13).

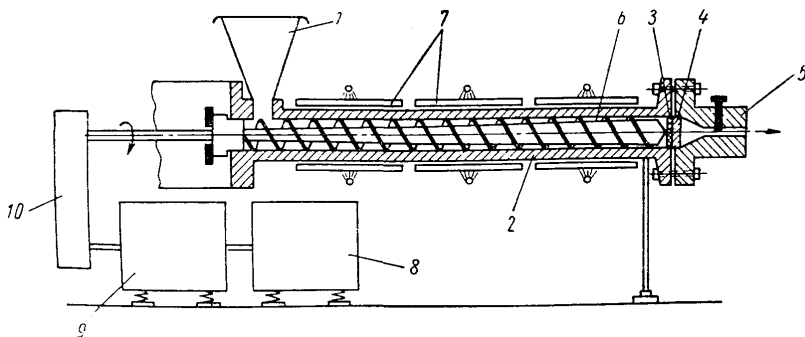


Рис. 1.13. Схема технологического процесса непрерывного выдавливания

Исходный полимерный материал из бункера 1 падает в рабочий цилиндр 2, где захватывается вращающимся червяком 6, который перемешивает, уплотняет и перемещает материал в полости рабочего цилиндра 2 в направлении к формующей головке (матрице) 5. В результате передачи теплоты от нагревательных элементов 7 и выделения теплоты при трении частиц материала друг о друга и о стенки цилиндра перерабатываемый материал

переходит в вязкотекучее гомогенизированное состояние и непрерывно выдавливается через калиброванное отверстие матрицы 6. Расплавленный полимерный материал проходит через калиброванное отверстие формующей головки 5.

Методом непрерывного выдавливания в основном из термопластичных полимеров полиэтилена, полистирола, поликарбоната, поливинилхлорида и других материалов изготавливаются профили, трубы, пленки, сетки (рис. 1.14, б), при этом для получения отверстия при выдавливании труб применяют оправку 5 (рис. 1.14, а). Изготавливать трубы можно диаметром от десятых долей миллиметра (капиллярные трубки) до 500 мм и более, но тогда возникает необходимость в калибровании трубы и использовании агрегата для их производства (рис. 1.15). Как правило, трубы изготавливают из высоковязких сортов полимеров, так как при малой вязкости расплава трудно сохранить заданную форму трубы после выхода ее из калиброванного отверстия матрицы (формующей головки) 2, следом за которой установлена калибрующая насадка 3 (рис. 1.15), в которой трубный профиль частично охлаждается и приобретает необходимые размеры.

Шнеки литьевых машин конструктивно отличаются от экструзионных. Они обычно имеют меньшую длину ($L/D = 15-17$) и степень сжатия для них равна 2-2,5. Это объясняется тем, что в литьевых машинах не требуется создания во время дозирования высоких давлений и не нужна очень хорошая гомогенизация, так как при впрыске

происходит дополнительный нагрев расплава и он хорошо перемешивается вследствие течения в литниковых каналах. Недостаток в гомогенизации при дозировании восполняется на последующей технологической операции, т.е. при впрыске расплава в форму. Для того чтобы во время впрыска можно было создать внутри цилиндра высокое давление и исключить обратное течение расплава по каналам шнека, на хвостовике шнека устанавливают запорный клапан.

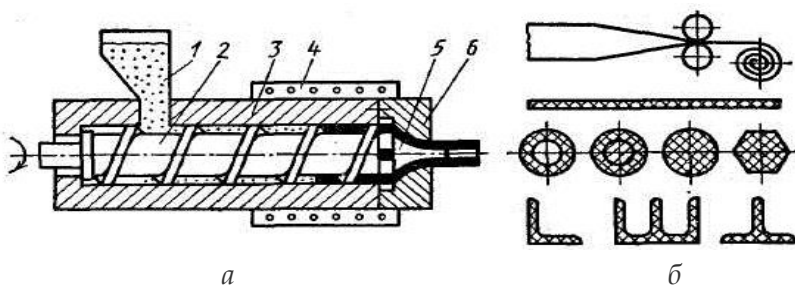


Рис. 1.14. Схема установки непрерывного выдавливания (а) профили изготавливаемых деталей (б)

Литые и прессованные детали из пластмасс имеют гладкие поверхности с шероховатостью $R_a = 1,25-0,8$ мкм и точностью размеров в пределах 11-13-го качества точности [16].

Чрезвычайно важными процессами для производства трехмерных изделий из пластиков являются пневмо- и вакуумформование – процессы формирования изделия из листового заготовки полимерного материала, для производства

которой применяется технологический процесс каландрования – получения плоского бесконечного полотна определенной ширины и толщины (листов, полос), осуществляемый за счет деформации расплава полимера в зазоре между вращающимися валками с последующим охлаждением (рис. 1.16) [17].

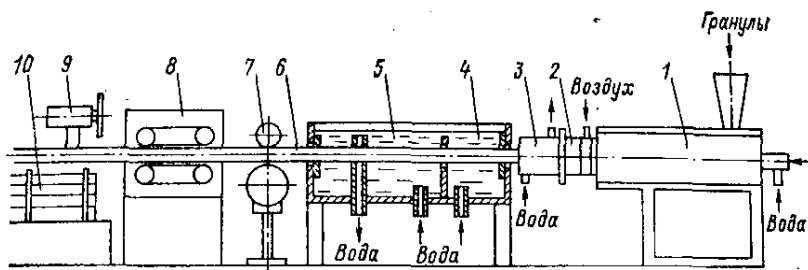


Рис. 1.15. Схема агрегата непрерывного выдавливания (экструдирования) производства труб:

1 – экструдер; 2 – формующая головка; 3 – калибрующая насадка; 4 и 5 – первая и вторая зоны охлаждения; 6 – труба; 7 – измерительно-маркирующее устройство; 8 – тянущее устройство; 9 – отрезающее устройство; 10 – приемный стол (штабелирующее устройство)

Процесс каландрования плоского бесконечного полотна (полос) из жесткого или пластифицированного поливинилхлорида, полиэтилена, ударопрочного полистирола и других полимеров осуществляется на каландрах с различными схемами их расположения (рис. 1.17). Первоначально каландры изготавливались с вертикальной схемой расположения валков (I-образные), затем наиболее часто стали использовать каландры с треугольной схемой, Г-, Z-, и S-образные [18].

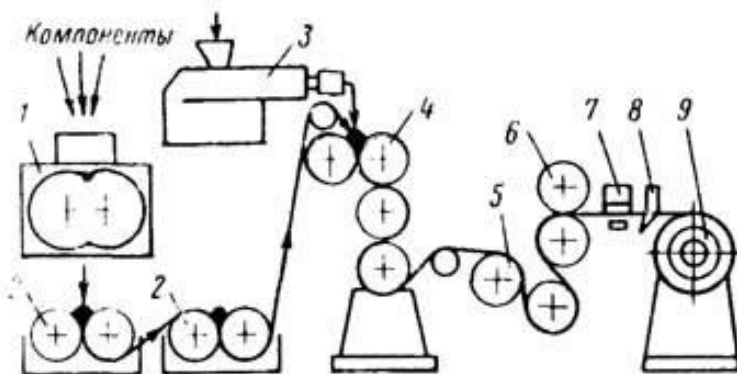


Рис. 1.16. Технологическая схема изготовления полосовой заготовки полимерного материала каландрованием:
 1 – смеситель; 2 – вальцы; 3 – шнековый смеситель; 4 – каландр;
 5 – охлаждающие валки; 6 – тянущее устройство;
 7 – толщиномер; 8 – устройство для обрезания кромок;
 9 – намоточный барабан.

Наиболее распространенное расположение валков технологического процесса каландрования представлено на рис. 1.18 в виде типичной каландровой линии в форме «опрокинутой L-схемы», первая группа валков которой предназначена для начальной трансформации исходного полимерного сырья в полосовую полуфабрикат с «грубыми» размерами по ширине и толщине. Последующие пары валков полностью формируют полосовую заготовку. От качества полированной поверхности последней пары валков и точного регулирования зазора между ними зависит степень глянца или матовости как с одной, так и при необходимости с двух сторон полосовой заготовки, ее текстурированность и окончательная толщина.

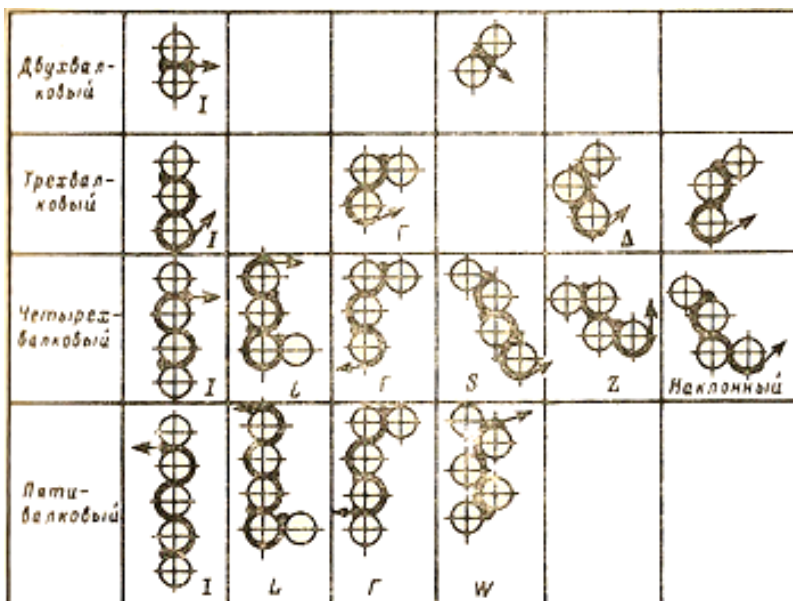


Рис. 1.17. Классификация каландров и типовые схемы расположения валков технологического процесса каландрования [18]

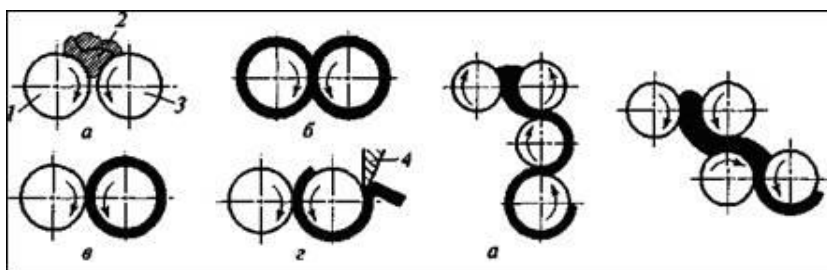


Рис. 1.18. Схема каландровой линии в «опрокинутой L-схеме»

На последнем этапе перед смоткой полосовой заготовки в рулоны на намоточном барабане ее охлаждают, т.к. процесс каландрования предусматривает достаточно

высокие температуры. Для получения полосовой заготовки регулируемой толщины применяют серию валков с постепенно уменьшающимся зазором между ними.

Из полосовой заготовки на ножницах различных конструкций осуществляют размерную резку листовых заготовок для последующего пресс-, пневмо- и вакуумформования двух- и трехмерных изделий [19], таких, например, как детали интерьера и экстерьера автомобилей (рис. 1.19).

Схема технологического процесса пневмоформования листовых термопластов следующая: термопластичную листовую заготовку 1 из полимерного материала нагревают до температуры его размягчения, размещают на поверхности матрицы металлической пресс-формы 5 и пуансоном 3 выпрессовывают ее в полость матрицы (рис. 1.20). При этом размягченная листовая заготовка 4 принимает форму полости металлической матрицы 5, которая затем в процессе охлаждения затвердевает и из пресс-формы извлекается в виде сформованного изделия.



Рис. 1.19. Примеры пневмо- и вакуумформовки деталей интерьера и экстерьера автомобилей [20]

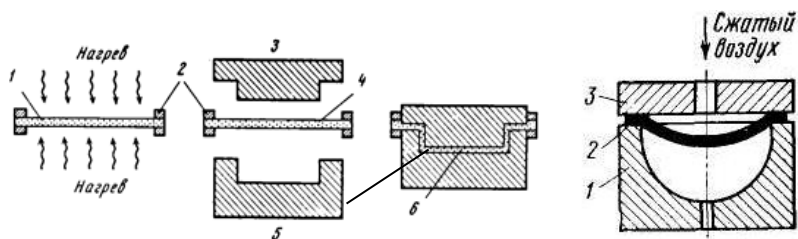


Рис. 1.20. Схема процесса прессформования (а) и пневмоформования (б) изделия из термопластичной листовой заготовки [19]:

- а) 1 – листовая заготовка из термопластического материала;
- 2 – зажим; 3 – пуансон; 4 – размягченная нагревом листовая заготовка; 5 – матрица; 6 – сформованное изделие;
- б) 1 – матрица; 2 – листовая заготовка из термопластического материала; 3 – прижимная плита

В модифицированном методе формования изделия зафиксированная зажимами 1 листовая заготовка 2 из термопластичного материала после размягчения нагревом засасывается под действием вакуума в полость матрицы 3 и принимает требуемую форму 4 (рис. 1.21).

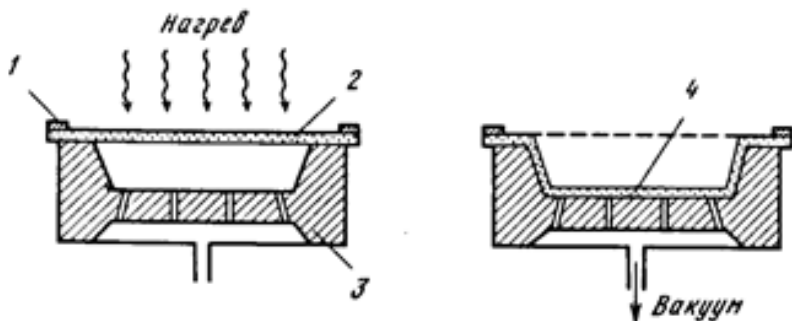


Рис. 1.21. Схема процесса вакуумформования изделия из термопластичной листовой заготовки [19]

Существует ряд вариаций метода вакуумформования изделий, включая методы с предварительной вытяжкой (рис. 1.22, *а*) и процесс с вспомогательным пуансоном (рис. 1.22, *б*). В процессе с предварительной вытяжкой форму 2 размещают на подъемном столике 3 в вакуумной камере, поршень подъемного столика поднимает его вместе с формой 2 и вытягивает ею размягченную нагревателем 4 листовую заготовку 1 непосредственно перед вакуумированием (рис. 1.22, *а*). Предварительная вытяжка снижает утончение листовой заготовки в углах формы.

