

Министерство образования и науки Российской Федерации
Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет

Р.П. Заднепровский, А.В. Дяшкин

МАТЕРИАЛЫ:
ФИЗИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА
И ИХ РЕГУЛИРОВАНИЕ

Учебное пособие

В двух частях

Часть 2



© Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Волгоградский государственный
архитектурно-строительный университет», 2012

Волгоград
ВолгГАСУ
2012

УДК 691.620
ББК 30.3
З 155

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор Волгоградского государственного
технического университета (ВГТУ) *Л.М. Семенова*;
доктор химических наук, профессор кафедры физики ВГТУ *А.О. Литинский*

Заднепровский, Р.П.

З 155

Материалы: физические и технологические свойства и их регулирование [Электронный ресурс] : учебное пособие : в 2-х ч. — Ч. 2 / Р.П. Заднепровский, А.В. Дяшкин ; М-во образования и науки Росс. Федерации ; Волгогр. гос. архит.-строит. ун-т. — Электрон. текстовые дан. (1,9 Кбайт). — Волгоград : ВолгГАСУ, 2012. — Учебное электронное издание комбинированного распространения : 1 DVD-диск. — Систем. требования: PC 486 DX-33; Microsoft Windows XP; 2-скоростной дисковод DVD-ROM; Adobe Reader 6.0. — Официальный сайт Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. — Режим доступа: <http://www.vgasu.ru/publishing/on-line/> Загл. с титул. экрана.

ISBN 978-5-98276-476-8 (ч. 2)

ISBN 978-5-98276-474-4

Содержатся расширенные сведения (в том числе полученные авторами) о сверхтвердых материалах, адгезионно-фрикционных свойствах и теории адгезионно-фрикционного взаимодействия тел, вопросы регулирования свойств материалов и особенно изменения их поверхностных свойств с использованием мало освещенных в учебной литературе методов электромагнитного и лазерного воздействий, неразрушающих методов контроля свойств материальных объектов и др. Даны общие понятия о наноматериалах и нанотехнологиях.

Рекомендуется в качестве учебного пособия по курсу материаловедения для студентов инженерных профилей, издание может быть полезно аспирантам и научным работникам.

Частично использованы материалы лекций доц. Нижегородского ГТУ И.М. Мальцева и доц. Самарского ГУ В.П. Петрова (в гл. 1).

УДК 691.620
ББК 30.3

Нелегальное использование данного продукта запрещено

ISBN 978-5-98276-476-8 (ч. 2)

ISBN 978-5-98276-474-4



© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет», 2012

Оглавление

1. Материалы на основе полимеров	4
1.1. Основные свойства пластмасс.....	6
1.2. Классификация и важнейшие виды пластмасс.....	10
1.3. Основные способы переработки пластмасс.....	25
1.4. Резина и резиноподобные материалы.....	30
1.5. Древесина и древоплита.....	40
2. Материалы и изделия на основе минеральных веществ	49
2.1. Керамика.....	49
2.2. Стекло, ситаллы.....	65
2.3. Каменное и шлаковое литье.....	75
2.4. Основные минералы. Твердость и плотность минералов.....	76
3. Вяжущие вещества и изделия на их основе	79
3.1. Материалы на основе вяжущих веществ.....	105
3.2. Строительные растворы.....	111
4. Бетоны	119
4.1. Железобетон и железобетонные изделия.....	139
4.2. Искусственные каменные материалы на основе вяжущих веществ.....	147
5. Некоторые функциональные материалы	156
5.1. Антифрикционные материалы.....	156
5.2. Порошковые металлические материалы.....	157
6. Регулирование свойств материалов	164
6.1. Регулирование свойств сталей за счет термической и химико-термической обработки.....	164
6.2. Применение электрических полей для изменения износостойкости и прочностных свойств металлических поверхностей.....	175
6.3. Порошковые полимерные покрытия.....	184
6.4. Свойства и контроль качества покрытий.....	191
7. Снижение трения и адгезии при разработке влажных дисперсных масс	195
8. Понятие о наноматериалах и нанотехнологиях	213
8.1. Использование наноразмерных добавок в строительных технологиях.....	215
9. Изменение размеров материальных объектов	226
10. Склеивание	240
10.1. Механизм процессов адгезии при склеивании.....	240
10.2. Клеящие вещества, герметики и технологии склеивания.....	243
11. Лакокрасочные материалы	250
12. Неразрушающие испытания материалов	253
Библиографический список.....	271

1. МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРОВ

Искусственные материалы, получаемые на основе органических полимерных веществ называют пластическими массами.

Главной составной частью пластмасс в большинстве случаев являются полимеры - вещества, состоящие из очень больших молекул, называемых макромолекулами, или высокомолекулярными соединениями. В состав этих молекул входят тысячи и десятки тысяч малых молекул, или мономеров, последовательно химически связанных один с другим в длинные цепи.

На свойства полимеров, а следовательно, и пластмасс решающее влияние оказывает строение макромолекул. Они могут иметь линейное, разветвленное и сетчатое строение (рис. б.1, а, б, в).

Полимеры (смолы) являются в основном синтетическими материалами, сырьем для получения, которых служат природный газ, нефть, каменный уголь и некоторые другие вещества.

Полимеры получают посредством двух различных реакций: полимеризации и поликонденсации.

Процесс полимеризации заключается в создании высокомолекулярного соединения одного вещества - мономера, молекулы которого, соединяясь, образуют длинные цепочки нового вещества такого же состава, что и мономер, но резко отличающегося от него по свойствам. Это новое вещество и называют полимером. В процессе полимеризации не выделяются побочные продукты. При реакции полимеризации двух разных по химическому составу мономеров можно получить высокомолекулярные вещества с новыми свойствами. Такие вещества называют сополимерами.

Процесс поликонденсации заключается в создании высокомолекулярного соединения путем химического взаимодействия двух и

более различных веществ. Процесс сопровождается выделением побочных продуктов (воды, аммиака и др.). Поэтому состав образующегося полимера отличается от состава исходных веществ.

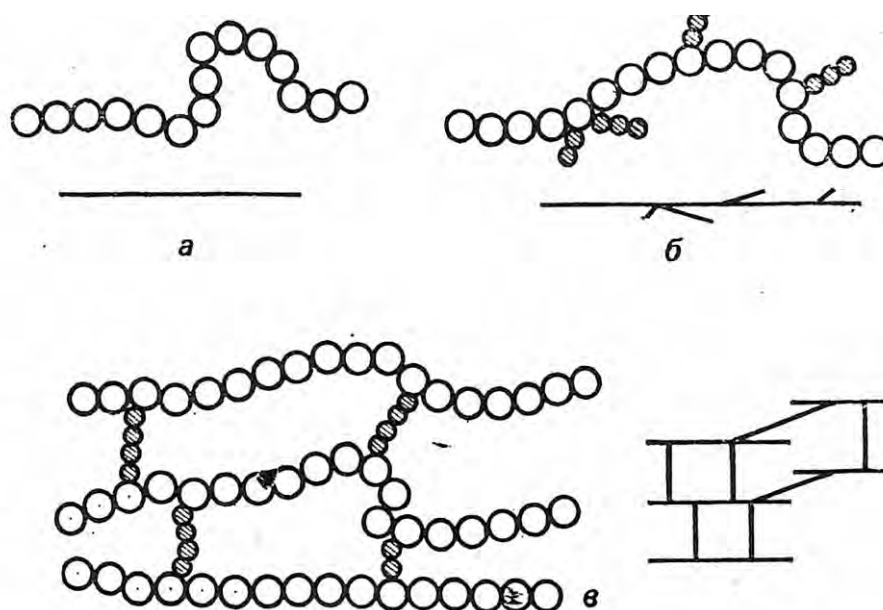


Рис. 1.1. Структура макромолекул: а - линейная; б - разветвленная; в - сетчатая.

Большинство пластмасс представляет собой сложную комбинацию различных веществ. Основой пластмасс являются полимеры (смолы), которые служат связующим веществом. Кроме связующего, в состав пластмасс входит ряд добавок, позволяющих изменять свойства материала в желаемом направлении. Важнейшая составная часть пластмасс - наполнители. Они упрочняют материал, сообщают ему некоторые специальные свойства, а также во многих случаях удешевляют его. В пластмассе может содержаться до 70% наполнителей. В качестве наполнителей используют органические вещества - древесную муку, древесный шпон, бумагу, ткани, хлопковые очесы, стружку, опилки и пр., а также минеральные вещества - кварцевую муку, тальк, каолин, асбест, стекловолокно, стеклоткань и пр.

Органические наполнители уменьшают хрупкость смолы, позволяют сохранять малую плотность, повышают прочность, но в то же время снижают ее водостойкость и термостойкость.

Минеральные наполнители придают пластмассе более высокую теплостойкость и химическую стойкость, улучшают диэлектрические свойства, иногда значительно увеличивают механическую прочность, особенно стекловолокна. Но одновременно они повышают плотность пластмассы и в некоторых случаях увеличивают ее хрупкость.

Пластификаторы - другая важная составная часть пластмасс. Их вводят в некоторые пластмассы для облегчения их переработки в изделия. В качестве пластификаторов применяют дибутилфталат, стеарин, касторовое масло и др.

Кроме перечисленных веществ, в пластмассы иногда вводят и другие специальные добавки: красители для придания материалу соответствующего цвета; смазки для предотвращения прилипания его к форме; отвердители для ускорения химических реакций; стабилизаторы для уменьшения или устранения процессов разрушения материала под действием теплоты или атмосферных условий.