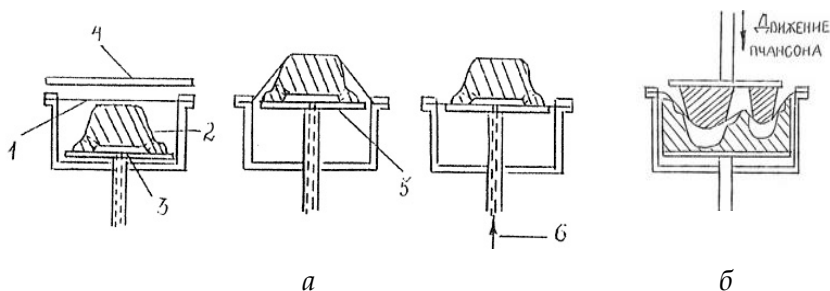


Рис. 1.22. Схема технологического процесса вакуумформования с предварительной вытяжкой (*а*) и предварительным формованием вспомогательным пуансоном (*б*) [21]:

1 – лист; 2 – форма; 3 – подъемный столик; 4 – нагреватель; 5 – поднятый подъемный столик; 6 – к вакуум-линии.

Толщина листа при вакуумном формовании 1,5–2,5 мм; при пневмоформовании (дутьевом формовании) 1–4 мм.

Преимущества процессов методов пресс-, пневмо- и вакуумформования являются: малая стоимость и металлоемкость оборудования; высокая подверженность автоматизации. Недостатками методов пресс-, пневмо- и вакуумформования

являются: низкая производительность из-за продолжительности цикла формования; сложность нагрева, формования и обрезки листов свыше 3 мм; большое количество отходов – до 40 % [22]. Следует также иметь в виду, что в цехах по переработке пластических масс действуют вредные для здоровья человека факторы: выделение значительного количества теплоты и газов, наличие пыли от пресс-материалов. Существует возможность поражения электротоком от нагревательных устройств и травм при механических перемещениях частей пресс-форм. Вследствие этого для обеспечения нормальных условий труда должен быть выполнен ряд мероприятий:

- 1) все отделения цеха по переработке пластмасс должны быть размещены в самостоятельных помещениях;
- 2) все производственные процессы должны быть максимально механизированы и автоматизированы;
- 3) для защиты работающих от действия вредных газов и пыли, для удаления избыточной теплоты, цех должен быть оборудован эффективно действующей приточно-вытяжной вентиляцией и местной отсасывающей вентиляцией, оборудованных вибро- и шумогасителями;
- 4) нагреваемые поверхности оборудования и элементы электрических цепей на рабочих местах должны быть надежно изолированы.

1.2.3. Основные области применения пластмасс в машиностроении

Виды деталей, узлов автомобилей и пригодные для их изготовления полимерные материалы [23–24]:

- зубчатые и червячные колеса: полиамиды, полипропилен, пентапласты, поликарбонаты, полиформальдегид, фенопласты;

- шкивы, маховички, рукоятки, кнопки: полиамиды, аминопласты, фенопласты;

- ролики, катки, бегуны: полиамиды, поливинилхлорид, полипропилен, поликарбонаты;

- подшипники скольжения: полиамиды, полиэтилен, полипропилен, полиакрилаты, эпоксипласты, пентапласты, поликарбонаты, полиформальдегид, фенопласты;

- направляющие станков: полиамиды, эпоксипласты, текстолит;

- детали подшипников качения: полиамиды, поликарбонаты и др.;

- тормозные колодки, накладки: фенопласты;

- рабочие органы вентиляторов, насосов и гидромашин: полиамиды, полиэтилен, поливинилхлорид, полипропилен, пентапласты, поликарбонаты, стеклопластики;

- трубы, детали арматуры, фильтры масляных и водных систем: полиэтилен, поливинилхлорид, полипропилен, поликарбонаты, стеклопластики;

- уплотнения: полиамиды, полиэтилен, фторопласты, поливинилхлорид, полипропилен;

- кожухи, корпуса, крышки, резервуары: полиэтилен, аминопласты, поливинилхлорид, полипропилен, полистирол, полиакрилаты, поликарбонаты, фенопласты, стеклопластики;

- детали приборов и автоматов точной механики: полиамиды, полиэтилен, поливинилхлорид, полипропилен, пентапласты, поликарбонаты, полиформальдегид, фенопласты;

- болты, гайки, шайбы: полиамиды, полиэтилен, аминопласты, поливинилхлорид, полипропилен, пентапласты, поликарбонаты, полиформальдегид, фенопласты;

- пружины, рессоры, кулачковые механизмы, клапаны: полиамиды, поливинилхлорид, полипропилен, поликарбонаты, полиформальдегид, текстолит, стеклопластики;

- крупногабаритные элементы конструкций, емкости, лотки и др.: полиэтилен, поливинилхлорид, полистирол, стеклопластики;

- электроизоляционные детали, панели, щитки, корпуса приборов: полиамиды, полиэтилен, фторопласты, аминопласты, поливинилхлорид, полипропилен, полистирол, полиакрилаты, эпоксипласты, пентапласты, поликарбонаты, полиформальдегид, фенопласты, волокниты, текстолит, стеклопластики;

- светопропускающие оптические детали (линзы, смотровые стекла и др.): полиэтилен, аминопласты, полипропилен, полистирол, полиакрилаты, поликарбонаты.

Основные требования к пластмассам для зубчатых колес – высокая контактная прочность и сопротивление изгибу, износостойкость, демпфирующая способность, динамическая выносливость, стабильность размеров. При использовании пластмасс, удовлетворяющих этим требованиям, повышается долговечность колес, в среднем в 1,5 раза

снижается уровень шума, уменьшается чувствительность передачи к наличию смазки, снижаются требования к точности изготовления колеса. Однако единичный зуб из полиамида со стандартным контуром по статической прочности уступает зубьям из улучшенной или закаленной стали соответственно в 3–5 и 7 раз. Деформация зубьев из пластмассы достигает десятых долей мм, а размеры контактной площадки становятся соизмеримыми с размером зуба. Все же благодаря новым технологическим и конструктивным решениям удалось расширить области применения зубчатых колес из пластмасс, увеличить их несущую способность, повысить кинематическую точность, износостойкость и др. Армирование колес из пластмасс металлом позволяет наиболее эффективно использовать достоинства обоих материалов.

Пластмассы все более широко используют вместо нержавеющей сталей и других материалов в волновых передачах, отличающихся компактностью и большими передаточными отношениями (например, от 64 : 1 до 320 : 1), а также для изготовления звездочек в цепных передачах.

Плоские, клиновые и зубчатые ремни из пластмасс (полиамидов, поливинилхлорида), а также из резины могут быть использованы для передачи даже значительных мощностей. В отличие от ремней из традиционных материалов, ремни из полимерных материалов можно эксплуатировать в агрессивных средах без применения натяжных роликов. Многослойные ремни шириной 10–1200 мм, армированные синтетическими волокнами, могут быть

использованы для передачи мощностей до 3600 кет при скоростях 50–80 м/сек. Применение в ременных передачах прочных и износостойких шкивов из пластмасс, характеризующихся малой плотностью, высоким коэффициентом сцепления с ремнем, стабильностью размеров, позволяет уменьшить инерционные силы, увеличить срок службы ремней.

Использование труб из полимерных материалов вместо металлических приводит к упрощению их монтажа вследствие снижения массы, уменьшению гидравлических потерь и расхода мощности на транспортировку материалов, увеличению пропускной способности труб, повышению срока службы (особенно в агрессивных средах, в земле и воде).

Основной материал для уплотнительных прокладок, помимо высокой износо- и теплостойкости, должен обладать эластичностью, а также стойкостью в различных агрессивных средах. Для уплотнения подвижных соединений или соединений, которые подвергаются действию высоких давлений, используют обычно уплотнители из пластмасс.

Полимерные материалы применяют для фиксации резьбовых соединений, осуществляемой различными способами: использованием гаек из пластмасс, нарезку на которых создают при ввинчивании в них металлических болтов; применением шайб и вкладышей из пластмасс, а также с помощью быстроотверждающихся компаундов. Эти способы фиксации обеспечивают повышение срока службы резьбовых соединений, выполняющих одновременно функции уплотнительных элементов.

Эпоксидные и акрилатные компаунды применяют в качестве универсальных компенсаторов погрешностей при сборке узлов автомобилей. Благодаря их использованию процесс сборки сводится к установке деталей с требуемой точностью и заливке компаундом пространства между сопрягаемыми деталями. Заполняя зазоры, компаунд компенсирует все погрешности обработки и сборки деталей. Применение компенсаторов позволяет на 2–3 класса расширить допуски на изготовление поверхностей, снизить себестоимость обработки деталей, уменьшить трудоемкость их сборки. Заданная точность замыкающего звена сборочных размерных цепей может быть обеспечена за одну выверку.

В качестве конструкционных материалов полимеры имеют ограниченное применение из-за относительно низких характеристик прочности и предела текучести. Не получило большого развития улучшение конструкционных свойств термопластов путем введения армирующих наполнителей вследствие плохой смачиваемости ими поверхности большинства наполнителей, в первую очередь. Кроме того, вязкость термопластов резко возрастает при введении зернистого или дискретного волокнистого наполнителя. У реактопластов вязкость на несколько порядков ниже, чем у термопластов, что обуславливает их преимущественное использование в технологии получения композиционных материалов (КМ), как реальной возможности улучшения конструкционных свойств полимеров. Наиболее распространены матрицы из фенолформальдегидных и эпоксидных полимеров.

Контрольные вопросы

1. Что представляют собой синтетические и природные полимеры?
2. Что такое пластмассы? Их состав и назначение входящих компонентов.
3. Как классифицируются пластмассы? Опишите состав основных видов пластмасс и охарактеризуйте их.
4. Что такое термопластичные и термореактивные пластмассы?
5. Какими свойствами характеризуются термопластичные и термореактивные пластмассы?
6. Назовите виды термопластичных пластмасс.
7. Назовите виды термореактивных пластмасс.
8. В чем состоят особенности применения пластмасс в автомобилестроении?
9. Кратко охарактеризуйте основные методы переработки пластмасс в изделия.
10. Приведите конкретные области применения пластмасс в качестве конструкционного материала.

Глава 2. СТЕКЛА, РЕЗИНЫ, ЛАКОКРАСОЧНЫЕ И ДРУГИЕ МАТЕРИАЛЫ НА ПОЛИМЕРНОЙ ОСНОВЕ

2.1. Стекла

В современном материаловедении все более видное место начинают занимать различные неорганические вещества, среди которых в больших масштабах используются вещества в аморфном состоянии в виде стекол [25].

Неорганическое стекло – это получаемое при затвердевании переохлажденного расплава оксидов, фторидов и других компонентов химически сложное вещество, представляющее собой твердый, хрупкий, квазиструктурно-аморфный материал [26–27].

На рис. 2.1 приведена классификация неорганических стекол [28].

В составе неорганических стекол могут присутствовать оксиды трех типов: стеклообразующие, модифицирующие и промежуточные. Стеклообразующими являются оксиды кремния, бора, фосфора, германия, мышьяка. К модифицирующим оксидам относятся оксиды щелочных (Na, K) и щелочноземельных (Ca, Mg, Ba) металлов. Модифицирующие оксиды вводят в процессе варки стекол. Глинозем Al_2O_3 повышает механическую прочность, а также термическую и химическую стойкость стекол. При добавке B_2O_3 повышается скорость стекловарения, улучшается осветление и уменьшается склонность к кристаллизации. Оксид свинца PbO , вводимый главным образом при изготовлении

оптического стекла и хрусталя, повышает показатель светопреломления. Оксид цинка ZnO понижает температурный коэффициент линейного расширения стекла, благодаря чему повышается его термическая стойкость. Промежуточными являются оксиды алюминия, свинца, титана, железа, которые могут замещать часть стеклообразующих оксидов [29].

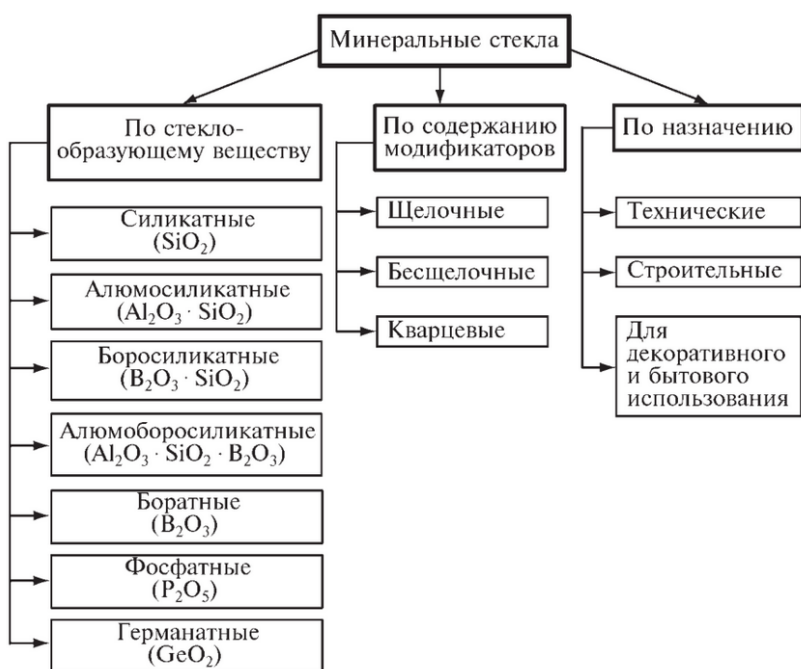


Рис. 2.1. Классификация неорганических стекол [28]

Технологические добавки, вводимые в состав стекол, делят по их назначению на следующие группы: осветлители –

вещества, способствующие удалению из стекломассы газовых пузырей (сульфат натрия, плавиковый шпат); обесцвечиватели – вещества, обесцвечивающие стекольную массу; глушители – вещества, делающие стекло непрозрачным.

Стеклообразующие оксиды (например, SiO_2 , Al_2O_3 , B_2O_3 , P_2O_3) образуют пространственную сетку из однородных звеньев-полиэдров, а модифицирующие оксиды, располагаясь внутри ячеек сетки, ослабляют или разрывают связи в стеклообразующих оксидах и снижают прочность, термо- и химическую стойкость стекла, но позволяют регулировать температуру его размягчения и другие свойства (рис. 2.2).

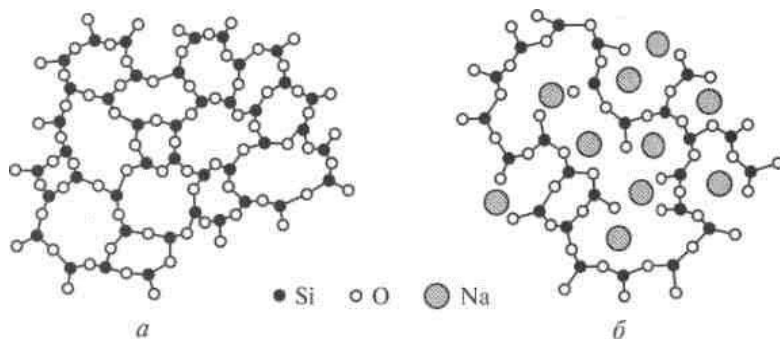


Рис. 2.2. Схема непрерывной структурной сетки стекла:
а – кварцевого; б – натрийсиликатного

Химический состав стекла можно изменять в широких пределах, поэтому и свойства стекла могут быть различными. По химическому составу в зависимости от природы стеклообразующих оксидов различают силикатное,

алюмосиликатное, боросиликатное, алюмоборосиликатное и другие виды стекла.