Наряду с пластмассами сложного состава находят применение и пластмассы, которые состоят только из одного полимера без каких-либо добавок. К ним относятся полиэтилен, полистирол, капрон, органическое стекло и др.

1.1. Основные свойства пластмасс

Довольно широкое распространение пластмасс в современной технике объясняется тем, что они обладают рядом ценных свойств.

Различают физические и механические свойства пластмасс.

Физические свойства. Плотность пластмасс. В зависимости от типа и количества связующего вещества и наполнителя, а также технологии изготовления плотность составляет от 140 до 10^4 кг/м³. Наиболее легким пластиком является поропласт на основе аминоформальдегидной смолы (140 кг/м³), наиболее тяжелым - пресс-материал на основе фенолоформальдегидной смолы и свинца-наполнителя (10^4 кг/м³). Плотность конструкционных пластмасс - $1,35 \cdot 10^3 \dots 1,45 \cdot 10^3$ кг/м³ (текстолиты) и $1,6 \cdot 10^3 \dots 1,8 \cdot 10^3$ кг/м³ (стеклотекстолиты). Поэтому использование пластмасс значительно облегчает массу машин и конструкций.

Устойчивость против коррозии. Пластмассы имеют высокую устойчивость против коррозии, причем фторопласты по химической устойчивости даже превосходят благородные металлы.

Коэффициент трения пластмасс зависит от композиций. Так, пластмассы с асбестовым наполнителем (КФ-3, ФК-24А и др.) являются фрикционными материалами, а пластмассы с наполнителем из хлопчатобумажной ткани или древесного шпона, а также ряд ненаполненных смол - хорошими антифрикционными материалами, применяемыми для изготовления подшипников трения-скольжения.

Диэлектрические свойства пластмасс зависят от наполнителей, связующих веществ и их полярности. У пластиков различают неполярные (нейтральные) и полярные диэлектрики. К неполярным пластмассам относятся полиэтилен, фторопласты, полистирол, полиизобутилен и др.; к полярным - полихлорвинил, полиамиды, фенопласты, эпоксиласты, целлюлоза др.

Наилучшие диэлектрики - нейтральные пластмассы: политетрафторэтилен, полиэтилен, полистирол, полиизобутилен, полидихлорстирол. Величины удельного электросопротивления этих материалов - от 10^{13} до 10^{16} Ом· м; тангенс угла диэлектрических потерь не превышает 0,0005.

Введение наполнителей изменяет диэлектрические свойства пластмасс. Так, графит, сажа и другие наполнители резко снижают электроизоляционные свойства.

Теплостойкость пластмасс зависит от типа и количества смолы и наполнителя и составляет 35...250 °С. Теплостойкость целлопластов -25°С, стеклопластиков-170...240°С, полисилоксановых композиций 300...400°С. Некоторые из пластиков могут выдерживать перегрев до 600...1000 °С.

Морозостойкость пластмассы - очень важное свойство. Пластмассы выдерживают низкие температуры без разрушения, хотя величины относительного удлинения, ударной вязкости существенно уменьшаются. Наиболее морозостойкости из пластмасс - политетрафторэтилен и фторхлоропроизводные этилены (до -100 °С); наименее морозостоек - поливинилхлорид.

Водостойкость пластмасс. При водо- и влагопоглощении (или потере влаги) возникают внутренние напряжения, приводящие к короблению или растрескиванию. Наиболее водостойки - полиэтилен, политетрафторэтилен, полистирол и др.; наименее водостойки – древесно-слоистые пластики на основе фенольных смол, а также пластмассы на основе поливинилового спирта и аминокформальдегидных смол.

Пластмассы (кроме полиэтилена и полиизобутилена) масло - и бензостойки и могут успешно работать в этих средах.

Пластмассы отличаются хорошими технологическими свойствами, что снижает трудоемкость и стоимость изготовления изделий.

Механические свойства. Механические свойства пластмасс в значительной степени зависят от сочетания, количества и ориентации наполнителей. Механические свойства ненаполненных смол зависят от ориентации молекулярной структуры.

Предел прочности при растяжении. Наиболее высокий предел прочности при растяжении ненаполненных смол у поликапролактама и полиуретана - 50...90 МПа. Введение порошкообразных и волокнистых наполнителей не влияет на предел прочности при растяжении.

Наиболее прочными на разрыв являются слоистые пластики (особенно древесно-слоистые и стеклотекстолиты), у которых предел прочности (по основе) составляет 250...300 МПа, а у однонаправленных стеклопластиков достигает 700...800 МПа.

Предел прочности пластмасс при сжатии, как правило, выше, чем при растяжении. Так, у ненаполненных смол, композиционных пластиков, а также текстолитов и гетинакса предел прочности при сжатии в 2-4 раза больше, чем при растяжении. Пределы прочности при сжатии и растяжении у стеклопластиков почти одинаковы, а у древесно-слоистых пластиков предел прочности при сжатии меньше, чем при растяжении.

Предел прочности при статическом изгибе чистых смол и композиционных пластмасс (кроме винипласта и некоторых других), как и при растяжении, примерно одинаков - 40...80 МПа. Наибольшим пределом прочности при изгибе обладают стеклотекстолиты и древесно-слоистые пластики.

К основным недостаткам конституционных пластмасс относятся:

сравнительно низкая теплостойкость, вследствие которой максимальная температура для изделий из пластмасс ограничена - 60...250 °С (для отдельных пластмасс достигает 350 °С);

низкая теплопроводность, которая у большинства пластмасс в 100...150 раз ниже, чем у стали;

низкий модуль упругости; даже у наиболее жестких стеклопластиков модуль упругости в 5-6 раз меньше, чем у стали;

склонность к старению многих видов пластмасс под влиянием различных физико-механических воздействий (температуры, давления и т. д.); старение, связанное с химическими реакциями, медленно протекающими в полимерах, называется деструкцией.

1.2. Классификация и важнейшие виды пластмасс

По происхождению полимерного связующего вещества пластмассы различают природные и синтетические. Наибольшее применение в машиностроении получили пластмассы синтетического происхождения.

Известно, что пластмассы бывают с порошкообразными, слоистыми и волокнистыми наполнителями, а также без наполнителей.

Пластмассы с порошкообразными наполнителями или без них называют по роду связующего вещества с добавлением окончания «пласт», например: фенопласты - пластмассы на основе фенолоформальдегидных смол.

Пластмассы со слоистыми наполнителями, физико-механические свойства которых определяются свойствами наполнителя, называют по роду наполнителя, например: текстолиты - пластмассы с текстильным наполнителем из хлопчатобумажной или льняной ткани; асботекстолиты - с текстильным наполнителем из асбестовой ткани и т. д.

Пластмассы с волокнистыми наполнителями называют также по роду наполнителя, например: волокниты - пластмассы с наполнителем из волокна органического происхождения (хлопкового, льняного и др.); стекловолокниты - с наполнителем из стеклянного волокна и т.п.

По физико-механическим свойствам при обычной температуре пластмассы подразделяются на:

жесткие, являющиеся твердыми упругими веществами с высоким модулем упругости и малым удлинением при разрыве, сохраняющие форму при внешних напряжениях в условиях обычных или повышенных температур;

полужесткие, являющиеся твердыми упругими веществами со средним модулем упругости, высоким относительным и остаточным удлинением при разрыве;

мягкие, являющиеся мягкими и эластичными веществами с низким модулем упругости, высоким относительным удлинением и малым остаточным удлинением;

мягкие и эластичные, являющиеся мягкими и эластичными веществами с низким модулем упругости, поддающиеся значительным обратным деформациям при растяжении - пластикаты (листы, ленты).

Пластмассы с наполнителями или без наполнителей выпускают в виде пресс-порошков (для прессования), литевых масс (для литья), листовых материалов (для механической обработки, гнутья, штамповки и выдавливания), тонких пленок толщиной до 0,5 мм.

Пластмассы с пористой и ячеистой структурой (газонаполненные) подразделяются на пенопласты и поропласты.

В зависимости от назначения различают пластмассы конструкционные, фрикционные, антифрикционные, специальные, химически стойкие, электроизоляционные, прозрачные, тепло- и звукоизоляционные, уплотнительные (прокладочные) и декоративные.

В зависимости от поведения полимеров при нагревании пластмассы подразделяют на термопластичные (термопласты) и термореактивные (реактопласты).

Термопластичные пластмассы. Термопластами называются пластмассы, не претерпевающие в процессе формования химических

изменении и сохраняющие способность к пластическому деформированию при повторном нагреве. Эта способность теряется частично или полностью только после длительного термического воздействия. К термопластам относятся полиэтилен, полипропилен, фторопласты, полиамиды (капрон, нейлон и пр.), винилпласты и др.

Полиэтилен - твердый материал, белый в толстом слое, прозрачный и бесцветный в тонких слоях. Сырьем для получения полиэтилена служит газ этилен, который образуется из газов крекинга нефтепродуктов, из коксовых газов. Полиэтилен обладает рядом ценных свойств. Он влаго- и газонепроницаем, не набухает в воде, эластичен в широком интервале температур, устойчив к действию кислот и щелочей, обладает очень хорошими диэлектрическими свойствами.