В зависимости от содержания модификаторов стекла бывают щелочными (до 15% Na_2O , K_2O , CaO), бесщелочными с содержанием щелочных модификаторов до ~5 % и кварцевые. Одним из самых распространенных высококачественных стекол является алюмоборосиликатное малощелочное стекло.

К основным свойствам неорганических стекол относятся [29]:

- плотность – 2200–6500 кг/м³ (для стекол с оксидами свинца – до 8000 кг/м³);
- температуры для промышленных стекол: стеклования – 425–600 °С; размягчения – 600–800 °С;
- коэффициент теплопроводности – 0,7–15 Вт/(м·К);
- температурный коэффициент линейного расширения: для кварцевых стекол – $5,6 \cdot 10^7$ °С⁻¹; для строительных стекол – $9,0 \cdot 10^8$ °С⁻¹;
- $\sigma_{сж} = 500\text{--}2000$ МПа; $\sigma_{раст} = 30\text{--}90$ МПа; $\sigma_{изг} = 50\text{--}150$ МПа.

Более высокие прочностные характеристики имеют стекла бесщелочного состава и кварцевые:

- модуль сдвига (2–3) $\cdot 10^4$ МПа;
- модуль Юнга (7–7,5) $\cdot 10^4$ МПа;
- коэффициент Пуассона 0,184–0,26;
- твердость 5–7 ед. по Моосу;
- ударная вязкость – 1,5–2,5 кДж/м²;
- удельное электросопротивление – $10^{12}\text{--}10^{18}$ Ом·см;
- диэлектрическая проницаемость – 3,5–16;

- полупроводниковые свойства;
- химическая стойкость;
- высокие оптические свойства.

По назначению техническое стекло подразделяются на оптическое, лабораторное, электротехническое, автотранспортное, приборное, защитное, теплозвукоизоляционное, светотехническое, стекловолокно и др. Плотность неорганических стекол колеблется от 2200 кг/м³ у легких щелочных силикатных стекол (показатель преломления $n = 1,44$) до 5200–8000 кг/м³ у тяжелых, содержащих до 65 % оксидов свинца, бария, висмута ($n = 1,9$); светопрозрачность неокрашенных стекол составляет в видимой части спектра до 92 %.

В автомобилях используют безопасное закаленное стекло. Недостатком закаленного стекла является чувствительность к ударам в края (у самой кромки) и в углах. При разрушении закаленное стекло покрывается густой сеткой трещин, сильно затрудняющих видимость.

Многослойное стекло получают склеиванием силикатных и полиакрилатных листов. Силикатные триплексы, используемые в качестве ветровых стекол автомобилей, представляют собой два листа закаленного стекла толщиной 2–3 мм, склеенные прозрачной эластичной полимерной пленкой. При разрушении триплекса неострые осколки удерживаются на полимерной пленке. Триплексы бывают плоскими и гнутыми. Для остекления автотранспортных средств используют также термопан – трехслойное стекло, состоящее из двух стекол, между которыми находится воздух, что обеспечивает теплоизоляцию.

Выдающимися свойствами обладают изготавливаемые на основе неорганических стекол новые конструкционные материалы – ситаллы. Для ситаллов главным фактором, регулирующим свойства, является структура, определяемая количеством и дисперсностью добавляемой кристаллической фазы. При изготовлении ситаллов добавляют либо оксиды (SiO_2 , Al_2O_3 , P_2O_5 , NaF и др.), либо чистые металлы (Ag , Au , Pt). Доля кристаллической фазы в ситаллах может меняться от 40–50 % до 95 %, а размер кристаллов близок к 1–2 мкм [25].

Беспорядочная ориентация кристаллитов, которые срастаются между собой или связаны между собой прослойками остаточного, не превышающего нескольких процентов аморфного количества стеклофазы, приводит к отсутствию в ситаллах анизотропии (рис. 2.3).



Рис. 2.3. Схема кристаллизации неорганических стекол при образовании ситаллов

Регулируя режимы термообработки, можно изменять степень кристаллизации и размеры кристаллов, что отражается на свойствах изделия. Свойства ситаллов изотропны и в основном определяются фазовым составом и их структурой. Основными свойствами ситаллов являются:

- плотность 2400–2950 кг/м³;

- температура размягчения 1250–1350 °С;
- низкая теплопроводность 2–7 Вт/(м·К);
- температурный коэффициент линейного расширения (7–300) $\cdot 10^{-7}$ °С⁻¹;
- $\sigma_{сж} = 7\text{--}2000$ МПа, $\sigma_{в} = 112\text{--}160$ МПа, $\sigma_{изг} = 7\text{--}350$ МПа;
- модуль Юнга 84–141 ГПа;
- хрупкость (при ударной вязкости 4,5–10,5 кДж/м²);
- микротвердость – 7000– 10500 МПа;
- высокая износостойкость;
- термостойкость – 200–700 °С (до 1100 °С);
- диэлектрические свойства;
- химическая стойкость;
- газонепроницаемость и нулевое водопоглощение.

Причина особо ценных свойств ситаллов заключается в их исключительной мелкозернистости и почти идеальной поликристаллической структуре. В них совершенно отсутствует всякая пористость. Усадка материала при его переработке незначительна. Большая абразивная стойкость делает их малочувствительными к поверхностным дефектам.

Разновидностью ситаллов являются ситаллопласты – композиционные материалы, получаемые на базе пластических масс (фторопластов) и ситаллов.

В автомобилестроении ситаллы применяют для изготовления подшипников, деталей двигателей, труб, жаростойких покрытий, лопастей компрессоров, пар трения плунжеров, деталей насосов, как жаростойкие покрытия для защиты металлических деталей от действия высоких

температур. Фототехнические ситаллы, разрешающая способность и качество изображения которых выше, чем у обычных фотоэмульсий, применяются для изготовления дорожных знаков, на шкалах приборов и др. [25].

2.2. Резины

Резина – продукт вулканизации композиции, содержащей связующее вещество – натуральный или синтетический каучук. В конструкции современных автомобилей используют несколько сот изделий, выполненных из резины. Это шины, камеры, шланги, уплотнители, герметики, детали для электро- и виброизоляции, приводные ремни и т.д. Их масса составляет до 10 % от общей массы автомобиля. Широкое применение резиновых изделий в автомобилестроении объясняется их уникальными свойствами [30]:

- эластичностью; высокой механической прочностью; низкой плотностью;
- способностью поглощать ударные нагрузки и вибрацию;
- низкой теплопроводностью и звукопроводностью;
- высокой устойчивостью к истиранию; газо- и водонепроницаемостью;
- высокой электроизоляционной способностью;
- устойчивостью к агрессивным средам.

Основное свойство резины – обратимая эластичная деформация – способность многократно изменять свою форму и размеры без разрушения под воздействием сравнительно

небольшой внешней нагрузки и вновь возвращаться в первоначальное состояние после снятия этой нагрузки. Подобным свойством не обладают ни металлы, ни древесина, ни полимеры. На рис. 2.4 приведена классификация резины. Резину получают вулканизацией резиновой смеси, в состав которой входят:

- каучук синтетический;
- вулканизирующие агенты-ингредиенты, ускорители вулканизации;
- активаторы, противостарители, красители;
- активные наполнители или усилители, неактивные наполнители;
- ингредиенты специального назначения.

Подбором соответствующих каучуков, рецептуры резиновой смеси, условий вулканизации создают материалы, имеющие определенные свойства, что позволяет получать изделия, обладающие различными эксплуатационными свойствами, причем устойчиво сохраняющие свои качества продолжительное время и обеспечивающие функциональное назначение деталей и работоспособность узлов и агрегатов. Резины общего назначения могут работать в среде воды, воздуха, слабых растворов кислот и щелочей. Интервал рабочих температур составляет от -35 до $+130$ °С. Из этих резин изготавливают автомобильные шины, ремни и др. Кроме шин, в автомобиле насчитывается около 200 самых различных резиновых деталей: шланги, ремни, прокладки, втулки, муфты, буфера, мембраны, манжеты и т.д. [31]. Особая роль отводится армирующим наполнителям.

Они не входят в состав резиновой смеси, а вводятся на стадии формования изделия. Текстильная или металлическая арматура снижает нагрузку на резиновое изделие, ограничивает его деформацию. Изготавливают такие армированные резиновые изделия, как шланги, приводные ремни, ленты, автопокрышки, где для усиления прочности используют текстильный и металлический корды.



Рис. 2.4. Классификация резин

Кроме резины общего назначения в автомобилестроении широко применяют специальные резины, которые подразделяют на несколько видов: маслобензостойкие,

теплостойкие, светоозоностойкие, износостойкие, электротехнические, стойкие к гидравлическим жидкостям. Для изготовления прокладок, уплотнений, амортизирующих и изолирующих соединений применяются силиконовые резины в автомобильных двигателях, органах управления автомобилем, электрооборудовании, электронных приборах, подвеске кузова, салоне автомобиля. Характерные свойства силиконовых резин: устойчивость к воздействию масел, антифризов и ультрафиолета; устойчивость к температурным колебаниям; низкая остаточная деформация; износостойкость; высокая механическая прочность; высокая эластичность при пониженных температурах [32].

Маслобензостойкие резины получают на основе каучуков хлоропренового (наирит), СКН (бутадиеннитрильный каучук – продукт совместной полимеризации бутадиена с нитрилом акриловой кислоты) и тиокола.

Теплостойкие резины получают на основе синтетического каучука теплостойкого (СКТ), представляющего собой кремнийорганическое (полисилоксановое) соединение.

Морозостойкими являются резины на основе каучуков, имеющих низкие температуры стеклования. Резины на основе СКС-10 (бутадиенстирольный каучук получается при совместной полимеризацией бутадиена (C_4H_6) и 10 % стирола $CH_2=CH-C_6H_5$, самый распространенный каучук общего назначения), например, могут работать при температуре до -60 °С; НК (натуральный каучук – полимер изопрена (C_5H_8)_n), СКБ (синтетический каучук бутадиеновый (дивинильный) – полимер полибутадиена (C_4H_6)_n),

СКС-30 (бутадиенстирольный каучук получается при совместной полимеризацией бутадиена (C_4H_6) и 30 % стирола $CH_2=CH-C_6H_5$), СКН (бутадиеннитрильный каучук – продукт совместной полимеризации бутадиена с нитрилом акриловой кислоты) – до $-50\text{ }^\circ\text{C}$, СКТ – ниже $-75\text{ }^\circ\text{C}$.

Светоозоностойкие резины вырабатывают на основе насыщенных каучуков – фторсодержащих (СКФ), этиленпропиленовых (СКЭП), бутилкаучука. Фторсодержащие каучуки получают сополимеризацией ненасыщенных фторированных углеводородов (например, $CF_2=CFCl$, $CH_2=CF_2$ и др.). Отечественные фторсодержащие каучуки выпускают под марками СКФ-32, СКФ-26; зарубежные – кель-Ф и вайтон. Резины из фторсодержащих каучуков широко применяют в автомобилестроении.

Резины на основе фторкаучуков и этиленпропилена стойки к действию сильных окислителей (HNO_3 , H_2O_2 и др.), применяются для уплотнительных изделий, диафрагм, гибких шлангов и т.д., не разрушаются при работе в атмосферных условиях в течение нескольких лет.

Вулканизаты насыщенного полимера ХСПЭ (хлорсульфополиэтилена) имеют высокую прочность ($\sigma_b = 16426\text{ МПа}$), относительное удлинение 280–560 %. Они обладают повышенной устойчивостью к истиранию при нагреве, озono-, масло- и бензостойки, хорошие диэлектрики. Интервал их рабочих температур от -60 до $+215\text{ }^\circ\text{C}$. Применяются эти резины как конструкционный и защитный материал (противокоррозионные покрытия, защита от воздействия γ -излучения).

Высокой устойчивостью к истиранию и высокими диэлектрическими характеристиками обладает бутилкаучук (БК), который получают совместной полимеризацией изо-бутилена ($(\text{CH}_3)_2\text{C}=\text{CH}_2$ – ненасыщенный углеводород) с небольшим количеством (2–3%) изопрена (2-метилбутадиен-1,3 – ненасыщенный углеводород диенового ряда). В бутилкаучуке мало ненасыщенных связей, вследствие чего он обладает стойкостью к кислороду, озону и другим химическим реагентам. По температуростойкости уступает другим резинам, превосходя их по газо- и паронепроницаемости. Бутилкаучук применяют в шинном производстве (срок службы покрышек в 2 раза выше, чем покрышек из натурального каучука – полимер изопрена $(\text{C}_5\text{H}_8)_n$).

Износостойкие резины получают на основе полиуретановых каучуков (СКУ), обладающих высокой прочностью, эластичностью, устойчивостью к истиранию, маслбензостойкостью. В структуре СКУ-каучука нет ненасыщенных связей, поэтому он стоек к кислороду и озону, его газонепроницаемость в 10–20 раз выше, чем газонепроницаемость НК. Рабочие температуры резин на его основе составляют от – 30 до + 130 °С. На основе сложных полиэфиров вырабатывают каучуки СКУ-7, СКУ-8, СКУ-50; на основе простых полиэфиров – СКУ-ПФ, СКУ-ПФЛ. Последние отличаются высокой морозостойкостью (для СКУ-ПФ – до –75 °С) и гидролитической стойкостью. Резины на основе СКУ применяют для автомобильных шин, конвейерных лент и др.

Электротехнические резины включают электроизоляционные и электропроводящие резины. Электроизоляционные резины, применяемые для изоляции токопроводящей жилы проводов и кабелей, для специальных перчаток и обуви, изготавливают только на основе неполярных каучуков НК, СКБ; СКС, СКТ и бутилкаучука.

Электропроводящие резины для экранированных кабелей получают из каучуков НК, СКН, наирита, особенно из полярного каучука СКН-26 с введением в их состав углеродной сажи и графита (65–70 %).

Резину, стойкую к воздействию гидравлических жидкостей, используют для уплотнения подвижных и неподвижных соединений гидросистем, рукавов, диафрагм, насосов; для работы в масле применяют резину на основе каучука СКН, набухание которой в жидкости не превышает 1–4 %. Для кремнийорганических жидкостей применимы неполярные резины на основе каучуков НК, СКМС-10 и др.

Из отработавших резинотехнических изделий изготавливают по специальной технологии регенерат, который добавляют в резиновую смесь в качестве заменителя части каучука. Однако резина, в состав которой входит регенерат, не отличается хорошими эксплуатационными свойствами, а потому из нее изготавливают изделия (коврики, ободные ленты), к которым не предъявляют высоких технических требований.