Плотность полиэтилена 920...960 кг/м³. Эластичность его сохраняется до -70 °С. Из полиэтилена изготавливают трубы для холодной и нагретой до 50°С воды, а также трубопроводы для растворов солей, кислот и щелочей. Важным достоинством полиэтиленовых труб является их легкость, кроме того, они удобны в эксплуатации, так как их можно наматывать на большие катушки. При замерзании они не разрываются, а лишь незначительно деформируются.

Из полиэтилена выполняют также защитные кожухи, вентили, задвижки, уплотнения, малонагруженные ролики и шестерни. Примерно 1/3 всего полиэтилена перерабатывают в пленку.

Ввиду недостаточной прочности полиэтилена для изготовления деталей машин он применяется ограничено.

Основной недостаток полиэтилена - его невысокая теплостойкость. Изделия из полиэтилена рекомендуется использовать при температурах до 60...80°С. Другой его недостаток - склонность к старению под действием атмосферных условий. Этот недостаток устраняется введением в полимер сажи или других стабилизаторов.

Полиэтилен в зависимости от назначения подразделяется на следующие виды: для контакта с пищевыми продуктами, для изготовления игрушек, не контактирующих с полостью рта; для изготовления труб и фиттингов, допущенных для холодного хозяйственно - питьевого водоснабжения; для изготовления изделий медицинского назначения, узлов и деталей медицинской аппаратуры, приборов и инструментов; для изготовления изделий, допущенных для упаковки и укупорки лекарственных средств; для контакта с тканями организма, в том числе для внутреннего протезирования; для емкостей машин химической защиты растений, для парников, теплиц, облицовки водоемов и т. п.

Полиэтилен можно применять только для контакта с сухими и сыпучими пищевыми продуктами и изделиями разового пользования, для затаривания жидких пищевых продуктов при температуре не выше 20°C в течение 24 ч.

Полиэтилен может перерабатываться различными методами: прессованием - для изготовления листов, плит фиттингов; экструзией - для напорных труб, профильно-погонажных изделий, для покрытия бумаги, ткани и т. п.; плоскощелевой экструзией - для пленки; литьем - для мало- и крупногабаритных изделий толщиной стенок от 3 мм и более; выдуванием - для формования выдувных изделий вместимостью от двух до 50 л; напылением - для покрытия различных изделий для защиты от коррозии, электрического тока и т. п. В зависимости от вводимого пигмента может быть получен полиэтилен любого цвета.

Полипропилен получают методом полимеризации пропилена в присутствии специальных катализаторов. По внешнему виду полипропилен - белый порошок. По химической стойкости он аналогичен полиэтилену, а по прочности и теплостойкости превосходит его. Полипропилен применяют для изготовления труб, деталей центробежных насосов и химической

аппаратуры, медицинских инструментов и т. п. Полипропилен выдерживает действие воды и других жидкостей, нагретых до температуры 150 °С. Однако морозостойкость его почти в 2 раза меньше, чем у полиэтилена (-35 °С).

Поливинилхлорид - это порошок белого или желтого цвета. Получают его в результате полимеризации хлористого винила, исходными продуктами для которого служат этилен и ацетилен.

К достоинствам поливинилхлоридных пластиков относятся высокая химическая устойчивость и негорючесть; к недостаткам - низкая термическая и световая стабильность, поэтому во все поливинилхлоридные материалы добавляют стабилизаторы.

Отечественная промышленность производит пластические массы на основе непластифицированного (винипласта) и пластифицированного (пластиката) поливинилхлорида.

Винипласт - это красно-коричневый непрозрачный твердый материал. Он водостоек, нерастворим в бензине, масле, керосине и устойчив к действию кислот, щелочей и окислителей. Плотность винипласта 1400 кг/м³, он в 8 раз легче свинца, вместо которого часто применяется. Винипласт обладает сравнительно высокими механическими свойствами. Диэлектрические свойства его ниже, чем полиэтилена.

Пластикат получают путем введения в состав поливинилхлорида пластификаторов. Прочность пластиката значительно ниже прочности винипласта. Пластикат используют в качестве защитных и электроизоляционных покрытий на кабелях и проводах, для изготовления шлангов, транспортерных лент и т. п. Листовой пластикат служит для производства подошв, линолеума и других бытовых изделий. Пластикат применяют также при изготовлении искусственной кожи для обшивки сидений в кабинах автомобилей, тракторов, комбайнов и другой самоходной техники. Кроме того, поливинилхлорид используют в качестве изоляции и

оболочки проводов и кабелей, изготавливают трубопроводы, футеруют химическое оборудование, изготавливают детали общемашиностроительного применения.

Фторопласты применяют в качестве электроизоляционного материала, особенно в технике высоких и ультравысоких частот, а также для изготовления деталей, стойких к действию сильных агрессивных сред (вентилей, кранов, манжет, прокладок, контейнеров, аккумуляторов и др.), подшипников скольжения, уплотнений, электроизоляционных деталей, панелей, щитков, корпусов приборов.

Применяют сравнительно широко два вида: фторопласт-4 и фторопласт-3.

Фторопласт-4 представляет собой волокнистый тонкоизмельченный белый материал. Он отличается наивысшей инертностью из всех известных полимерных материалов: на него действуют только растворы и расплавы щелочных металлов и газообразный фтор повышенных давлениях. Он не растворяется ни в одном из известных растворителей ни на холоде, ни при нагревании. Высокая морозо- и теплостойкость является также ценным его свойством. Фторопласт-4 размягчается лишь при нагревании выше 400 °С и может эксплуатироваться в интервале температур 195...250 °С.

Фторопласт-4 - это наилучший высокочастотный диэлектрик. Он обладает также низким коэффициентом трения, что позволяет широко использовать его в качестве конструкционного материала для подшипников скольжения.

К числу недостатков фторопласта-4 следует отнести неспособность перерабатываться методами, принятыми для пластических масс.

В зависимости от свойств и назначения фторопласт-4 выпускают следующих марок: С - для изготовления специзделий;

П - для изготовления электроизоляционной и конденсаторной пленок;

ПН - для изготовления электротехнических изделий других изделий с повышенной надежностью;

О - для изготовления изделий общего назначения;

Т - для изготовления толстостенных изделий и трубопроводов.

Основное преимущество фторопласта-3 по сравнению с фторопластом-4 - способность перерабатываться обычными для пластмасс методами, а также несколько большая прочность. Он обладает почти такой же химической стойкостью, однако температуры его эксплуатации не должны превышать 70...100 °С в зависимости нагрузки.

Полиамиды. Существует несколько видов полиамидов, из которых наибольшее применение в сельскохозяйственной технике получил капрон как относительно дешевый и наименее дефицитный материал.

Отличительные особенности полиамидов - сравнительно высокая прочность на растяжение, высокая удельная ударная вязкость, низкий коэффициент трения. Установлено, что износостойкость капрона в несколько раз выше, чем стали, чугуна и некоторых цветных металлов, причем наилучшими антифрикционными свойствами обладает капрон с добавлением 3...5% графита.

Ввиду низкой теплопроводности капрона (в 250-300 раз меньше, чем у металлов) при конструировании подшипников скольжения необходимо принимать меры для обеспечения хорошего теплоотвода.

Капрон обладает вполне удовлетворительной химической стойкостью. Очень разбавленные кислоты при обычных температурах не влияют на него, но при действии концентрированных кислот он разрушается. Капрон отличается стойкостью к щелочам, а также к большинству растворителей (бензину, спирту, бензолу и др.).

Для изготовления деталей из капрона и других полиамидов наиболее широко используют метод литья под давлением. Капрон хорошо

обрабатывается резанием, склеивается, сваривается и окрашивается. Из него выполняют детали антифрикционного назначения и другие малонагруженные детали (подшипники, крышки, корпуса, трубопроводную арматуру, маховики, прокладки, шайбы, пальцы, штыри и т. п. (рис. 6. 2, а, б).

Поликарбонаты представляют собой новые термопластичные полимеры, получаемые из фосгена, фенола и ацетона. Плотность поликарбоната - 1200 кг/м^3 . Ценные свойства этого материала - высокий предел прочности при сжатии и растяжении, высокая ударная вязкость (до 4000 Дж/м^2), малое изменение свойств при изменении температуры. Он устойчив к действию воды минеральным органическим кислотам и малоустойчив к действию щелочей.

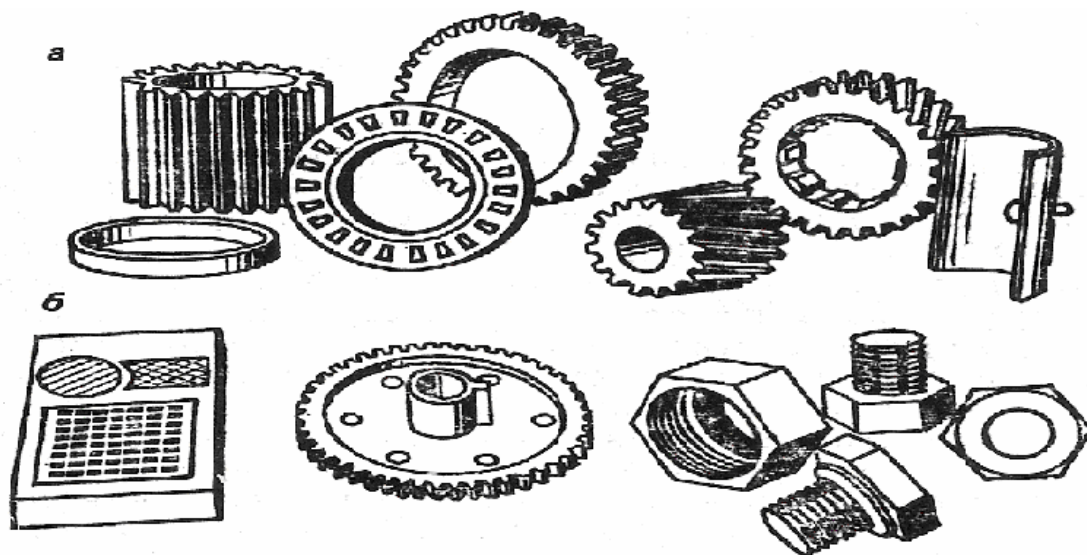


Рис. 6.2. Образцы деталей: а - из полиамидов; б - из поликарбонатов.