Технология производства резины подразумевает полное изменение свойств каучука. Прочность каучука, как природного, так и синтезированного, значительно ниже,

чем прочность уже готовой вулканизированной резины. Эластичность тоже является одним из самых важных показателей для эксплуатации. Чем менее эластична резина, тем больше она будет трескаться. И дело даже не в эксплуатации. Если неэластичная резина будет просто лежать, она также потрескается, но уже просто от разницы дневных и ночных температур. Эластичная резина будет растягиваться и растягиваться до того предела, который заложен в нее при создании – чем больше в каучук положили пластификаторов при вулканизации, тем эластичнее будет уже готовая резина.

Современная технология производства резины уже не подразумевает участия в процедуре вулканизации натурального каучука, все процессы и принципы химического воздействия основаны на взаимодействии синтетических каучуков с химическими реагентами. Отечественная химическая промышленность производит десятки разновидностей синтетических каучуков, используя для этого в основном самое экономичное нефтяное сырье. Это позволяет получать каучуки невысокой стоимости, так как затраты на сырье и вспомогательные материалы при производстве каучука составляют 65 % их себестоимости [33].

Не всегда добавки и компоненты в процедуре вулканизации синтетического каучука бывают исключительно синтетическими. В зависимости от конечного назначения резины в процессе вулканизации в нее могут добавляться: мел, сажа, ацетилированный ланолин, мел, глицерин. В покрышке автомобиля содержится около 25 % сажи

от общей ее массы. Сажа повышает предел прочности при растяжении резин на основе большинства синтетических каучуков до 10 раз. В то же время сажа понижает эластичность резины.

Наиболее популярными методами создания резины остаются горячая и холодная вулканизация. Горячая вулканизация проводится в диапазоне температур от $+250\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+290\text{ }^{\circ}\text{C}$, а холодная вулканизация – от $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$ и обычно используется для создания материалов-герметиков. Существует еще и серная вулканизация, которая нужна для создания автокамер и автопокрышек. При этом используются горячая сера и катализаторы, которые помогают ускорить процесс вулканизации [34].

Схема строения вулканизированного каучука показана на рис. 2.5.

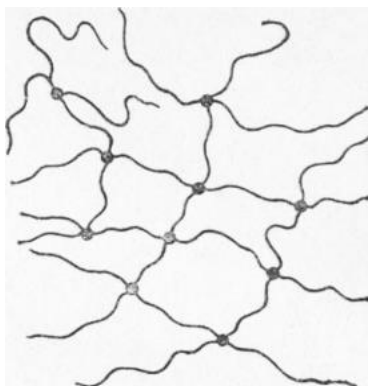


Рис. 2.5. Схема строения вулканизированного каучука

Подбирая ингредиенты и их количественное соотношение, получают резину различного назначения (протекторная, каркасная, бреккерная, камерная, клеевая, бензостойкая, морозостойкая, теплостойкая и др.) с теми или иными выраженными свойствами. Автотранспортные предприятия используют резину в виде ремонтного материала для ремонта шин. Ее качество оценивается рядом показателей.

Резины для ремонта шин, кроме клеевой, поставляют в виде листов, закатанных в рулон с миткалевой или целлофановой прокладкой на деревянные или картонные ролики. Каждый рулон должен иметь бирку с соответствующими данными. Внешний ремонт камер и покрышек проводят с помощью сырой резины для вулканизации: ее накладывают на зачищенный порез или прокол, а затем начинают процесс вулканизации, в результате чего покрышка и заплатка становятся одним целым без склеивающих прослоек. Такая резина используется при холодной и горячей обработке прокола или пореза. Без нагревания каучук полностью пластифицируется за 72 часа. При нагревании до температуры +149 °С скорость вулканизации резиновых смесей достигает 3 мм толщины каждые 10 минут.

Протекторная резина имеет толщину $2 \pm 0,2$ мм и предназначена для заполнения вырезанных при ремонте участков протектора и боковин покрышек.

Прослоечная резина толщиной $0,9 \pm 0,1$ мм предназначена для обкладки вырезанных участков покрышек, пластырей и манжет с целью лучшего их соединения с покрышкой.

Камерная резина служит для изготовления заплат при ремонте камер, теплостойкая – для изготовления вараочных камер.

Клеевая резина поставляется в кусках толщиной 10 мм и предназначена для изготовления клея.

Прослоечную и клеевую резины изготовляют из натурального каучука.

2.3. Автомобильные отделочные лакокрасочные материалы

Автомобильные материалы, сгруппированные по функциональному назначению и по слоям нанесения, представлены в таблице 2.1. Для каждого элемента этой таблицы приводятся назначение и краткая характеристика технологического этапа, а также понятия вспомогательных материалов [35].

Таблица 2.1

Классификация назначения, краткой характеристики технологического этапа и понятия основных и вспомогательных автомобильных материалов

Слой	Материал	Назначение
Нижний слой	Грунт	Защита от коррозии
	Шпатлевка	Заполнение больших неровностей
Второй слой	Грунт-выравниватель	Заполнение пор на поверхности шпатлевки
Верхний слой	Краска	Внешние косметические свойства и др.
	Лак	Защита и глянец

В качестве материалов для защиты металлических, а также других видов изделий от влияния вредных внешних факторов (влаги, газы, воздух и т.д.), придания поверхности декоративных свойств используются лакокрасочные материалы (ЛКМ), которые принято делить на: лаки, краски, эмали, грунтовки, шпаклевки. Все ЛКМ подразделяются на основные, промежуточные и прочие [36].

Основные ЛКМ – лаки, эмали, краски, шпаклевки, грунтовки.

Промежуточные ЛКМ – растворители, разбавители, смолы, их растворы, сиккативы, олифы.

Прочие ЛКМ – подсобные, вспомогательные материалы (мастики, пасты, смывки, отвердители, порозаполнители).

Основные ЛКМ

Лаки – это растворы пленкообразующих веществ в растворителях (или воде), которые после высыхания образуют однородное, твердое, прозрачное (кроме битумного лака) покрытие. Их состав не содержит пигменты и наполнители.

Краски – суспензии пигментов в пленкообразующих веществах, которые после высыхания образуют непрозрачное однородное покрытие.

Эмаль – суспензия пигментов, наполнителей в лаке, которая после высыхания образует непрозрачное, твердое покрытие различной структуры и блеска.

Грунтовка – суспензия пигментов с наполнителями в пленкообразующем веществе, которая после высыхания образует однородную непрозрачную пленку.

Шпаклевка – смесь наполнителей, пигментов и пленкообразующих веществ, пастообразная вязкая масса, предназначена для заполнения дефектов поверхности, придания ей равномерной фактуры.

Промежуточные ЛКМ

Растворители – низкомолекулярные летучие жидкости или смесь жидкостей с невысокими температурами кипения, используемые в качестве регулятора вязкости ЛКМ, придания необходимой рабочей консистенции. К растворителям относят кетоны, эфиры, спирты, углеводороды. Качественные растворители ЛКМ обладают следующими качествами: инертность (они не вступают в реакцию с ЛКМ), летучесть (для полного испарения в процессе высыхания лакокрасочного слоя). По степени активности растворители разделяют на три группы: высшую, среднюю и малую. Простые растворители (скипидар, этилацетат, ацетон, амилацетат, дихлорэтан, уайт-спирит, сольвент каменноугольный технический) используются для приготовления различных смесей. Уайт-спирит – бензин-растворитель нитрокрасок и некоторых видов смол, а также масляных красок. В случае с красками и лаками дозировку уайт-спирита необходимо ограничивать до 10 % от общей массы лакокрасочного материала. Скипидар – бесцветная, часто прозрачная, иногда с красноватым или темно-красным оттенком жидкость, которую принято применять в разбавлении в основном масляных красок и для ускорения высыхания лакокрасочного покрытия. Ацетон, амилацетат, этилацетат – растворители, которые используют в случае

с нитрокрасками. Сольвент – смесь ароматических углеводородов, высококачественный растворитель красок, но за счет своей токсичности применяемый лишь для разведения пентафталевых и глифталевых красок. Дихлорэтан – бесцветная слабовоспламеняемая жидкость специфического химического состава $\text{ClCH}_2\text{-CH}_2\text{Cl}$, хороший растворитель многих полимеров и органических соединений, применим исключительно в резиновых перчатках [37].

Сиккативы – мыльные соединения некоторых оксидов (свинцовых, марганцевых, кобальтовых и др.) в растворителях используют для ускорения процесса высыхания ЛКМ.

Смолы полимеризационные: каучуковые (КЧ), нефтеполимерные (НП), алкидно-стирольные, масляно-стирольные (МС), перхлорвиниловые или поливинилхлоридные (ХВ), поливинилацетатные (ВА), полиакриловые или полиакрилатные (АК), фторопластовые (ФП), поливинилацетальные (ВЛ), сополимеро-винилхлоридные (ХС), хлорированные полиэтиленовые (ХП), сополимеро-винилацетатные (ВС).

Смолы природные: канифольные (КФ), битумные (БТ), шеллачные (ШЛ), масляные (МА), янтарные (ЯН).

Олифа – основное связующее вещество и разбавитель масляных и алкидных красок. Олифа искусственная (синтетическая) содержит не более 35 % растительных масел (олифы натуральной) или не содержит их вовсе. Искусственные олифы не содержат растительных масел и по внешнему виду представляют собой маслянистые жидкости

темного цвета. К ним относятся олифы «Карбоноль», «Нафтеноль», «Лакойль» и некоторые другие. Полунатуральные олифы – продукты глубокой термической и химической переработки растительных масел и других жидких жиров, содержащие сиккативы и смолы. К ним относятся олифа полимеризованная (ИМС), «Оксоль», «Оксоль-смесь», касторовая, глифталевая, пентафталева и комбинированные марок К1, К2, К3, К4, К5.

Мастики представляют собой растворы битума в органических растворителях с добавками наполнителей смол, пластификаторов, ингибиторов коррозии и др. Они применяются для защиты от коррозии поверхностей кузовов автомобилей и цельнометаллических вагонов, а также уменьшения шума от вибрации (мастики АПМ, № 579, БПМ-1 и др.).

Разбавители – это растворители, которые не способны в одиночку растворить полимер, но при введении в раствор полимера не разрушают его структуру. Растворитель Р-4 (содержит ацетон и толуол) подходит для растворения и разбавления алкидных лакокрасочных материалов, эмалей на основе хлорированных полимеров. Наиболее знаменит растворитель 646 (Р-646).

Впервые он был изготовлен в XX веке. Вначале его использовали для разбавления нитролаков, нитроэмалей, затем была обнаружена его универсальность, и он стал использоваться в разбавлении лакокрасочных средств до рабочей вязкости. Процентное содержание следующих веществ входит в состав растворителя 646: толуол (50 %),

этанол (15 %), бутилацетат (10 %), бутанол (10 %), этилцеллозоль (8 %), ацетон (7 %). Растворитель 646 является достаточно сильным растворителем, поэтому при использовании его в качестве рабочего вещества необходимо соблюдать меры безопасности и быть предельно аккуратным при его применении.

Подсобные, вспомогательные материалы ЛКМ

В качестве вспомогательных и подсобных лакокрасочных материалов используются пасты, мастики, грунтовка, шпаклевка, смывки и др. [38].

Пасты используются для ухода за лакокрасочными покрытиями (шлифовочная ВА3-1, полировочные ВА3-2 и № 291), приготовления декоративных эмалей, предназначенных для изготовления сувенирной продукции (пасты декоративные различных цветов), промазки сварных швов в целях предохранения попадания воды (водозапорная), герметизации разъемных узлов двигателей автомобилей (уплотнительная невысыхающая УН-25).

Составы подразделяются на моечные (№ 1120 – для удаления ржавчины и остатков минеральных масел с металлических поверхностей перед окрашиванием, № 401 – для снятия пыли), полировочные (ВА3-03), противокоррозионные (протекторный ХВ-036, ИС-1), защищающие от повреждений и загрязнений (АК-535; АК-535П) и др.

Смывки применяются для удаления старых лакокрасочных покрытий (АФТ-1, СП-6, СП-7, СД, СПС-1, СПС-2 и др.).

Шпатлевки – это пастообразные массы, состоящие из смеси пигментов и наполнителей со связующим веществом. В качестве связующего вещества используются клеевые растворы, олифа, лаки; в качестве наполнителя – мел, шпат и др. Шпаклевки подразделяются на несколько видов согласно своей основе, а именно: акриловые; полиэфирные; нитроцеллюлозные. Шпаклевки в основном предназначены для нанесения шпателем на глубокие вмятины, как и краски, они бывают двух- и однокомпонентные. Двухкомпонентные продаются в комплекте с отвердителем, перед употреблением их необходимо смешивать. К однокомпонентным шпаклевкам относятся такие, которые готовы к употреблению сразу. Но такие шпаклевки используются только в качестве финишных, так как ими можно наносить лишь очень тонкий слой из-за большой усадки. Пример маркировки шпаклевки: ЭП-0010 серая – шпаклевка эпоксидная, № 10 серая.

Грунтовки – это пигментированные растворы в органических растворителях пленкообразующих веществ. Грунтовки применяют в качестве первого слоя, обеспечивающего прочное сцепление их с поверхностью окрашиваемого металла и с последующими слоями лакокрасочных покрытий. Грунтовки обладают повышенной сцепляемостью (адгезией). Их наносят распылением, окунанием, кистью, электрораспылением и электроосаждением. Грунтовка для автомобиля используется для защиты металла от коррозии, обработки мест шпаклевания после ремонта кузова, а также для усиления адгезии эмалей к пластику.

Грунтовка, как и шпаклевка, подразделяется на несколько видов согласно своей основе, а именно: акриловые; эпоксидные и др.

Основные лакокрасочные материалы

Основные лакокрасочные материалы (ЛКМ) классифицируют по типу пленкообразователя (химическому составу) и назначению.

По типу пленкообразователя ЛКМ различают:

а) лакокрасочные материалы на поликонденсационных смолах: алкидно-уретановые (АУ); глифталевые (ГФ); кремнийорганические (КО); карбамидные или мочевиновые (МЧ); меламиновые или меламиноформальдегидные (МЛ); полиуретановые (УР); пентафталевые (ПФ); полиэфирные насыщенные (ПЛ); полиэфирные ненасыщенные (ПЭ); фенольные (ФЛ); фенолоалкидные (ФА); циклогексаноновые (ЦГ); эпоксиэфирные (ЭФ); эпоксидные (ЭП); этрифталевые (ЭТ);

б) лакокрасочные материалы (ЛКМ) на полимеризационных смолах: нефтеполимерные (НП); каучуковые (КЧ); перхлорвиниловые или поливинилхлоридные (ХВ); алкидно-стирольные, масляно-стирольные (МС); полиакриловые или полиакрилатные (АК); поливинилацетатные (ВА); поливинилацетальные (ВЛ); фторопластовые (ФП); хлорированные полиэтиленовые (ХП); сополимеро-винилхлоридные (ХС); сополимеро-винилацетатные (ВС);

в) лакокрасочные материалы (ЛКМ) на природных смолах: битумные (БТ); канифольные (КФ); янтарные (ЯН); масляные (МА); шеллачные (ШЛ);

г) ЛКМ на эфирах целлюлозы: этилцеллюлозные (ЭЦ); нитроцеллюлозные (НЦ); ацетилцеллюлозные (АЦ); ацетобутиратцеллюлозные (АБ).

На основе силикатов щелочных металлов (жидкое стекло – ЖС) изготавливают силикатные краски.

Если краска изготовлена на вододисперсионной основе, то перед буквами, обозначающими вид пленкообразователя, ставят обозначение ВД, например, ВД АК.

По назначению (условиям эксплуатации) ЛКМ различают: атмосферостойкие; ограниченно атмосферостойкие; защитные или консервационные; водостойкие; специальные; маслостойкие; термостойкие и др.

Кроме вышеописанных классификаций ЛКМ классифицируются еще по некоторым признакам:

- по способу нанесения ЛКМ (валиком или кистью, электрофорезом, пульверизацией и т.д.);

- по условиям сушки (холодная, горячая);

- по декоративным свойствам ЛКМ (имитационные, шагреньевые, рефлексные, молотковые, флуоресцентные, цитровочные);

- по назначению ЛКМ (для покраски автомобилей, мебели, кожи, материи, электроизоляционного назначения);

- по эксплуатации при определенных условиях (для тропического климата, холодного, загазованного);

- по блеску (высокоглянцевые, глянцевые, полуглянцевые, полуматовые, матовые, глубокоматовые);

- по последовательности нанесения ЛКМ (пропиточные, грунтовочные, промежуточные, покрывные).

Маркировка ЛКМ

У каждого ЛКМ есть свое обозначение, которое состоит из слов, букв, а также цифр. Обозначение пигментированных ЛКМ состоит из пяти групп знаков, непигментированных – из четырех.

1 группа. При записи сначала указывается вид ЛКМ – лак, краска, шпаклевка, эмаль или грунтовка. Если в состав краски входит лишь один пигмент, то вместо слова «краска» записывают наименование пигмента (белила цинковые, охра).

2 группа. Далее краткое обозначение основы (две буквы) – указывается тип использованного пленкообразующего вещества. В случае, если в состав ЛКМ входит смесь пленкообразующих веществ, при маркировке указывают основной (тот, который определяет свойства ЛКМ).

3 группа. После буквенного обозначения основы указывают условия эксплуатации данного ЛКМ (цифра).

4 группа. У каждого лакокрасочного материала (ЛКМ) есть свой порядковый номер, присвоенный ему при изготовлении. Он может состоять из одной, двух или трех цифр.

5 группа. Указывается цвет ЛКМ.

Для вододисперсионных ЛКМ, не содержащих летучего растворителя, порошковых, водоразбавляемых между первой и второй группами знаков ставится обозначение: В – водоразбавляемые, Э – вододисперсионные, П – порошковые краски, ОД – органодисперсионные (пластизольные, органозольные), Б – не содержащие летучего растворителя. Между второй и третьей группой знаков всегда ставится тире.

Для алкидных и масляных красок вместо присвоенного при изготовлении порядкового номера ставят цифру, обозначающую вид олифы: 1 – натуральная, 2 – «Оксоль» олифа, 3 – олифа глифталевая, 4 – олифа пентафталевая, 5 – комбинированная.

Иногда для уточнения специфических свойств ЛКМ после порядкового номера ставят обозначения: ПМ – полуматовые, ПГ – пониженной горючести, Г – глянцевые.

Примеры маркировки ЛКМ:

– эмаль ПФ-218ХС – эмаль на основе пентафталевой смолы, предназначена для внутренних работ, № 18, холодной сушки;

– белила цинковые МА-22Н – белила цинковые и на основе олифы «Оксоль» (масляные), № 2, для внутренних работ;

– краска ВД-ВА-17 белая – краска водоземulsionная на поливинилацетатной дисперсии, предназначена для выполнения наружных работ, №7, белая.

Условия хранения и транспортировки ЛКМ

ЛКМ упаковывают в металлические бочки, бидоны, барабаны, алюминиевые, луженые, оцинкованные или с полиэтиленовыми покрытиями фляги, банки из белой жести. Затем банки укладывают в деревянные или гофрокартонные ящики. Порошковые краски упаковывают в мешки из неокрашенного полиэтилена, которые затем укладывают в деревянные ящики, выложенные бумагой, контейнеры или бумажные мешки.

ЛКМ необходимо хранить в сухих складских помещениях, предохраненными от прямых солнечных лучей,

при температуре не более 30 °С. Для водоразбавляемых материалов температура транспортирования и хранения должна быть не ниже 0 °С. При более низких температурах транспортирование и хранение таких материалов должно осуществляться в течение 1 мес.

Обязательным является соблюдение гарантийного срока хранения. Он исчисляется со дня изготовления для грунтовок, шпатлевок, водоразбавляемых материалов и составляет, как правило, 6 мес, для порошковых красок – 12 мес, для других красочных составов – 4–18 мес в зависимости от марки. По истечении гарантийного срока хранения лакокрасочные материалы подлежат проверке и в случае соответствия стандартам могут быть использованы в производстве.

ЛКМ являются весьма токсичными, пожаро- и взрывоопасными. Токсичность лакокрасочных материалов обусловлена наличием органических растворителей (ацетона, ксилола, толуола, этилацетата, бутилацетана и др.) и таких компонентов, как соединения ртути и свинца, а также фенола, гексаметилендиизоцианата, дибутилфталата и др. Пожаро- и взрывоопасность ЛКМ характеризуется температурами вспышки и самовоспламенения, а также пределами взрываемости (% или °С). В соответствии с этим помещения для хранения ЛКМ должны быть оборудованы проточно-вытяжной вентиляцией и противопожарными средствами.

2.4. Композиционные материалы

2.4.1. Традиционные композиционные материалы

Композиционные материалы (композиты) – это материалы, состоящие из сильно различающихся по свойствам друг от друга, взаимно нерастворимых компонентов: из сравнительно пластичного матричного материала, который связывает композицию и придает ей нужную форму, и более твердых и прочных веществ, являющихся упрочняющими наполнителями. В зависимости от материала матрицы различают композиционные материалы с металлической матрицей или металлические композиционные материалы (МКМ) с полимерной матрицей – полимерные композиционные материалы (ПКМ), а также с керамической – керамические композиционные материалы (ККМ).

Композиты, в которых матрицей служит полимерный материал, являются одним из самых многочисленных и разнообразных видов конструкционных материалов. ПКМ первого поколения – это изотропные материалы, наполненные дисперсными частицами, имеющие более высокий, чем исходный полимер, уровень свойств. Совершенствование таких ПКМ связано с использованием наноразмерных наполнителей, благодаря которым композиции приобретают ценный комплекс эксплуатационных свойств даже при малом объеме наполнителя. ПКМ второго поколения – анизотропные гетерофазные композиции на основе непрерывных армирующих высокопрочных высококомодульных волокон и терморезистивных или термопластичных матриц. Интеллектуализация таких материалов –

переход к ПКМ третьего поколения. Модификация структуры материалов специальными компонентами, разработанными на основе достижений микро- и нанотехнологий, превращает ПКМ в самодиагностирующиеся и адаптирующиеся к внешним воздействиям интеллектуальные ПКМ [42].

Уникальные физико-химические, конструкционные и технологические свойства ПКМ позволяют использовать их в разнообразных областях жизнедеятельности. Использование ПКМ при автомобильной технике позволяет повысить ее экономичность. В качестве полимерного связующего в ПКМ практически всегда используют различные низковязкие реактопласты невысокой молекулярной массы (эпоксидные, фенолформальдегидные, кремнийорганические, полиэфирные и др.), которые после формования изделия отверждают химическим путем, а в качестве наполнителей ПКМ используется множество различных веществ: волокна в виде пучков, ровницы или пряжи, различные текстильные материалы, а также вата или путаница из волокна [39–42]. В последнее время все чаще в качестве связующего стали применять и термопласты (полиамид, полипропилен и др.).

Процессы получения изделий из композиций с бесконечно длинными волокнами очень специфичны и зависят не только от вида связующего и наполнителя, но и в значительной степени от конфигурации формуемого изделия. В зависимости от метода изготовления изделий ориентация волокон в нем может быть одноосной, двухосной, слоистой и многоосной. Современное производство

элементов конструкций из ПКМ в значительной мере ориентируется на препреговую технологию изготовления изделий. Препреги – это композиционные материалы – полуфабрикаты, ткани и волокна, предварительно пропитанные предкатализованной смолой при высокой температуре и давлении. Смола в препрегах находится в полутвердом состоянии. Ее полное отверждение происходит при формовании. Применение термопластичных препрегов, однако, дает некоторые преимущества. Так, они имеют неограниченный срок годности при хранении; переходят в расплавленное состояние в течение нескольких минут, их свойства при повышенных температурах практически не зависят от влажности.

Стеклопластики

Стеклопластики – это ПКМ, армированные стеклянными волокнами, которые формуют из расплавленного неорганического стекла. В качестве матрицы чаще всего применяют как термореактивные синтетические смолы (фенольные, эпоксидные, полиэфирные и т.д.), так и термопластичные полимеры (полиамиды, полиэтилен, полистирол и т.д.). Эти материалы обладают достаточно высокой прочностью, низкой теплопроводностью, высокими электроизоляционными свойствами. Слоистый материал, в котором в качестве наполнителя применяется ткань, сплетенная из стеклянных волокон, называется стеклотекстолитом. Стеклопластики – достаточно дешевые материалы, их широко используют в автомобилестроении.

В настоящее время выпускают стеклопластики с ориентированным (однонаправленным и перекрестным) и неориентированным (хаотичным) расположением волокон. В первом случае в качестве арматуры используют непрерывные, во втором случае – дискретные (рубленые или штапельные) волокна. Стекловолокно может иметь круглое или профильное сечение, быть сплошным или полым. Характерный пример однонаправленного стеклопластика – стекловолокнистый анизотропный материал – СВАМ. Наибольшую прочность и жесткость однонаправленные стеклопластики имеют вдоль волокон. Использование высокопрочных стеклянных волокон марок Е и ВМ-1 позволяет получать прочность однонаправленных стеклопластиков в направлении волокон 1600–2100 МПа, при этом удельная прочность в несколько раз выше, а модуль упругости имеет примерно такую же величину, как у лучших алюминиевых сплавов (табл. 2.2). Однако прочность однонаправленных стеклопластиков в направлении, перпендикулярном к осям волокон, очень низка, она определяется в основном свойствами связующего и составляет несколько килограммов сил на квадратный сантиметр. Этого недостатка лишены перекрестно-армированные ориентированные стеклопластики.

Изменяя соотношение числа монослоев в различных направлениях, можно в широких пределах регулировать прочность и модуль Юнга стеклопластиков.

Таблица 2.2

Физико-механические характеристики
некоторых конструкционных материалов

Материал	Плотность, г/см ³	Разрушающее напряжение при растяжении σ_r , МПа	Модуль упругости при растяжении E, кгс/мм ²
Однонаправленный стеклопластик на основе: волокна E			
	2,1	1600	56000
волокна ВМ-1	2,2	2100	70000
Ортогонально-перекрестный стеклопластик СВМ (волокно E):			
	10:1	1,9	950
	1:1	1,9	500
Стеклотекстолит на основе волокна ВМ-1	1,95	860	37000
Сталь 30ХГСА	7,85	1600	210000
Дуралюмин Д16	2,8	460	72000

Механические свойства стеклотекстолитов можно также варьировать, применяя различные марки волокон,

идущих на изготовление стеклотканей, виды переплетения волокон в ткани (сатиновое, саржевое, полотняное), соотношение чисел волокон в различных направлениях. Физико-механические свойства некоторых отечественных пресс-волоконитов приведены в таблице 2.3.

К новым видам ПКМ относятся стеклопластики, армированные полыми и профильными стеклянными волокнами. Стеклопластики с полыми волокнами меньше весят, у них повышенные удельные прочность и жесткость.

Таблица 2.3

Физико-механические свойства некоторых отечественных пресс-волоконитов

Показатели	АГ-4В	33-18В	П-5-2	КМС-9	РТП-170	РТП-200
Плотность, г/см ³	1,7-1,9	1,9	1,7-1,8	1,6-1,9	1,7-1,85	1,75-1,85
Разрушающее напряжение, при:						
растяжении, МПа	80	130-180	-	15-18	-	-
изгибе, МПа	120	200	140	40	70	60
сжатии, МПа	130	150	130	80	40	60
ударная вязкость, кДж/м ²	30	200	50	17	60	80

Углепластики

Наполнителем в этих ПКМ служат углеродные волокна. Углеродные волокна получают из синтетических и природных волокон на основе целлюлозы, сополимеров акрилонитрила, нефтяных и каменноугольных пеков и т.д. Термическая обработка волокна проводится, как правило, в три этапа (окисление – 220 °С, карбонизация – 1000–1500 °С и графитизация – 1800–3000 °С) и приводит к образованию волокон, характеризующихся высоким содержанием (до 99,5 % по массе) углерода. В зависимости от режима обработки и исходного сырья полученное углеволокно имеет различную структуру. Для изготовления углепластиков чаще всего используются те же матрицы, что и для стеклопластиков – термореактивные и термопластичные полимеры. Основными преимуществами углепластиков по сравнению со стеклопластиковыми является их низкая плотность и более высокий модуль упругости, углепластики – очень легкие и, в то же время, прочные материалы. Углеродные волокна и углепластики имеют практически нулевой коэффициент линейного расширения. Все углепластики хорошо проводят электричество, они черного цвета, что несколько ограничивает области их применения.

На основе углеродных волокон и углеродной матрицы создают композиционные углеграфитовые материалы – наиболее термостойкие композиционные материалы (углепластики), способные долго выдерживать в инертных или восстановительных средах температуры до 3000 °С. Существует несколько способов производства подобных

материалов. По одному из них углеродные волокна пропитывают фенолформальдегидной смолой, подвергая затем действию высоких температур (2000 °С), при этом происходит пиролиз органических веществ и образуется углерод. Чтобы материал был менее пористым и более плотным, операцию повторяют несколько раз. Другой способ получения углеродного материала состоит в прокаливании обычного графита при высоких температурах в атмосфере метана. Мелкодисперсный углерод, образующийся при пиролизе метана, закрывает все поры в структуре графита. Плотность такого материала увеличивается по сравнению с плотностью графита в полтора раза.

УУКМ – углерод-углеродные композиционные материалы, представляют отдельную группу углепластиков, у которых армирующим волокном является углеродное волокно, а матрицей пироуглерод, кокс каменноугольного и нефтяных пеков и стеклоуглерод. Свойства УУКМ аналогичны свойствам других углепластиков. Однако их отличает то, что для них характерно некоторое улучшение механических свойств с повышением температуры.