Недостатком поликарбоната является сравнительно высокая вязкость расплава, что требует довольно жестких условий его переработки.

Поликарбонаты - весьма перспективные конструкционные пластмассы. Их можно использовать для изготовления подшипников скольжения, труб, шестерен, болтов, гаек, гвоздей, шурупов, зубчатых и червячных колес, роликов и катков, арматуры, оптических деталей, деталей электрооборудования тракторов и автомобилей.

Полиформальдегид характеризуется высокой прочностью, сравнительно высокой теплостойкостью, малым коэффициентом трения по стали. Влажность воздуха практически не оказывает влияния на механические свойства этого полимера, он устойчив также к действию большинства растворителей. Полиформальдегид один из немногих материалов, у которого сочетаются высокие физико-механические и диэлектрические свойства. По своим свойствам он несколько напоминает капрон, превосходя его по ряду показателей. Изделия из полиформальдегида могут длительно работать при температуре до 80 °С и кратковременно - при 120 °С.

Недостаток его - невысокая стойкость к действию кислот и щелочей.

Полиформальдегид используют вместо цветных металлов и сплавов для изготовления подшипников скольжения, клапанов, шестерен, трубопроводной арматуры, труб, а также пленок и листов, деталей приборов точной механики, пружин, болтов.

Пентапласты - это химически стойкие материалы, синтезированные на основе полимера пентона. Наиболее ценные свойства пентапласта - высокая химическая стойкость, высокая устойчивость к действию теплоты и атмосферных условий. Детали из этого полимера могут длительное время работать при температурах до 150 °С, не теряя стабильности размеров.

Пентапласты целесообразно использовать для изготовления труб, арматуры, клапанов, деталей насосов пленок и других изделий, работающих в агрессивных средах при любой температуре, а также для шестерен, подшипников и подобных деталей, требующих высокой точности размеров и формы.

Терморезистивные пластмассы. Реактопластами называются пластмассы, претерпевающие при формовании в условиях нагрева и давления существенные химические изменения и теряющие в результате

этого способность к пластическому деформированию при повторном нагреве. К таким пластмассам относятся фенопласты, аминопласты и др.

Фенопласты - это пластические массы, изготавливаемые на основе фенолоформальдегидных смол. Такие смолы получают в процессе поликонденсации фенола (карболовой кислоты) и формальдегида. В зависимости от соотношения фенола и формальдегида и условий переработки образуются термопластичные или терморезистивные вещества с различными свойствами. Например, при избытке фенола и кислотном катализаторе (соляная кислота) получается термопластичная смола новолачного типа (новолак). При равном количестве фенола и формальдегида и при щелочном катализаторе (аммиак и др.) образуется терморезистивная смола резольного типа - бакелит.

Бакелитовая смола обладает способностью изменять свое строение и свойства в результате нагревания, поэтому различают три разновидности бакелитовой смолы - бакелит А, Б и С. Бакелит А растворим в ацетоне, спиртах и едких щелочах, он плавится при 50...60⁰С, а при 80⁰С у него изменяется строение молекул, и он превращается в неплавкую массу - резитол, или бакелит В. Бакелит этого вида в растворителях только набухает. При нагревании до температуры 140⁰С он превращается в неплавкую стекловидную массу - резит, или бакелит С. Резит стоек к действию бензина, растворителей, кислот. Разрушают его лишь крепкие щелочи и азотная кислота. При 300⁰С бакелит С обугливается.

Фенопласты получили широкое распространение благодаря простоте и дешевизне получения сырья и его переработки, а также возможности изготовления из этих материалов сложных изделий. Они отличаются относительно высокой прочностью, стойкостью к кислотам, щелочам и органическим растворителям, а также наличием диэлектрических свойств.

Термореактивные прессовочные фенольные массы предназначаются для производства армированных и неармированных изделий технического назначения, к которым предъявляют повышенные требования по механической прочности; электроизоляционных деталей, работающих в условиях повышенных температур, влажности, напряжений и токов высокой частоты; изделий слаботочной и радиотехнической аппаратуры, деталей автотракторного электрооборудования; изделий с повышенной влагохимстойкостью; электроустановочных изделий с повышенными требованиями по водо- и теплостойкости и для других целей.

В зависимости от состава, свойств и назначения фенопласты делятся на типы, группы и марки, предусмотренные стандартом. Промышленность выпускает фенопласты шести типов (общего назначения - О, специальный без аммиачный - С, электроизоляционный - Э, влагохимстойкий - В, ударопрочный - У, жаростойкий - Ж) и 38 групп.

Обозначение марки фенопласта состоит из названия материала «фенопласт», обозначения типа группы, смолы, наполнителя и цвета (при необходимости) в соответствии с общесоюзным классификатором промышленной продукции (ОКП), например фенопласт Ж1-01-040 черный:

Ж1 - тип - для электротехнических деталей, работающих при повышенных температурах; 01 - группа - для ненагруженных деталей;

040 - марка смолы и наполнителя; черный - цвет.

Слоистые пластмассы получают путем пропитывания раствором смолы ткани, бумаги или древесного шпона. Например, *текстолит* изготавливают путем пропитывания фенолформальдегидной смолой хлопчатобумажной или синтетической ткани. Для повышения теплопроводности антифрикционных свойств текстолита к нему добавляют графит.

Пропитанная и высушенная ткань прессуется в плиты толщиной от 0,5 до 50 мм, из которых при помощи механической обработки изготавливают

различные изделия: вкладыши подшипников скольжения, зубчатые шестерни, кислотостойкие трубы и др.

Текстолит на основе капронового или нейлонового наполнителя отличается очень малым водопоглощением и незначительными диэлектрическими потерями.

Асботекстолит - это пластик, в котором наполнителем является асбестовая ткань. Он устойчив к резким колебаниям температуры и влажности, бензо- и керосиностоек, отличается высокими фрикционными, электроизоляционными и теплоизоляционными свойствами. Из асботекстолита делают тормозные колодки, ленты, диски сцепления. Однако высокая стоимость длиноволокнистого асбеста, используемого для изготовления асбестовых тканей, ограничивает применение асботекстолита.

В зависимости от свойств применяемой ткани и назначения установлены следующие марки текстолита и асботекстолита.

Поделочный конструкционный текстолит ПТК - для изготовления шестерен, червячных колес, втулок, подшипников скольжения, роликов, колец и других изделий конструкционного назначения.

Поделочный текстолит ПТ - для производства тех же деталей, для которых предназначена марка ПТК, но работающих при более низких нагрузках, а также панелей, прокладок для амортизационных и других изделий технического назначения.

Асботекстолит А, Б, Г - для изготовления тормозных и иных фрикционных устройств, прокладок, деталей механического сцепления, а также его применяют как теплоизоляционный материал.

Гетинакс представляет собой бумагу, пропитанную фенолоформальдегидной смолой, толщиной от 0,2 до 50 мм. Гетинакс превосходит текстолит по электроизоляционным свойствам, особенно при работе изделий в условиях повышенной или высокой влажности. Из

гетинакса выполняют изделия, которые должны иметь повышенные диэлектрические характеристики, например панели, изолирующие шайбы, прокладки и т. п.

Древесно-слоистые пластики (ДСП) получают путем пропитывания древесного шпона фенолоформальдегидной смолой с последующим прессованием в плиты. Древесным шпоном называют очень тонкие листы древесины (0,5...1,2 мм). Древесно-слоистые пластики широко применяют в сельскохозяйственной технике для изготовления подшипников, втулок, шестерен и других деталей, не требующих высокой точности.

По сравнению с текстолитом ДСП имеет ряд преимуществ: более высокую прочность и износостойкость меньшую стоимость.

Шестерни, изготовленные из ДСП, выдерживают большие усилия, чем текстолитовые.

К недостаткам древесно-слоистых пластиков относятся высокое водопоглощение нестабильность размеров.

Стеклопластики - это сравнительно новые материалы, полученные на основе высокополимерных соединений со стеклянным наполнителем.

Выпускаемые в настоящее время стеклопластики можно разделить на следующие группы: стеклотекстолит, стекловолокнит и стекловолокнистый анизотропный материал (СВАМ).

Стеклотекстолит отличается от текстолита тем, что наполнителем в нем является электроизоляционная бесщелочная стеклянная ткань. Он обладает повышенной влагостойкостью и нагревостойкостью и лучшими электрическими и механическими характеристиками по сравнению с текстолитом и гетинаксом, но хуже обрабатывается. Стеклотекстолит изготавливают нескольких марок: СТ - на основе бесщелочных тканей со связующим - фенолоформальдегидной смолой, ЭТЭФ и СТЭФ-1 на смеси эпоксидной и кремнийорганической смол, СТК - на кремнийорганическом связующем. Стеклотекстолит выпускают толщиной от 0,5 до 30 мм в листах.

Из конструкционных стеклотекстолитов изготавливают кузова автомобилей, кожухи для ограждения вращающихся деталей станков, механизмов оборудования животноводческих ферм, некоторые детали двигателей внутреннего сгорания, поддоны, воздухопроводы, крупногабаритные емкости для машин химической защиты растений и т. п.

Стекловолокниты – термореактивные волокнистые пластмассы, у которых наполнителем служит стеклянное волокно.

Большее распространение нашел стекловолокнит АГ-4, подразделяющийся на марки В и С. Принципиальное различие этих марок заключается в том, что у стекловолокнита АГ-4С наполнителем являются непрерывные стеклянные нити, а у АГ-4В - рубленые. Поэтому стекловолокнит АГ-4С - анизотропный однонаправленный материал (в направлении волокон). Он обладает более высокими механическими свойствами, чем АГ-4В.

Из стекловолокнита изготавливают рычаги, рукоятки, крышки, корпуса различных механизмов и т. п.

Изделия из этого материала могут длительно работать при температурах 175...200⁰С и кратковременно при 250⁰С, а изделия одноразового использования могут работать в течение 10...15⁰С при температурах до 2000⁰С.

Стекловолокнистый анизотропный материал (СВАМ) имеет наполнителем тонкое стекловолокно, не подвергнутое текстильной обработке, поэтому он обладает высокой прочностью. Тонкие стеклянные волокна укладывают один параллельно другому в одном направлении и одновременно наносят на них связующие вещества. Таким образом, получают стеклошпон. Затем путем горячего прессования получают высокопрочный листовой стеклопластик.

Свойства СВМ зависят от направления стекловолокон, поэтому благодаря соответствующей укладке листов стеклошпона перед прессованием получают материал с заданными механическими свойствами.

СВМ - самая высокопрочная пластмасса, она обладает высокой удельной прочностью, превосходящей удельную прочность всех других стеклопластиков, а также алюминия и стали многих марок.

Газонаполненные пластические массы. К газонаполненным пластмассам относятся легкие пластмассы – *пенопласты и поропласты*. Они состоят из мельчайших ячеек или пор, отделенных друг от друга тонкой пленкой смолы.

Материалы, состоящие из замкнутых, несообщающихся ячеек, называются пенопластами, а материалы, в которых преобладают сообщающиеся между собой поры, называются поропластами. Четкой границы между пенопластами и поропластами нет. У большинства материалов имеются как замкнутые ячейки, так и сообщающиеся поры.

В тех случаях, когда от материала требуются высокие электроизоляционные свойства и водонепроницаемость, следует применять пенопласты; если же на первый план выступают требования звукоизоляции, предпочтительнее использовать поропласты.

В зависимости от технологии получения газонасыщенные пластмассы могут быть жесткими, полужесткими и эластичными. У эластичных материалов больше открытых пор, чем у жестких.

Пено- и поропласты получают путем насыщения расплавленной смолы газами под давлением, при этом происходит вспенивание полимера. В пенопластах 90...95% объема занимают газы.

Теоретически можно вспенивать любые полимеры. На практике наиболее освоено получение пенопластов: пенополиуретанов, пенополистиролов, пенофенолов и пеноэпоксидов.

1.3. Основные способы переработки пластмасс

В настоящее время существует много различных способов получения деталей из пластмасс. Выбор того или иного способа зависит от свойств исходных материалов и требований, предъявляемых к готовым изделиям. Рассмотрим некоторые наиболее распространенные способы изготовления изделий из пластмасс.

Литье под давлением. Для литья под давлением используют специальные литьевые машины. Полимерный материал 3 (рис. 6.3) в виде гранул предварительно размягчается в специальном нагревательном цилиндре 2 машины до состояния текучести, после чего вталкивается поршнем 4 в оформляющую полость 1 (пресс-форму) литьевой машины.

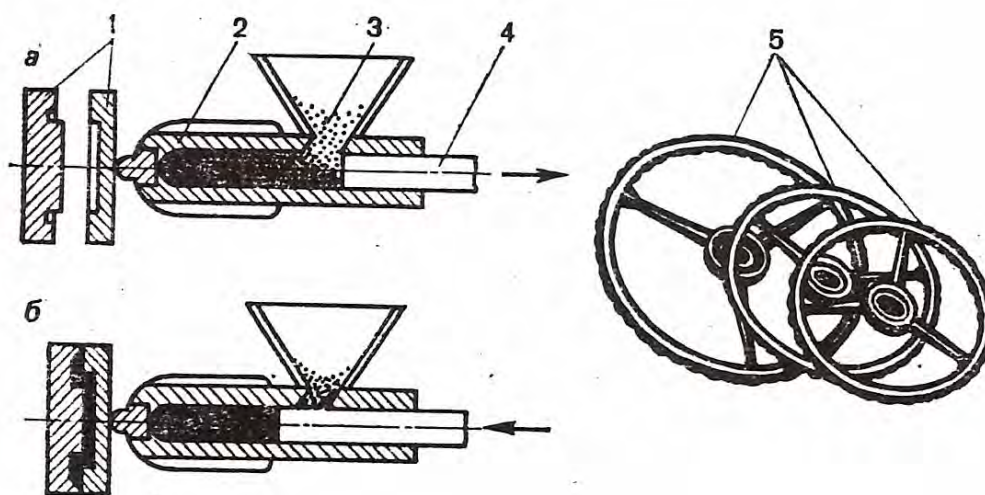


Рис. 1.3. Схема работы литьевой машины: а - разогрев полимер; б - формование; 1 – пресс-форма; 2 - нагревательный цилиндр; 3 – полимер; 4 – поршень; 5 - рулевые колеса.

Остывая под определенным давлением, полимер приобретает конфигурацию изделия. Поскольку усадка полимера при остывании в 9-10 раз превышает усадку металла формы, изделие легко из нее извлекается.

Литье под давлением является высокопроизводительным и экономичным способом. Все операции максимально автоматизированы и управляются специальными реле времени, при помощи которых регулируют время приложения давления, выдержку изделия в форме при охлаждении и продолжительность всего цикла литья. Для литья под давлением применяют механические, пневматические, гидравлические, полуавтоматические и автоматические литьевые машины. Способом литья под давлением из термопластичных пластмасс получают изделия сложной конфигурации, с разной толщиной стенок, с ребрами жесткости, резьбами и т. п.

Этот способ используют и для получения деталей из терморезистивных пластмасс, но с применением специальных литьевых машин, в которых предусмотрены устройства, исключающие преждевременное затвердевание материала в литниковой системе до заполнения формы.

Экструзия. Для получения труб, лент, различных профилей, нанесения защитных оболочек на провода и т. п. применяют метод экструзии, который представляет собой непрерывное выдавливание полимерного материала в вязкотекучем состоянии через отверстие определенного профиля. Непрерывное выдавливание проводят на специальных машинах - экструдерах. Экструдер (рис.1.4) состоит из бункера 4 для исходного материала, обогреваемого рабочего цилиндра 5, в котором находится шнек 6, обеспечивающий необходим давление экструзии, формующего сопла 2 с отверстием нужного профиля, устройства для охлаждения полученного изделия и комплектующего оборудования для приема изделий. Выдавливание полимерных материалов через отверстие головки может осуществлять винтами-шнеками или червяками, поршнем, вращающимися дисками.

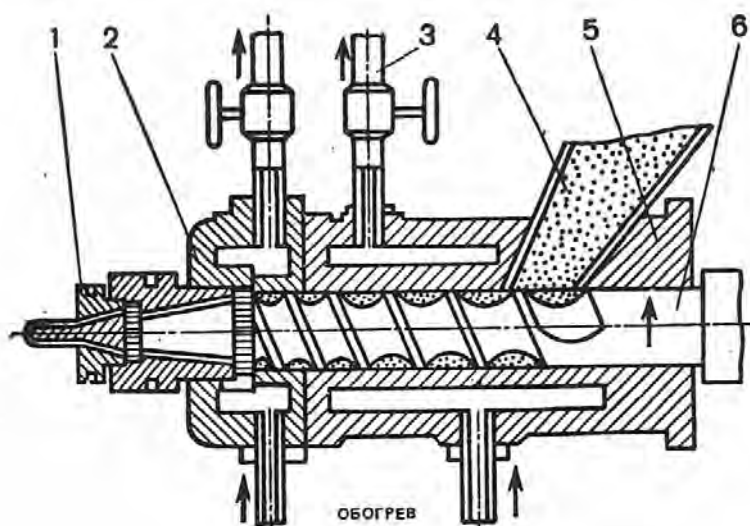


Рис.1.4. Схема экструдера: 1 - мундштук; 2 - сопло; 3 - труба для горячей воды или пара; 4 - бункер; 5 - рабочий цилиндр; 6 - шнек.

На рис.1.4 показана схема устройства одношнекового экструдера. Для получения труб или защит покрытий кабеля через мундштук головки пропускают оправку или проволоку диаметром, равным внутреннему диаметру получаемой трубы.

Компрессионное прессование. Сущность данного метода заключается в том, что исходный материал в виде порошка, гранул, таблеток, крошки или волокнистой массы загружается в пресс-форму и при повышенной температуре подвергается сдавливанию пуансоном 1 (рис. 1.5).