В машиностроении для изготовления подшипников скольжения используются антифрикционные материалы марки НИГРАН, НИГРАН-В на основе графитов, пропитанных полимерными связующими.

Боропластики

Композиционные материалы, содержащие в качестве наполнителя борные волокна, внедренные в термореактивную полимерную матрицу, представляют собой боропластики

(бороволокниты). Благодаря большой твердости нитей, получающийся материал обладает высокими механическими свойствами (борные волокна имеют наибольшую прочность при сжатии по сравнению с волокнами из других материалов) и большой стойкостью к агрессивным условиям, но высокая хрупкость материала затрудняет их обработку и накладывает ограничения на форму изделий из боропластиков. Применение боропластиков ограничивается высокой стоимостью производства борных волокон. Замена металлических изделий боропластиковыми позволяет снизить их массу, повысить удельную жесткость, статическую прочность, предел выносливости и вибропрочность.

Карбидопластики

Карбидопластики – это ПКМ, содержащие в качестве наполнителя волокна карбидов. В настоящее время исследуются свойства связующих с волокнами карбида кремния SiC. Пока карбидопластики имеют несколько меньшую прочность, чем боропластики, но больший модуль Юнга. Это вызвано тем, что выпускаемые в настоящее время волокна SiC менее прочны при низких температурах, чем борные, но обладают большей жесткостью. Использовать волокна SiC в качестве наполнителя целесообразно для термостойких связующих. Преимущество карбидокремниевых волокон перед борными в их меньшей чувствительности к повышенным температурам, большей высокотемпературной прочности и длительной прочности. Поэтому карбидопластики, вероятнее всего, найдут применение в качестве материалов для изделий высокотемпературного назначения.

Органопластики

Композиты, в которых наполнителями служат органические синтетические, реже – природные и искусственные волокна в виде жгутов, нитей, тканей, бумаги и т.д., представляют собой органопластики. В терморезистивных органопластиках матрицей служат, как правило, эпоксидные, полиэфирные и фенольные смолы, а также полиимиды. Материал содержит 40–70 % наполнителя. Содержание наполнителя в органопластиках на основе термопластичных полимеров – полиэтилена, ПВХ, полиуретана и т.п. – варьируется в значительно больших пределах – от 2 до 70 %. Органопластики обладают низкой плотностью, они легче стекло- и углепластиков; относительно высокой прочностью при растяжении; высоким сопротивлением удару и динамическим нагрузкам, но, в то же время, низкой прочностью при сжатии и изгибе.

Органопластики находят широкое применение в авто-, судо-, машиностроении, авиа- и космической технике, радиоэлектронике, химическом машиностроении, производстве спортивного инвентаря и т.д.

Полимеры, наполненные порошками

Известно более 10000 марок наполненных полимеров. Наполнители используются как для снижения стоимости материала, так и для придания ему специальных свойств. Большую популярность приобрел бакелит – материал, созданный на основе синтеза фенолформальдегидной (бакелитовой) смолы. Технология приготовления бакелита проста: смесь частично отвержденного полимера

и пресс-порошка в качестве наполнителя необратимо затвердевает под давлением в форме, имеющей требуемую конфигурацию изделия. Первое серийное изделие произведено по данной технологии в 1916 году, это – ручка переключателя скоростей автомобиля «Роллс-Ройс». Наполненные термореактивные полимеры широко используются по сей день. В настоящее время применяются разнообразные наполнители как термореактивных, так и термопластичных полимеров.

Текстолиты

Текстолиты – слоистые пластики, армированные тканями из различных волокон. Технология получения текстолитов была разработана на основе фенолформальдегидной смолы. Полотна ткани пропитывали смолой, затем прессовали при повышенной температуре, получая текстолитовые пластины. Связующими в текстолитах является широкий круг термореактивных и термопластичных полимеров, иногда даже применяются и неорганические связующие – на основе силикатов и фосфатов. В качестве наполнителя используются ткани из самых разнообразных волокон – хлопковых, синтетических, стеклянных, углеродных, асбестовых, базальтовых и т.д. Соответственно разнообразны свойства и применение текстолитов.

Керамические композиционные материалы

Керамические композиционные материалы (ККМ) представляют собой материалы, в которых матрица состоит из керамики, а арматура – из металлических или неметаллических волокнистых наполнителей. Армированные

волокнами материалы на основе порошковых комбинированных матриц, в которые входят тугоплавкие неметаллические частицы и металл-связка, условно будем относить также к ККМ.

ККМ характеризуются высокими точками плавления, высокой прочностью на сжатие, сохраняющейся при достаточно высоких температурах, и высокой стойкостью к окислению. В настоящее время требования к керамике, как к конструкционному изделию, значительно возросли. Наряду с перечисленными свойствами от нее требуется высокая прочность на растяжение и ударная вязкость, стойкость к вибрациям и термоудару. Такими свойствами обладают, например, некоторые металлы. Сопоставление свойств керамики и металлов привело к попыткам создать КМ, в которых керамическая матрица сочетается с металлическими включениями в виде порошка. Так появились керметы. Керметы близки по своему типу к так называемым ДУКМ (дисперсионно-упрочненным композиционным материалам). Объемная доля керамической фазы может составлять 45–60 %. Примером керметов являются карбидостали или ферротитаны, в которых стальная матрица упрочнена частицами карбида титана TiC со средним размером 2–5 мкм. Это очень износостойкие материалы, используемые в деталях, подверженных износу трением.

Дальнейшими исследованиями было установлено, что еще больший эффект дает введение в керамическую матрицу волокон металла. Так, чтобы достичь одинаковой с керметом термостойкости, в керамику нужно ввести

примерно в 3 раза меньше металла в форме волокон, чем в виде порошка. Аналогичные исследования были затем проведены в области введения в керамическую матрицу керамических волокон.

Характерными керамическими композициями, для которых армирование волокнами открывает новые области использования, являются, например, ККМ на основе оксида хрома. Наиболее обширной группой керамических композиционных материалов являются ККМ на основе бескислородной керамики (нитридов и карбидов кремния).

В отдельную группу ККМ можно выделить сверхпроводящую оксидную керамику (СП) на основе систем Y-Ba-Cu-O, Bi-Sr-Ca-Cu- и Bi-Pb-Sr-Ca-Cu-O.

Интересными и перспективными направлениями использования СП-керамики являются: магнитные подшипники, допускающие скорость вращения до 100 тыс. об/мин; гистерезисные электродвигатели с удельной мощностью в 5–7 раз выше, чем у обычных двигателей, что обуславливает создание энергоэкономных, экологически безопасных гибридных автомобилей.

2.4.2. Композиты с использованием нанодисперсных наполнителей

В традиционных ПКМ фаза наполнителя имеет микронные размеры (диаметр минеральных и углеродных волокон, например, составляет 7–15 мкм). В ПНКМ (ПКМ с нанодисперсными наполнителями) размеры частиц фазы-наполнителя составляют менее 100 нм. К объектам с наноразмерами обычно относят наночастицы (1–100 нм), кластеры

(1 нм), молекулы (0,5 нм), коллоидные частицы (3–100 нм), вирусы (100 нм) [42].

Наночастицы обуславливают разнообразные структурные образования: нульмерные (квантовые точки размером до 5 нм), одномерные (квантовые нити, нанотрубки, нановолокна, «усы», линейные полимеры), двумерные (квантовые ямы, графен, пленки Ленгмюра – Блоджетта толщиной в один или несколько атомов, адсорбированных на поверхности, нанопористые пленки, биомембраны), трехмерные (фуллерены, фуллероиды, астралены, пластины наноглины, дендримеры, мицеллы, биоорганические полимеры, композиционные наноматериалы) и всевозможные их комбинации. На рис. 2.6. приведены несколько (из огромного количества) моделей наноразмерных объектов.

Как показали многочисленные исследования последних лет, частицы размером менее 100 нм придают сделанным из них материалам новые свойства, а нанобъекты демонстрируют новое физическое и химическое поведение, зависящее от размера частиц (размерные эффекты). Свойства наночастиц и наноструктур определяются не законами классической ньютоновской физики, а квантово-механическими статистическими законами наномира. При рассмотрении таких систем используют термин «квантовый» для того, чтобы подчеркнуть, что в области нанометровых масштабов имеет место изменение, прежде всего, электронных свойств квантово-механической природы [42].

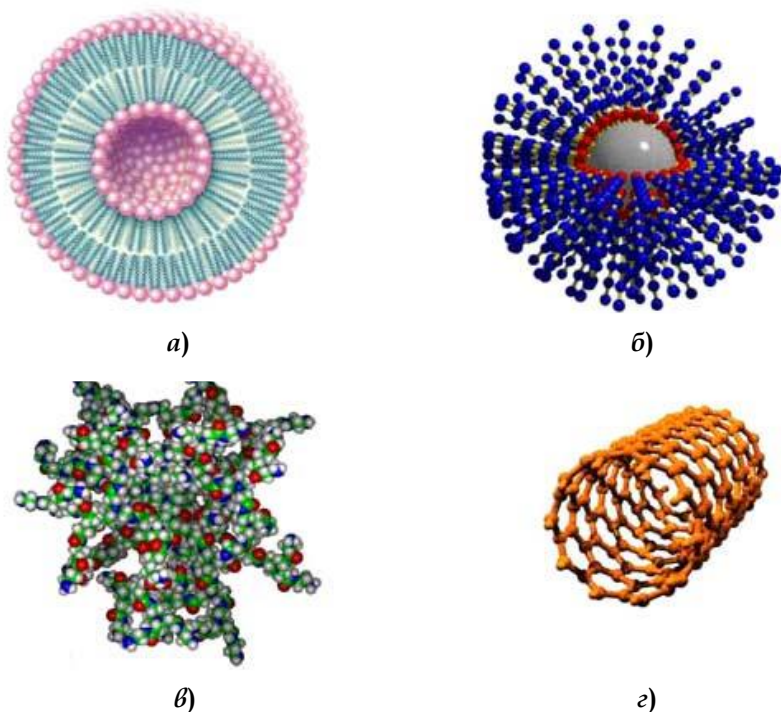


Рис. 2.6. Модели наноразмерных объектов:
a – липосома; *б* – полимерная наноструктура;
в – дендример; *г* – углеродная нанотрубка

Применительно к полимерному материаловедению нанотехнология развивается в двух основных направлениях.

Первое направление представляет собой синтез полимеров с требуемыми свойствами, задаваемыми на молекулярном уровне (макромолекулы имеют наноразмеры), традиционными для химии полимеров способами. При использовании различных химических реакций получение

полимеров различного строения: линейных, разветвленных, гиперразветвленных, сетчатых с различной структурой и плотностью сеток, с боковыми и концевыми группами различного состава и активности, блок-сополимеров, термоустойчивых, огнестойких, жидкокристаллических, металлоорганических и др.

Второе направление заключается в получении наполненных композиций, состоящих из двух или более фраз с четкой межфазной границей и со средним размером одной из фраз менее 100 нм – полимерных нанокomпозиционных материалов (нанокomпозитов).

Разработаны и используются композиции с наноразмерными компонентами различной химической природы – углеродными, неорганическими (металлическими, керамическими), органическими. Наноструктурированные материалы содержат следующие получаемые различными способами наноразмерные компоненты (наполнители):

– углеродные: фуллерены, фуллериты, астралены, однослойные нанотрубки с различной структурой (кресельной, зигзагообразной, винтовой) графеновых стенок, многослойные нанотрубки, углеродные нановолокна, наносажи, молекулярные алмазы;

– металлические: наночастицы, получаемые путем лазерного испарения атомов с их конденсацией при охлаждении, высокочастотным индукционным нагревом, химическими методами (синтез металлсодержащих полимеров, например, ионным обменом с использованием олигометилбенфениленов, каталитическое восстановление, разложение

металлорганических соединений, их термолиз), импульсными лазерными методами, нанопорошки, получаемые помоллом в наномельницах в жидких средах в присутствии (поверхностно-активных веществ (ПАВ), нановолокна, «усы»;

– керамические: стеклянные наночешуйки, хлопья, пластины нанослюды, наночастицы кремниевой кислоты, оксидов кремния, алюминия, цинка, индия, карбида вольфрама, органомодифицированные слоистые силикаты, бентониты со структурой монтмориллонита, «наноглины», нанотрубки галлуазита и других минералов, оптически прозрачные хлопья толщиной менее 5 нм;

– полимерные: элементоорганические полимеры с ионно-кластерными, ионно-доменными нанофазами размером 1–100 нм, образующимися в процессе синтеза; разветвленные звездообразные дендримеры и перразветвленные наномолекулы; нановолокна из природных фибрилл льна, конопли.

Технология получения ПНКМ зависит от типа наночастиц, которые вводят в полимер. При этом специфические свойства наночастиц создают определенные сложности для совмещения их с полимерами. Так, высокая поверхностная энергия наночастиц приводит к их агрегированию, слипанию, а из-за химической активности они при взаимодействии с другими веществами могут утрачивать свои уникальные свойства.

Получить ПНКМ традиционными технологиями наполнения полимеров сложно. ПНКМ получают различными технологическими способами путем совмещения

нанодисперсных наполнителей различной химической природы (углеродных, керамических, металлических) с термопластичными или термореактивными связующими, выполняющими роль матриц в ПНКМ. Определенное ухудшение реологических свойств таких композиций (возрастание вязкости расплава) в полной мере компенсируется резким улучшением эксплуатационных свойств при существенно более низком объемном содержании в композиции наноразмерного наполнителя.

Многочисленные исследования последних лет показали, что частицы размером менее 100 нм придают сделанным из них материалам новые свойства, а нанобъекты демонстрируют новое физическое и химическое поведение, зависящее от размера частиц (размерные эффекты).

Наполнение полимеров наноразмерными наполнителями (даже при их содержании в композиции в количестве 1-5 % об.):

- повышает упругопрочностные свойства, деформационную теплостойкость, трещиностойкость, стабильность размеров изделий;

- позволяет создавать материалы с требуемыми электрическими, магнитными, оптическими свойствами, с регулируемой скоростью диффузии газов и жидкостей;

- используется при разработке тиксотропных лаков, эмалей, клеев, полимерных пленок и покрытий с высокой твердостью, износостойкостью, электропроводностью, оптической прозрачностью, барьерными свойствами, способностью к самоочищению (наноструктурированные гидрофобные

покрытия на основе дендримеров с лотос-эффектом); мембран из полиэлектролитов с пониженной набухаемостью; наномодифицированных гидрофильных и гидрофобных покрытий;

- перспективно для наномодифицирования термоактивных и термопластичных связующих при разработке нового поколения ПКМ конструкционного и специального назначения.

В настоящее время разработаны ПНКМ на основе полипропилена, алифатических и ароматических полиамидов, полиэфиримидов, полиимидов, полисульфонов, полистирола, поликарбоната, полиметилметакрилата, полиакрилонитрила, полиэтиленгликоля, полиуретанов, эпоксидных и др. связующих.

ПНКМ с углеродными наноразмерными наполнителями

В качестве наноразмерных наполнителей ПНКМ используют углеродные наноструктуры высшего порядка с переходными формами углерода: фуллерены, фуллериты (фуллерены в кристаллическом состоянии), астралены (фуллероидные многослойные углеродные наночастицы), одно- и многослойные нанотрубки, нановолокна, наносажи.

Фуллерены – это недавно открытая природная форма углерода, существующая наряду с уже хорошо известными – графитом, алмазом и карбином. Фуллерены представляют собой полые внутри (пустота 20–26 % объема) кластеры, замкнутая поверхность которых образована правильными многогранниками из атомов углерода. В молекулах фуллеренов атомы углерода расположены в вершинах

правильных шести- и пятиугольников, из которых составлена поверхность сферы или эллипсоида. Самый симметричный и наиболее полно изученный представитель семейства фуллеренов – фуллерен (C_{60}) (рис. 2.7, а), который напоминает футбольный мяч, только микроскопический, диаметром 0,7 нм, состоящий из 20 шестиугольников и 12 пятиугольников. Следующим по распространенности является фуллерен C_{70} , отличающийся от фуллерена C_{60} вставкой из 10 атомов углерода в экваториальную область C_{60} , в результате чего молекула C_{70} оказывается вытянутой и напоминает своей формой мяч для игры в регби.

Самое интересное в фуллеренах не форма, а содержание. Та самая пустота, которая остается в середине «футбольного мяча», потому что в эту пустоту можно при желании поместить все, что угодно. Эндофуллерены – молекулы, в которых внутри молекулы фуллерена размещен один или несколько неуглеродных атомов (рис. 2.7, б). Фуллерены в твердом состоянии образуют молекулярные кристаллы – *фуллериты*, в узлах решетки которых находятся молекулы фуллерена (рис. 2.7, в). Фуллерит состоит из фуллеренов C_{60} (90 %), C_{70} (10 %) и небольшого количества высших фуллеренов (до 3 %). Крупнейшим потребителем стала сфера энергетики (использование как основы для батарей, топливных элементов, в качестве присадки для топлива и др.).

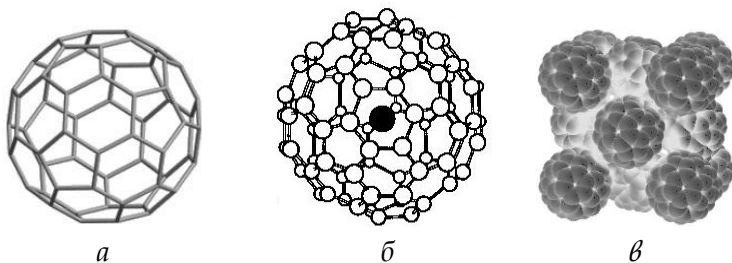


Рис. 2.7. Фуллерен C_{60} (а), эндофуллерен (б) и фуллерит (в)

Основные области применения фуллеренов:

- новые классы сверхпроводников, полупроводников, магнетиков, сегнетоэлектриков, нелинейных оптических материалов;
- новые фуллереновые технологии синтеза алмазов и алмазоподобных соединений сверхвысокой твердости;
- новые классы полимеров с заданными механическими, оптическими, магнитными, электрическими свойствами для записи и хранения информации;
- новые типы катализаторов и сенсоров для определения состава жидких и газовых сред;
- новые классы антифрикционных покрытий и смазок, в том числе на основе фторсодержащих соединений фуллеренов;
- новые виды топлив и добавок к топливам;
- капсулы для безопасного захоронения радиоактивных отходов;
- новые классы соединений для фармакологии и медицины, в том числе противовирусные и нейротропные препараты, сорбенты для гемосорбции.

Углеродные нанотрубки и нановолокна

Углеродные нанотрубки (турбулены) – это протяженные цилиндрические структуры диаметром от одного до нескольких десятков нанометров и длиной до нескольких сантиметров, состоящие из одной или нескольких свернутых в трубку гексагональных графитовых плоскостей и заканчивающиеся обычно полусферической головкой, которая может рассматриваться как половина молекулы фуллерена (рис. 2.8).

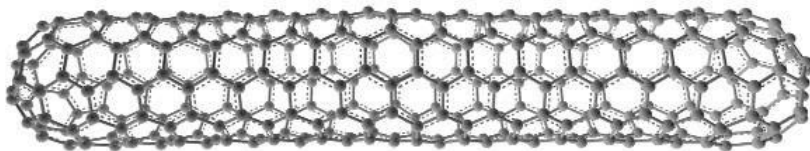


Рис. 2.8. Нанотрубка

Взаимная ориентация гексагональной сетки графита и продольной оси нанотрубки определяет очень важную структурную характеристику нанотрубки, которая получила название хиральности. Хиральность характеризуется двумя целыми числами (m , n), которые указывают местонахождение того шестиугольника сетки, который в результате свертывания должен совпасть с шестиугольником, находящимся в начале координат. Имеется много вариантов свертывания нанотрубок, но среди них выделяются те, в результате реализации которых не происходит искажения структуры гексагональной сетки (рис. 2.9).

Наиболее распространены углеродные нанотрубки с кресельной, зигзагообразной и винтовой структурой (хиральностью). Тип строения трубки влияет на ее химические, электронные и механические свойства. Однослойные трубки содержат меньше дефектов, а после высокотемпературного отжига в инертной атмосфере можно получить и бездефектные трубки.

Многослойные отличаются от представленных на рис. 2.9 однослойных нанотрубок значительно более широким разнообразием форм и конфигураций. Разнообразие структур проявляется как в продольном, так и в поперечном направлении. Структура типа «русской матрешки» представляет собой совокупность коаксиально вложенных друг в друга цилиндрических трубок. Другая разновидность этой структуры представляет собой совокупность вложенных друг в друга коаксиальных призм.

Углеродные нанотрубки обладают уникальными упругопрочностными, теплофизическими и электрическими свойствами. Из углеродных нанотрубок, формирующихся перпендикулярно к кремниевой подложке, вытягивают несколько метров (с площади 1 см²) нановолокон, состоящих из сотен тысяч нанотрубок. Из пучков нановолокон сплетают нити (при диаметре 20 мкм прочность нитей в 5 раз больше прочности нитей Kevlar такого же диаметра).

Электропроводная прозрачная ткань из углеродных нанонитей при толщине 50 мкм, она имеет массу одного квадратного метра, равную 30 мг, и удельную прочность более высокую, чем у стали. Значение модуля упругости

эпоксидного нанокompозита, содержащего лишь 5 % об. углеродных нанотрубок, повышается на 20 %, а модуля упругости при сжатии – на 25 %. Значение прочности при растяжении полистирола с 1 % об. нанотрубок повышается на 25 %. Наполнение полимеров углеродными наночастицами (наносажи, трубки) резко повышает их электропроводность, а концентрационный порог протекания перколяции (переноса электронов) достигается при введении в полимер около 1 % об. наночастиц. При использовании же технического углерода он достигается при степени наполнения 20 % об. [42].

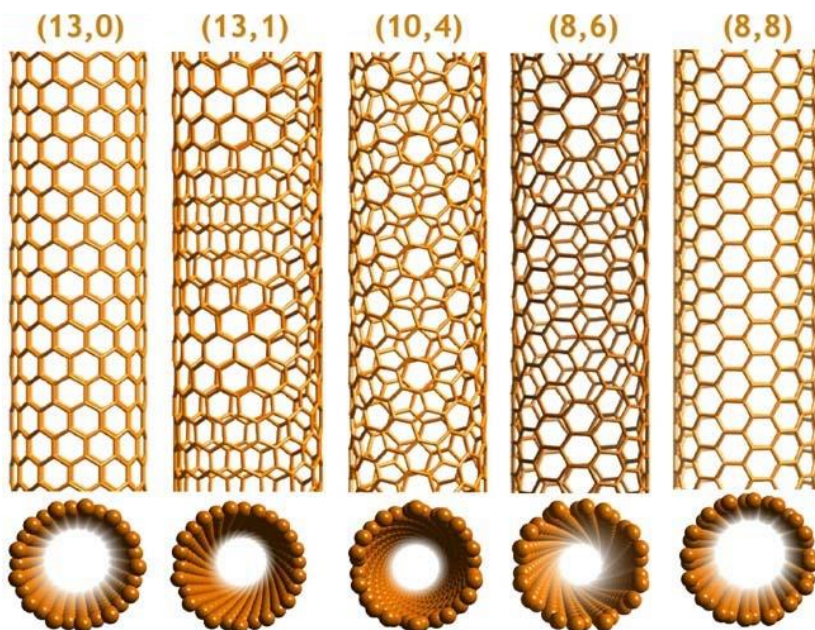


Рис. 2.9. Углеродные нанотрубки с различной хиральностью

Углеродные нанотрубки, другие углеродные наноструктуры, использованы в качестве наполнителей термо- и реактопластов в полимерных композиционных наноматериалах. Объемы применения полимерных нанокомпозитов растут от 18 до 25 % в год (автомобилестроение, упаковочные материалы, нанoeлектроника). Углеродные наноструктуры используют для получения конструкционных, электропроводящих, антистатических, радиозранирующих полимерных нанокомпозитов, для модификации традиционных полимерных композиционных материалов (углепластиков), элементной базы нанoeлектроники. Наносажа марки Eсogах в количестве 5 % об. используется для модификации резин. ПНК-материалы компании Nanosyl (Бельгия) используются в автомобилестроении (токопроводящие лаки и эмали, упрощающие сушку покрытий, антистатические покрытия топливных трубопроводов, уплотнительные кольца, прокладки). По данным фирмы Hyperion Catalysis, более чем в 60 % автомобилей, изготавливаемых в США, используются материалы, содержащие углеродные нанотрубки.

Широкое применение фуллеренов, астраленов, углеродных нанотрубок в качестве наполнителей ПНКМ сдерживается их высокой стоимостью. Поэтому экономически более приемлемо использование углеродных наноструктур в качестве модификаторов традиционных ПКМ, например углепластиков. Наномодификаторы выполняют в углепластиках роль «стопперов», так называемых замедлителей роста трещин, генерируя разветвленную систему

мезотрещин – каналов рассеяния энергии нагружения и повышая значение показателя трещиностойкости на 35 %.

Порошки с наночастицами железа сферической формы используют в качестве присадок моторных масел двигателей внутреннего сгорания, устраняющих микродефекты и восстанавливающих детали шатунно-поршневой группы, повышающих компрессию в двигателе в 1,1–1,3 раза, снижающих токсичность и дымность выхлопных газов благодаря образованию на поверхности деталей тонких (толщиной менее 1 мкм) слоев нанопористого катализатора. Наноразмерные (размер 2–17 нм, удельная поверхность 40–100 м²/г) частицы металлов платиновой группы (Pt, Pd, Ru) служат высокоэффективными многокомпонентными катализаторами в электрохимических системах с твердым полимерным электролитом.

При использовании новых конструкционных материалов, свойства которых значительно отличаются от свойств традиционных, необходим иной подход ко многим вопросам проектирования изделий: выбору силовой схемы изделия, оформлению сборочных единиц, определению толщины стенок, соединению деталей и т.д.

В связи с многообразием конструктивно-технологических решений, существенной разницей их стоимости решение о выборе того или иного варианта конструкции должно базироваться на объективной количественной оценке. Для оценки возможных вариантов и наилучшего выбора в настоящее время широко используются методы исследований операций. При этом предусмотрен системный

подход к решению задачи. В настоящее время он получил довольно широкое распространение. Его главная положительная особенность и состоит в том, что решения частных задач увязываются с решениями более общих [41–70].

Контрольные вопросы

1. Какое строение имеет стекло? Что входит в состав стекла?
2. Как классифицируют стекло по химическому составу и назначению?
3. Какими свойствами обладает стекло?
4. Что такое ситалл, триплекс?
5. В чем заключается физический смысл процесса вулканизации?
6. В чем заключается физический смысл процесса полимеризации?
7. Технологические параметры изготовления резины.
8. Какие материалы называются реактопластами?
9. Перечислите технологические параметры процесса прессования.
10. Перечислите технологические параметры процесса литья под давлением.
11. Опишите процесс подготовки пресс-материалов к формованию.
12. Чем обусловлена необходимость таблетирования пресс-материалов?
13. Какие преимущества в предварительном подогреве пресс-материалов?

14. Температурный интервал вакуумного формования.
15. Перечислите технологические параметры процесса экструзии.
16. Особенности переработки методом литья под давлением термопластов, реактопластов и резиновых смесей.
17. Цикл литья под давлением. Основные стадии.
18. Режимы работы литьевой машины.
19. Необходимость выдержки под давлением термопласта в литьевой форме.
20. Какие требования предъявляются к ЛКМ?
21. Опишите этапы подготовки поверхности деталей к окраске.
22. Для чего предназначены лакокрасочные материалы?
23. Перечислите основные свойства лакокрасочных материалов.
24. Опишите назначение грунтовок, шпаклевок, растворителей.
25. Что представляют собой композиционные материалы (композиты)?
26. Перечислите виды композиционных материалов в зависимости от материала матрицы.
27. Что представляют собой препреги?
28. Назовите компоненты стеклотекстолита.
29. Какие полимеры чаще всего используются для изготовления углепластиков?
30. Назовите основное свойство боропластиков.
31. Какими свойствами обладают органопластики?

32. Что представляют собой керамические композиционные материалы?

33. Чем характеризуются керамические композиционные материалы?

34. Что обуславливают наночастицы в качестве порошковых наполнителей композиционных материалов?

35. Назовите основные наноразмерные компоненты (наполнители) наноструктурированных композиционных материалов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Винник П.Г. Материаловедение: учеб.-метод. пособ. / П.Г. Винник, О.Н. Морозова, А.Н. Копыл. – Ростов н/Д: ИПО ПИ ЮФУ, 2007. – 220 с.
2. Общая химическая технология: учеб. пособ.: в 2 ч. / К.В. Брянкин, Н.П. Утробин, В.С. Орехов, Т.П. Дьячкова. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2006. – Ч. 2. – 172 с.
3. Основные свойства пластмасс [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://metallsity.ru/osnovnyie-svoystva-plastmass-i-ix-klassifikaciya.html>.
4. Пластики в автомобилестроении [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.spetzplast.ru/article/plastiki-v-avtomobilestroenii>.
5. Неметаллические материалы. Материаловедение [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.5fan.ru> Неметаллические материалы. Материаловедение.
6. Использование полимеров в изготовлении деталей автомобилей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.https://images.rambler.ru/search?Query=%D0adult=soft&i=0&utm_source=rambler-search&utm_medium=mixup&utm_campaign=images_up.
7. Термопласты [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://artmalyar.ru/pokraska/okraska-plastika-first.html>.
8. Паписов И.М. Высокмолекулярные соединения: методические указания / И.М. Паписов, Е.В. Новоселова, Г.Ю. Остаева, Е.А. Елисеева, А.И. Паписов; под ред. И.М. Паписова; МАДИ – М., 2011. – 42 с. [Электронный

- ресурс]. – Режим доступа: <http://lib.madi.ru/fel/fel1/fel14M253.pdf>.
9. Технологии изготовления деталей из пластмасс [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://te.zavantag.com/docs/396/index-67537-12.html>.
 10. Структура и адгезионные свойства отвержденных эпоксидных смол [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://mirznanii.com/a/324440/struktura-i-adgezionnye-svoystva-otverzhdyennykh-epoksidnykh-smol>.
 11. Отвердители для эпоксидной смолы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: europolis.ru/otverditeli-dlja-epoksidnoj-smoly.html.
 12. Алпатова О.А. Технология пластмасс: учеб. пособие. – Павлодар, 2006. – 96 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.studmed.ru/docs/document39540/cc1>.
 13. Способы грануляции [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.plastics.ru/pdf/journal/2012/08/Pischulin.pdf>.
 14. Как обрабатывают пластмассы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://homemade-product.ru/vsyo-o-plastmassax/>.
 15. Основы технологии производства изделий из пластмасс [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://helpiks.org/5-24002.html>.
 16. Яковлев А.Д. Технология изготовления деталей из пластмасс / А.Д. Яковлев. – Ленинградское отделение. – М.: Химия, 1977. – 360 с.