Необходимая форма поверхности детали задается соответствующими формами пуансона и матрицы б. Температура прессования для реактопластов колеблется от 140 до 200 °С, а для термопластов - 120...180 °С. Пресс-материалы нагревают перед загрузкой или непосредственно в пресс-формах.

Если изделия должны иметь металлические элементы, то их устанавливают в пресс-форму до загрузки пресс-материалов. Для удаления из пресс-материала летучих веществ и влаги сразу же после смыкания пресс-формы поднимают пуансон на 2...4 с. Это повторяют 2-3 раза, после чего

пресс-материал окончательно сдавливают и выдерживают определенное время под давлением. Давление при прессовании зависит от текучести полимерного материала.

Для прессования изделий из порошкообразного, таблетированного или гранулированного материала обычно применяют давление 20...30 МПа, для слоистых пластмасс, плит, листов-2...5 МПа. После выдержки давление снимают и изделие извлекают из пресс-формы при помощи выталкивателя 7.

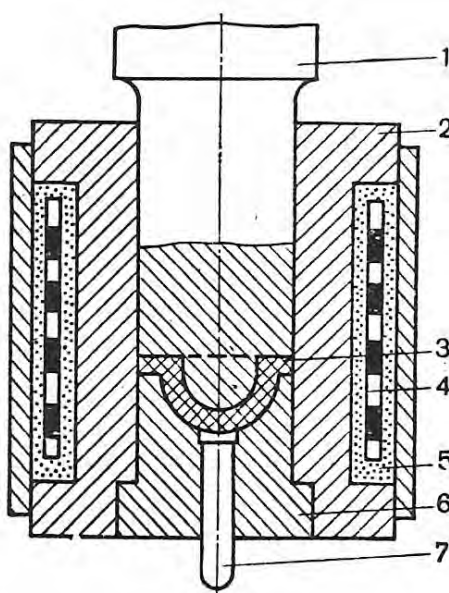


Рис. 1.5. Пресс-форма для компрессионного прессования: 1 - пуансон; 2 – обойма; 3 - деталь; 4 – нагревательный элемент; 5 - рабочий изоляция; 6 – матрица; 7- выталкиватель.

Компрессионное прессование применяют для производства деталей простой конфигурации из терморезистивных и термопластичных материалов.

Многие детали из пластмасс изготавливают с металлической арматурой в виде гаек, винтов, втулок, колец, штырей, что улучшает качество как изделия в целом, так и создает удобства сборки и монтажа агрегатов. Металлические детали устанавливают в заданном положении и закрепляют в пресс-форме перед прессованием пластмассы. Надежное закрепление

арматуры в изделии обеспечивается накаткой и кольцевыми выточками в штифтах и втулках, расплющиванием или загибанием проволоки, боковыми вырезами или отверстиями в плоской лепестковой арматуре.

Пневматическое и вакуумное формование. Этими способами получают детали пространственной формы из листовых термопластов. Формуют детали в нагретом состоянии в штампах. Полученное изделие охлаждается без снятия внешнего усилия. При дутьевом формовании предварительно нагретый до высокоэластичного состояния лист термопласта под действием сжатого воздуха деформируется и прижимается к формообразующим поверхностям матрицы, приобретая их форму. Этот метод применяется для изготовления крупногабаритных тонкостенных пластмассовых изделий сложного профиля.

Различают пневматическое формование свободное (рис. 1.6а) и направленное (рис. 1.6б). При свободном формовании деформация материала происходит только за счет давления сжатого воздуха. При направленном формовании предварительная вытяжка осуществляется пуансоном, через который для окончательного формования изделия подается сжатый воздух.

Контактный способ. Применяют для изготовления крупногабаритных изделий сложной формы. Он заключается в следующем из дерева, гипса, цемента или другого материала делают макет или форму детали. На поверхность формы натягивают ткань или укладывают стеклонеполнитель, которые при помощи пульверизатора пропитывают смолой. Затем пропитанный материал уплотняют ручными роликами. На полученный слой накладывают следующий слой и снова его уплотняют. Эту операцию повторяют несколько раз до получения изделия требуемой толщины. По истечении суток после пропитки последнего слоя пластмасса приобретает достаточную твердость.

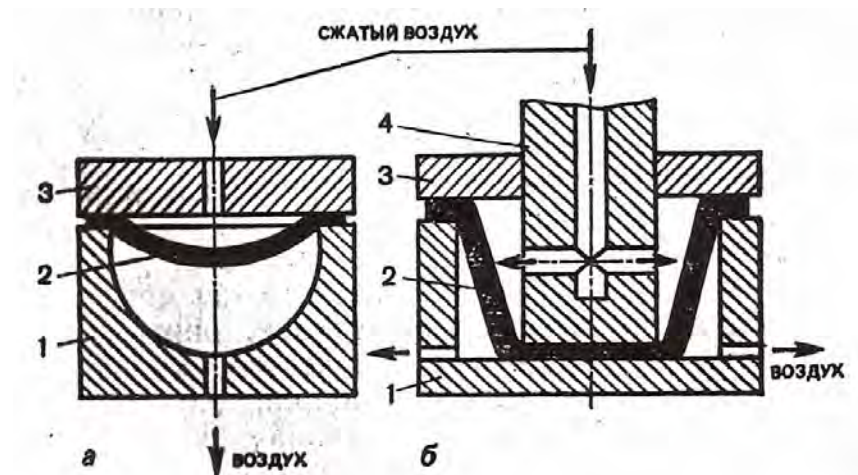


Рис. 1.6. Схемы пневматического формования:

а - свободное; б - направленное; 1 - матрица; 2 - изделие в процессе формования; 3 - верхняя плита; 4 - пуансон.

Недостатки контактного способа - значительные затраты ручного труда, а также неоднородность получаемого изделия.

С целью механизации процесса изготовления крупногабаритных изделий из стеклопластика применяют машину, которая пневматически наносит стекловолокно на форму и одновременно пропитывает его смолой. В машине имеются устройство для нарезания стекловолокна, вентилятор и пистолет для подачи волокна и смолы на форму. Напыленный стеклопластик прикатывается роликом.

Кроме описанных, существуют и другие способы изготовления изделий из пластмасс. Например, для получения теплоизоляционных материалов применяют методы вспенивания и порообразования.

1.4. Резина и резиноподобные материалы

Резина - важный конструкционный материал для производства технических изделий во многих отраслях народного хозяйства. Она является продуктом химического превращения (вулканизации) каучуков. Каучуки, взаимодействуя с определенными вулканизирующими веществами,

претерпевают внутренние химические изменения, в результате чего образуется новый продукт - резина. Исходный материал для получения резины - резиновая смесь. Ее основу составляет каучук, содержание которого колеблется в различных изделиях от 5 до 95%.

Свойства резины зависят прежде всего от свойств ее основы - каучука. Каучуки по своему происхождению разделяются на натуральные (или естественные) и синтетические (или искусственные).

Натуральный каучук получают из млечного сока (латекса) каучукогенных растений. На языке индейцев «кау» - дерево и «учу» - плакать, течь. Это природный полимер, обладающий при обычных температурах высокоэластичными свойствами. Важнейшие типы - рифленый смокед-шит (продукт светло-янтарного цвета) и светлый креп (продукт светло-кремового цвета) .

Синтетический каучук - вещество, по свойствам близкое к натуральному. Его получают путем синтеза органических веществ. Промышленные виды синтетического каучука, которых насчитывается несколько десятков, различаются между собой как по исходному сырью и способам производства, так и по составу и физико-механическим свойствам. Производство синтетического каучука складывается из двух основных процессов: получения каучукогенов (бутадиен, стирол, хлоропрен, акрилонитрил, изобутилен и др.) и их полимеризации в каучукоподобный продукт. Сырьем для получения каучукогенов являются нефтепродукты, природный газ, ацетилен, древесина и др.

Синтетические каучуки представляют собой высокомолекулярные вещества, обладающие свойствами, подобными естественным каучукам, и способные вулканизироваться. Рассмотрим наиболее распространенные синтетические каучуки.

Хлоропреновый каучук (наирит) представляет собой продукт полимеризации хлоропрена. По атмосферной и химической стойкости, а также по устойчивости к температурным воздействиям превосходит натуральный каучук. Хлоропреновый каучук имеет низкие диэлектрические свойства и обладает способностью вызывать коррозию металла.

Натрий-бутадиеновый каучук, или СК-Б - продукт полимеризации бутадиена - изготавливается из этилового спирта. Резины, изготовленные на основе СК-Б, отличаются от других повышенными прочностными свойствами и удовлетворительной морозостойкостью. Предел прочности при растяжении резины на основе натрийбутадиенового каучука - 18 МПа, удлинение – 600%.

Резина сохраняет все свои свойства при температуре до - 40 °С.

Бутадиен-стирольный каучук, или СК-С, характеризуется повышенной атмосферной стойкостью и механической прочностью. Его при меняют в производстве автомобильных покрышек, шин для колесных тракторов и сельскохозяйственных машин, а также для различных амортизаторов и т. д. Резины, получаемые на его основе, обладают хорошей механической прочностью. Предел прочности при растяжении - 12 МПа, удлинение - 550%. Рабочий интервал температур - от -40 до + 100 °С.

Бутадиен-крилонитрильный каучук отличается повышенной стойкостью в маслах, керосине и других нефтепродуктах и более высокой теплостойкостью, чем натрий-бутадиеновый каучук.