17. Каландрование [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.korrex.ru/polezno/item/283-kalandrovanie.html>.
18. Технологический процесс каландрования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://plastichelper.ru/biblioteka-on-line-about-polimers/42/91>.
19. Формование листовых термопластов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.refsr.ru.com/referat-13422-8.html>.
20. Пневмо- и вакуумформовка деталей автомобилей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://sapt.ru/thermal_vacuum.html?yclid=286066021434395773.
21. Вакуумное формование [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://studopedia.ru/10_288419_vakuumnoe-formovanie.html.
22. Пневмо- и вакуумформование [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.kazedu.kz/referat/137337/2>.
23. Фенопласты [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://mplast.by/encyklopedia/fenoplastyi>.
24. Энциклопедия Википласт [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://wikiplast.MPLplast.by>.
25. Неорганические стекла и техническая керамика [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://matved2010.narod.ru/Glava63.htm>.
26. Неорганическое стекло [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.chemport.ru/chemical_encyclopedia_article_3544.html.

27. Неорганическое стекло [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https:// traditio. wiki/ Неорганическое стекло](https://traditio.wiki/Неорганическое_стекло).
28. Неорганическое стекло [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http:// referatwork.ru/materialovedenie/ section-9-1.html](http://referatwork.ru/materialovedenie/section-9-1.html).
29. Стекла [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https:// refdb.ru/look/ 1315311-p5.html](https://refdb.ru/look/1315311-p5.html).
30. Резины: состав, свойства и виды [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://referatwork.ru/materialovedenie/section-8-2.html>.
31. Резина и ее применение [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://mse-online.ru/nemetallicheskie-materialy/rezina-i-ee-primenenie.html>.
32. Резины. Свойства и области применения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://material.osngrad.info/node/31>.
33. Резина, ее свойства и показатели, характеризующие качество [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://stroy-technics.ru/article/rezina-ee-svoistva-i-pokazateli-kharakterizuyushchie-kachestvo>.
34. Технологический процесс создания резины [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://hromax.ru/tehnologiya_proizvodstva_reziny.html.
35. Лакокрасочные материалы (ЛКМ) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.okorrozii.com/lkm.html>.
36. Лакокрасочные материалы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://stroivagon.ru/stroitelstvo/lako-krasochnyie-materialyi.html>.

37. Применение растворителей и разбавителей лакокрасочных материалов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://lkmprom.ru/analitika/primenenie-rastvoriteley-i-razbaviteley-lakokrasoc/>.
38. Вспомогательные и подсобные лакокрасочные материалы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://osvita-plaza.in.ua/publ/431-1-0-41750>.
39. Полимерные композиционные материалы: основные типы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://plastinfo.ru/information/articles/110>.
40. Полимерные композиционные материалы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.studfiles.ru/preview/5056143/page:22/>.
41. Особенности проектирования узлов и деталей из полимерных композиционных материалов автомобильных конструкций [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.http://loganrenault.ru/html/osobennosti-polimer.html>.
42. Технология производства изделий из композиционных полимерных материалов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.elar.urfu.ru/bitstream/10995/3568/12/1358540_lectures_ch_2.pdf.
43. Минаев А.А. Расчет параметров пластического формоизменения сортовых заготовок / А.А. Минаев, В.А. Белевитин, Е.Н. Смирнов // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 1990. – № 12. – С. 26–28.
44. Воронцов В.К. К постановке и решению объемной задачи пластического течения методами экспериментальной

- механики / В.К. Воронцов, П.И. Полухин, В.А. Белевитин, В.В. Бринза // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 1976. – № 4. – С. 75–80.
45. Бражников А.И. Ультразвуковой спектральный метод технологического контроля концентрации электролита Н.И. Бражникова / А.И. Бражников, В.А. Белевитин, Ф.И. Бражников, Е.Н. Лавлинская, А.И. Вольхин // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2005. – № 3. – С. 54–56.
46. Голубчик Р.М. О выборе оптимального соотношения диаметров валков и заготовки для винтовой прокатки / Р.М. Голубчик, В.К. Воронцов, В.А. Белевитин // Сталь. – 1982. – № 8. – С. 64–66.
47. Бражников Н.И. Ультразвуковой контроль и регулирование технологических процессов / Н.И. Бражников, В.А. Белевитин и [др.]. – М.: 2008.
48. Belevitin V.A. The Study of Three-Dimensional Flow of Metal under Free Forming / V.A. Belevitin, V.F. Obesnyuk, E.R. Logunova // Металлы. 2003. – № 1. – С. 26–32.
49. Белевитин В.А. Материаловедение. Свойства металлов и сплавов: учеб. пособие / В.А. Белевитин // Челябинский государственный педагогический университет. – Челябинск, 2012.
50. Карпенко А.Г. Автомобильные эксплуатационные материалы: сб-к лаб. работ /А.Г. Карпенко, К.В. Глемба, В.А. Белевитин // Челябинск, 2014.
51. Ульянова В.Г. Формирование гуманистических ценностей будущих офицеров в образовательном процессе

- военного вуза: автореф. ... дис. канд. пед. наук. – Челябинск, 2007.
52. Ульянова В.Г. Психолого-педагогические проблемы деонтологической подготовки студентов по иностранному языку / В.Г. Ульянова и [др.] // Английский для нефилологов. Проблемы ESP-2012. – Воронеж, 2012. – С. 35–37.
 53. Ульянова В.Г. Системы и механизмы двигателя внутреннего сгорания: уч. пособие на английском языке. – Челябинск, 2015.
 54. Руднев В.В. Моделирование ресурсов повышения экологической безопасности крупных городов: монография / В.В. Руднев, М.Л. Хасанова, В.А. Белевитин. – Челябинск: Изд-во Юж.-Урал. гос. гуман.-пед. ун-та, 2017. – 88 с.: ил.
 55. Белевитин В.А. Операционно-зачетные работы по общеслесарной производственной практике: сб-к лаб. Работ / В.А. Белевитин, А.В. Суворов, Е.П. Меркулов // ЧГПУ. – Челябинск, 2015.
 56. Воронцов В.К. Исследование полей перемещений при прокатке квадратной полосы в овальном калибре / В.К. Воронцов, Ю.С. Атеф, В.В. Бринза, В.А. Белевитин // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 1977. № 5. – С. 101–105.
 57. Бражников А.И. Бесконтактный одноканальный времяимпульсный расходомер жидкости / А.И. Бражников, В.А. Белевитин, Е.В. Бражникова, Е.Л. Иванов // Метрология. – 2004. – № 11. – С. 16.

58. Белевитин В.А. Ультразвуковой контроль качества кованных валов / В.А. Белевитин, Н.И. Бражников // Сталь. – 2000. – № 4. – С. 47–48.
59. Гнатышина Е.А. Профессионально-педагогическое образование на рубеже веков / Е.А. Гнатышина, Г.А. Герцог, А.В. Савченков, Л.П. Алексеева, Н.В. Уварина, Е.В. Гнатышина, Н.Ю. Корнеева, В.А. Белевитин: коллективная монография // Челябинск, 2014.
60. Карпенко А.Г. Материаловедение. Расходные материалы автотранспортной техники: учеб. пособие / А.Г. Карпенко, В.А. Белевитин // ЧГПУ. – Челябинск, 2013.
61. Smyrnov Y.N. Physical and Computer modeling of nev soft reduction Process of continuously cast blooms / Y.N. Smyrnov, V.A. Belevitin и [др.] // Journal of Chemical Technology and Metallurgy, 2015. – 50. – № 6. – P. 12–17.
62. Belevitin V.A. Simulation of the macrostructure influence of forging ingots on the potential capabilities of obtaining high-quality forgings / V.A. Belevitin, Y.N. Smyrnov, S.Y. Kovalenko, A.V. Suvorov // Metallurgical and Mining Industry, Ukrmetallurginform “Scientific and Technical Agency”. Ltd., – 2016. – № 7. – P. 18–23.
63. Smyrnov Y.N. Defect Healing in the Axial Zone of Continuous-Cast Billet / Y.N. Smyrnov, V.A. Skliar, V.A. Belevitin, R.A. Shmyglya, O.Y. Smyrnov // Steel in Transition, Allerton Press. 2016. – Vol. 46. – Nr. 5. – P. 325–328.
64. Brazhnikov A.I. Ultrasonic Control of the Fluid-Flow Velocity Without / A.I. Brazhnikov, V.A. Belevitin, F.I. Brazhnikov, E.L. Ivanov // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. 2006. – V. 79. – No 2. – P. 345–353.

65. Белевитин В.А. Основания необходимости учета несовершенств кузнечного слитка при проектировании процессаковки на прессах / В.А. Белевитин, А.А. Синицын, А.В. Суворов, С.Ю. Коваленко // Безопасность социальной сферы в условиях современной поликультурной России: материалы Всероссийской научно-практической конференции. – 2012. – С. 280–287.
66. Белевитин В.А. Моделирование пластического формоизменения металлических заготовок / В.А. Белевитин, А.В. Суворов, С.Ю. Коваленко, Е.Н. Смирнов // Итоги науки. Избранные труды Междун. симпозиума по фундаментальным и прикладным проблемам науки. Российская академия наук; Министерство обороны Российской Федерации; Министерство промышленности и торговли Российской Федерации; Федеральное космическое агентство; Министерство образования и науки Российской Федерации; Высшая аттестационная комиссия; Межрегиональный совет по науке и технологиям. – 2014. – С. 175–199.
67. Коваленко С.Ю. Инновационные технологии программного обеспечения при компьютерном моделировании процессов обработки металлов давлением / С.Ю. Коваленко, А.В. Суворов, В.А. Белевитин // Проблемы подготовки бакалавров профессионального обучения под редакцией Е.А. Гнатышиной, Н.В. Уваровой, В.А. Белевитина. – Челябинск. – 2014. – С. 197–202.
68. Белевитин В.А. Инновационные подходы в моделировании неоднородностей материала кузнечных слитков //

- В.А. Белевитин, С.Ю. Коваленко // Наука и технологии. Избранные труды Всероссийской конференции по проблемам науки и технологий. Российская академия наук; Министерство обороны Российской Федерации; Министерство промышленности и торговли Российской Федерации; Федеральное космическое агентство; Министерство образования и науки Российской Федерации; Высшая аттестационная комиссия; Межрегиональный совет по науке и технологиям. – 2014. – С. 144–166.
69. Хасанова М.Л. Опыт применения ментальных карт при изучении технических дисциплин / М.Л. Хасанова // Подготовка профессиональных управленческих кадров: опыт, проблемы, инновационные образовательные технологии. – 2015. – С. 163–167.
70. Руднев В.В. Непосредственный наддув как способ повышения приемистости ДВС / В.В. Руднев, В.С. Кукис, М.Л. Хасанова, О.И. Быстров // Научный вестник. – 2009. – № 20. – С. 122.
71. Руднев В.В. Комбинированный двигатель / В.В. Руднев, М.Л. Хасанова и [др.] // Патент на полезную модель RUS 62662 30.10.2006.
72. Руднев В.В. Комбинированные силовые установки для городского автомобиля / В.В. Руднев, М.Л. Хасанова, К.Б. Нестеров // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. 2010. – № 1. – С. 202–205.
73. Белевитин В.А. Химические понятия и определения в обслуживании автомобильной техники: справ. пособие // В.А. Белевитин, Л.Ф. Манжукова, Л.Ф. Шарова. – Челябинск: Изд-во Юж.-Урал. гос. гуман.-пед. ун-та, 2017. – 131 с.

74. Белевитин В.А. Слиток для деформирования / В.А. Белевитин, С.Ю. Коваленко, Е.Н Смирнов, А.В. Суворов // Патент на изобретение РФ № 2558701. Приоритет от 11.02.2014 г.
75. Белевитин В.А. Слиток для деформирования / В.А. Белевитин, С.Ю. Коваленко, Е.Н Смирнов, А.В. Суворов // Патент на полезную модель РФ № 156309. Приоритет от 17.03.2015 г.
76. Белевитин В.А. Способ изготовления модельного образца для определения деформаций // В.А. Белевитин, А.В. Суворов, Е.Н Смирнов, С.Ю. Коваленко // Патент на изобретение РФ № 2570564. Приоритет от 14.08.2014 г.
77. Белевитин В.А. Слиток для деформирования / В.А. Белевитин, С.Ю. Коваленко, Е.Н Смирнов, А.В. Суворов // Патент на полезную модель РФ № 1630391. Приоритет от 16.12.2015 г.
78. Богатенков С.А. Компетентностно-ориентированное управление подготовкой кадров в условиях электронного обучения: монография // С.А. Богатенков, Е.А. Гнатышина, В.А. Белевитин. – Челябинск: Изд-во Юж.-Урал. гос. гуман.-пед. ун-та, 2017. – 155 с.
79. Коваленко С.Ю. Количественная оценка сформированности проектировочной компетентности студентов в образовательной организации / С.Ю. Коваленко, В.А. Белевитин, И.Г. Черновол // Инновационные технологии в подготовке современных профессиональных кадров: опыт, проблемы. – Челябинск: Изд-во Челябинского филиала РАНХиГС, 2017. – С. 107-112.

Учебное издание

Белевитин Владимир Анатольевич

**МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ:
НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ**

Учебное пособие

ISBN 978-5-906908-64-3

Работа рекомендована РИСом университета

Протокол № 6 (пункт 5) от 2017 г.

Издательство ЮУрГППУ

454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 69

Редактор Н.С. Бокова

Компьютерный набор В.А. Белевитин

Эксперт В.В. Викторов

Подписано в печать 14.07.2017

Формат 60x841/16

Объем 4,4 уч.-изд. л.

Бумага типографская

Тираж 100 экз.

Заказ №

Отпечатано с готового оригинал-макета

в типографии ЮУрГППУ

454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 69