Силоксановый каучук является основой для производства теплостойкой резины, работающей в интервале температур от -60 до +250 °С.

В состав смеси для приготовления резины вводят вулканизирующие вещества, обладающие способностью при взаимодействии с каучуками вызывать в них химические изменения. К ним относятся сера, натрий, диазоминобензол и др.

Для вулканизации отформованные полуфабрикаты из сырой резиновой смеси нагревают до температуры 140 °С. При этом вулканизирующее вещество (чаще всего сера) вступает в соединение с каучуком и полуфабрикат, теряя пластичность, становится эластичным; формование может совмещаться с нагревом.

Свойства получаемой резины во многом зависят от количества вулканизирующих веществ (до 5 % от массы каучука). Увеличение содержания серы уменьшает эластичность резины. Если в составе смеси доля серы превысила 25 %, то получается твердая резина, или эбонит.

При производстве резины используют также ускорители вулканизации, наполнители, противостарители, размягчители и пластификаторы, красители и регенерат.

Ускорители вулканизации - химические вещества, вводимые в состав резиновых смесей в небольших количествах (0,5...5,0 %) с целью сокращения продолжительности вулканизации и снижения температуры этого процесса. К ускорителям относятся органические продукты дифенилгуанизации: кантакс, тиурам и некоторые минеральные вещества (свинцовый глет, окись цинка и др.).

Наполнители в составе смеси придают резине определенные свойства. Их делят на активные и неактивные. Активные (сажа, углекислый марганец и др.), количество которых в смеси достигает 45...60 %, способствуют повышению некоторых механических свойств резины (сопротивление растяжению, износостойкость и др.). Неактивные не оказывают существенного влияния на механические свойства резины, их вводят главным образом с целью ее удешевления.

Противостарители - вещества, предохраняющие резину от быстрого старения, то есть изменения физико-механических свойств с течением времени. В качестве их применяют органические соединения в количестве 3...5 % массы смеси. К противостарителям относятся ароматические амины, диамины - продукты конденсации аминов с альдегидоэфирами и т. д.

Размягчители и пластификаторы - вещества, которые облегчают смешение каучука с порошкообразными составляющими и придают резине мягкость, эластичность и морозостойкость. Это стеариновая и олеиновая кислоты, некоторые минеральные масла, парафин и т.п. В смеси их - 2...5 %.

Красители окрашивают резину в определенный цвет и в некоторых случаях замедляют старение. В качестве красителей применяют ультрамарин, охра и др.

Регенерат - пластичный продукт, который получают специальной обработкой бывшей в употреблении резины. Применение регенерата удешевляет производство резины и несколько повышает ее пластичность.

Основные свойства резины

Резина обладает совокупностью ценных свойств – высокой упругостью и способностью поглощать вибрации; она хорошо сопротивляется истиранию и многократному растяжению и изгибу. Резина газо- и водонепроницаема, стойка против воздействия масел, жидкого топлива и ряда других сред и является диэлектриком. Созданы электропроводная, магнитная, прозрачная и другие резины с новыми свойствами. Резина в готовом изделии находится в термостабильном состоянии; она нерастворима (но обладает свойствами набухать) и иногда непластична. Исходная же (невулканизированная) резиновая смесь обладает хорошей пластичностью, обеспечивающей возможность формообразования различных изделий.

Упругопрочностные свойства резины при растяжке характеризуются: условным пределом прочности - отношением силы, вызывающей разрыв образца, к его первоначальному сечению; относительным удлинением – отношением длины образца в момент разрыва к его первоначальной длине, условным напряжением при за), при заданном удлинении образца, а также величинами истинного напряжения при заданном удлинении и истинной прочностью.

Сопротивление резины истиранию выражается: истираемостью, то есть потерей объема резины, отнесен к работе трения; сопротивлением истиранию, выражаемым работой трения, отнесенной к потере объема резины и интенсивностью истирания, то есть потерей объема резины в единицу времени (1 мин).

Набухание резины при нахождении ее определенное время в какой-то жидкости характеризуется увеличением массы (или объема), отнесенной к исходной массе (или объему), и выражается в процентах.

Стойкость резины к воздействию жидких агрессивных сред при многократных деформациях растяжения характеризуется следующими показателями:

а) динамической ползучестью, %: $E_d = ((L' - L) / L) 100$,

где L' - длина образца к моменту разрыва или через 10 ч испытания, мм; L - длина образца в начальный момент приложения максимальной нагрузки (2, 3, 4 или 5 кгс), мм;

б) изменением массы, %: $A_m = ((m_1 - m_0) / m_0) 100$,

где m_1 - масса образца после испытания; m_0 - масса образца до испытания,

в) временем до разрыва образца, ч.

Эластичность резины - свойство ее упруго деформироваться без разрушения под действием силы и восстанавливаться после прекращения действия силы, то есть отношение возвращенной энергии к энергии, затраченной на деформацию образца при ударе, выраженное в %.

Старение резины - снижение ее свойств (прочности, эластичности, электрического сопротивления и др.) под воздействием эксплуатационных факторов (теплоты, холода, света, воздуха, кислорода, механического нагружения и др.).

Теплостойкость резины определяют по снижению предела прочности и относительного удлинения после действия на нее насыщенного пара и не менее чем двухчасового отдыха.

Коэффициент теплостойкости резины по сопротивлению разрыву после 6 ч воздействия насыщенного пара при температуре 143 ± 3 °С определяют не менее чем через 2 ч выдержки при нормальных условиях и вычисляют по формуле $K_T = A_T / A$, где A - условная прочность при разрыве до воздействия пара, МПа; A_T - условная прочность при разрыве после воздействия насыщенного пара, МПа.

Морозостойкость резины - способность ее сохранять эластичность и другие свойства при низких температурах. Морозостойкость определяют несколькими способами: 1) измерением деформаций образца при нормальной (комнатной) и минусовой температуре при одних и тех же величинах и условиях нагружения; 2) по эластическому восстановлению образца, сжатого при комнатной и выдержанного при пониженной температуре после снятия нагрузки; 3) растяжением образца до заданного удлинения при 23 °С и определением величины удлинения того же «отдохнувшего» образца при низкой температуре под воздействием того же груза.

Во всех случаях потом определяют коэффициент морозостойкости.

Светостойкость резины - стойкость к старению в климатических условиях при преимущественном воздействии солнечной радиации.

Атмосферостойкость резины - стойкость к старению и климатических условиях под воздействием температуры, влажности, воздуха и других факторов.

1.4.1. Основные способы переработки резины

К основным процессам резинового производства относятся: приготовление резиновых смесей, переработка их в полуфабрикат и изделия, вулканизация.

Приготовление резиновых смесей осуществляется следующим образом. Каучук нарезают на куски и пропускают через вальцы для придания ему

пластичности, а затем в специальных смесителях смешивают с порошкообразными составляющими. Полученная таким образом смесь, называется сырой резиной. Она представляет собой однородную пластичную массу, легко поддающуюся различным видам обработки.

Рассмотрим основные способы переработки сырой резины в полуфабрикаты и изделия.

Каландрирование. Этот процесс заключается в пропускании резиновой смеси между вращающимися гладкими валиками (каландрами), где она уплотняется и формуется. Перед поступлением в каландр смесь предварительно подогревают с целью повышения пластичности. Для нанесения резины на ткань применяют специальный четырехвалковый каландр. Каландрированная резина и прорезиненные ткани скатывают в рулон. Чтобы избежать слипания, их предварительно опудривают тальком или мелом. Полученный полуфабрикат поступает на дальнейшую переработку в изделия или на вулканизацию.

Непрерывное выдавливание применяют для изготовления трубок, стержней, автомобильных и велосипедных камер и других изделий. Процесс осуществляется на прессах червячного типа.

Прессование изделий в формах. Данным методом изготавливают автомобильные покрышки, уплотнительные прокладки, амортизаторы и другие изделия. Особенностью является то, что формование осуществляется под давлением в металлических формах, где резиновая смесь может одновременно вулканизироваться.

Прорезинивание ткани осуществляется путем пропитки тканей специальными составами резиновых клеев. Этим способом производят ткани технического назначения и резинотканевые заменители кожи.

Вулканизация - завершающая операция при изготовлении резиновых изделий. Заключается она в том, что изделие или покрытие из резиновой

смеси, в которой имеются вулканизирующие вещества, подвергают обработке в гидропрессах при температуре 140...150°C и давлении 0,25...0,75 МПа с выдержкой от 2 до 40 мин. В процессе вулканизации в каучуке происходит ряд химических и физических процессов, в результате чего уменьшается потеря пластичности изделий при работе, повышается стойкость к действию органических растворителей, увеличиваются прочность и упругость. Кроме горячей, применяют холодную вулканизацию, сущность которой сводится к обработке каучуков раствором полухлористой серы.

Свойства получаемой резины во многом зависят от количества введенных в резиновую смесь серы и других вулканизаторов. Так, при натуральном каучуке добавление 0,5...5,0 % серы (от массы каучука) дает мягкую резину, отличающуюся тем, что ее упругие свойства сохраняются в широком интервале температур (от -60 до +60°C). Введение серы в количестве 25 % и более способствует образованию твердого продукта - эбонита.

Гуммирование. Заключается в оклейке (обкладке) изделия (оборудования) резиновыми материалами или в нанесении на поверхность жидких смесей.

Гуммировочное покрытие устойчиво к воздействию большинства минеральных и органических кислот, солей, а также щелочей. Для гуммирования используют листовые материалы на основе синтетических каучуков (изопренового, бутадиенстирольного, бутилового, хлоропренового), жидкие резиновые смеси и водные дисперсии каучуков (латексы).

1.4.2. Разновидности резин и резиновых изделий

Резины для изготовления резиновых технических изделий классифицируют согласно стандарту по ряду признаков и в соответствии с ними условно обозначают.

Например, 253, Т10, К2, Ф4, 6, 22, М1, Е2, где: 253 (а также 254, 255, 256) - код подклассов Общесоюзного классификатора промышленной и сельскохозяйственной продукции;

Т10 - тип резины по тепловому старению (Т07, Т10, Т12, Т15, Т17, Т20, Т22, Т25);

К2 - класс резины (кроме пищевых) в зависимости от изменения объема после пребывания в нефтяной жидкости СЖР-3 в течение 70 ч и при температуре, соответствующей типу резины, но не выше 150°С (К1, К2, К3, К4, К5, К6, К7);

Ф4 - морозостойкость по эластичному восстановлению после сжатия на 20 % при различных температурах (Ф2, Ф3, Ф4, Ф7, Ф8);

6 - твердость в международных единицах *JRHD*;

22 - минимальный предел прочности при разрыве, например 02-2 МПа; 04-3,5 МПа; 05-5 МПа и т. д.;

М1- маслостойкость - уменьшение прочности и удлинения на 60 % и изменение твердости ± 15 *JRHD* и объема до 40 % после 70 ч выдержки в жидкости СЖР-3 (М3 - с теми же изменениями в жидкости СЖР-1);

Е2 - величина динамического модуля при знакопеременном изгибе до 2 МПа, Е3 - 2,1...3 МПа; Е4 - 3,1...4 МПа и т. д.

Резиновые и резинотканевые пластины общего значения. Кроме пищевых, предназначены для изготовления деталей, служащих для уплотнения неподвижных соединений, предотвращения трения между металлическими поверхностями, а также для восприятия ударных нагрузок в машинах и агрегатах.

В зависимости от условий эксплуатации выпускают пластины следующих марок: тепломорозо-кислотощелочестойкие (ТМКШ), маслостойкие (МС) и маслобензостойкие (МБС).

Пластины марки МС рекомендуется применять в условиях статических деформаций.

Для пластин марки ТМКШ допускается воздействие водяного пара при 140 °С суммарно не более 2 ч.

Пластины выпускаются промышленностью в виде листов толщиной от 2,0 до 60,0 мм и рулонов толщиной от 0,5 до 50,0 мм.

Пластины пищевой резины выпускают толщиной 1,0...25,0 мм. Формовые пластины изготовляют длиной от 500 до 1500 мм и толщиной от 1,0 до 25,0 мм.

Эбонит (полисульфид каучука) - продукт вулканизации каучука с большим количеством серы (до 50% - твердое вещество с плотностью $1,1 \cdot 10^3 \dots 1,25 \cdot 10^3$ кг/м³). При повышении температуры до 65...100 °С эбонит переходит в пластичное состояние, позволяющее осуществлять штамповку. В твердом состоянии хорошо обрабатывается точением, фрезерованием и т. д.

Эбонит широко используют в качестве электротехнических деталей благодаря высоким диэлектрическим свойствам. Для этой цели выпускают эбонит марок: А - для высокой электрической изоляции, Б - для общей электрической изоляции и В - в качестве поделочного материала в виде пластин, прутков и труб. Из эбонита изготовляют моноблоки для аккумуляторов и детали для них, стойкие в кислоте. В кислотах, щелочах, органических растворителях эбонит практически не растворяется, лишь набухает в бензоле, сероуглероде и других растворителях.

Эбонит обладает хорошей адгезией к металлам и поэтому, кроме применения в качестве облицовочного слоя, его широко используют при гуммировании в качестве промежуточного слоя, обладающего хорошей адгезией и к резине, и к металлу.

1.5. Древесина и древоплита

По запасам древесины и величине лесных массивов СССР занимает первое место в мире. Из 3 млрд. га площади поверхности земли, покрытой

лесами, на долю нашей страны приходится более 1100 млн. га. Лес - это наше национальное богатство, которое должно расходоваться бережно и с наибольшей отдачей. Главным потребителем лесоматериалов является строительство.

Древесина не потеряла своего значения и имеет широкое и многообразное применение, так как, обладает редкостным сочетанием ценных свойств. Высокая прочность и упругость древесины сопровождаются малой плотностью, низкой теплопроводностью. Древесина морозостойка, не растворяется в воде и органических растворителях. Она является материалом, способным гасить вибрации и воспринимать ударные нагрузки. Хорошо известны легкость обработки древесины, удобство скрепления деревянных элементов с помощью клея, гвоздей и пр.

Древесиной называют освобожденную от коры ткань волокон, содержащихся в стволе дерева.. В качестве конструкционного материала используют в основном - ствол, который составляет до 90 % объема дерева. Макроструктуру ствола (строение древесины, видимое невооруженным глазом) можно рассмотреть на трех основных разрезах: торцевом, радиальном и тангенциальном.

На торцевом разрезе ствола хорошо виден ряд концентрических годовых колец.

Все древесные породы делятся на хвойные и лиственные.

Хвойные породы (ель, сосна, лиственница, кедр, пихта) растут чистыми и смешанными насаждениями, образуют высокие прямые стволы.

Годовые слои в древесине хвойных пород хорошо видны на разрезах.

Лиственные породы (дуб, ясень, ильм, вяз, карагач, береза, бук, граб, осина, ольха, липа, клен и др.) подразделяются на кольцесосудистые и рассеянососудистые. У кольцесосудистых пород (дуб, ясень) сосуды расположены кольцевыми рядами в ранней части годового слоя. У рассеяно-

сосудистых пород (береза, бук) сосуды равномерно рассеяны по всей ширине годового слоя. Древесина всех кольцесосудистых пород является твердой, а рассеянососудистых может быть и твердой и мягкой.

1.5.1. Основные свойства древесины

Свойства древесины, определяемые без изменения химического состава и нарушения целостности материала (взвешивание, высушивание, измерение, внешний осмотр и т. п.), называют физическими. К ним относятся цвет, блеск, запах, текстура, плотность, теплопроводность, влажность, усушка, разбухание, коробление и растрескивание.

Цвет древесины зависит от целого ряда факторов: от района и условий произрастания, от породы, климата, возраста дерева и др. Древесина южных пород отличается более ярким цветом. Окраску древесине придают дубильные и красящие вещества, смолы и продукты их окисления, содержащиеся в клетках. На воздухе и под влиянием света древесина большинства пород темнеет, приобретая грязновато-серый цвет, под водой цвет ее также изменяется.

Блеск древесины проявляется в способности ее направленно отражать световой поток и зависит от плотности, количества и размера сердцевинных лучей, плоскости разреза. Чем светлее и плотнее сердцевина, тем большим блеском она обладает. Ясно выраженный блеск придает древесине красивый внешний вид. Запах древесины зависит от наличия в ней смол, дубильных веществ, эфирных масел. В большей степени обладает запахом свежесрубленная древесина. Сильный запах имеет древесина хвойных пород. Древесина лиственных пород пахнет слабо. Цвет, блеск, запах служат признаками для распознавания пород и имеют производственное значение.

Красивая окраска и блеск древесины многих пород обусловили их широкое применение в производстве мебели. Сильный смолистый запах

сосновой древесины не позволяет применять ее для изготовления тары под продукты питания. Из древесины ели, не имеющей запаха, вырабатывают упаковочную и набивочную стружку.

Текстура древесины - это естественный рисунок на обработанной ее поверхности, образующийся вследствие перерезания волокон, годовых слоев, сердцевинных лучей, сучков, неразвившихся почек. Лучший по красоте рисунок получается на тангенциальном разрезе древесины особенно у таких пород, как ясень, дуб, каштан, орех, карагач, ильм, тис, лиственница.

Плотность древесины характеризуется отношением ее массы к объему. Ввиду того, что масса и объем меняются в зависимости от влажности древесины, существуют понятия абсолютной и относительной плотности. Абсолютная плотность характеризует количество находящегося в единице объема древесины древесного вещества (без пустот и влаги). *Теплопроводность древесины* - это способность проводить теплоту от одной поверхности к другой. Теплопроводность сухой древесины незначительна. *Влажность древесины* - это отношение массы находящейся в данном объеме древесины, к массе абсолютно сухой древесины; (в процентах). Влага, пропитывающая стенки клеток, называется связанной (или гигроскопической), а влага, заполняющая внутриклеточное и межклеточное пространство - свободной (или капиллярной).

Влажность влияет на прочность, объемную массу и другие свойства древесины.

Колебания влажности волокон древесины влекут за собой изменения размеров и формы досок, брусьев и других изделий из древесины из-за усушки - уменьшения линейных размеров и объема древесины при высыхании или разбухания - увеличения линейных размеров и объема древесины при повышении содержания влаги.

Размер усушки и разбухания древесины вдоль волокон в среднем составляет 0,1 % (1 мм на 1 м), в радиальном направлении равен 3...5 %. Коробление деревянных изделий является следствием разницы в усушке древесины в тангенциальном и радиальном направлениях.

Механические свойства. Прочность древесины характеризуется пределом прочности, то есть напряжением, равным отношению наибольшей нагрузки, предшествовавшей разрушению образца, к первоначальной площади его сечения.

Деформация древесины зависит от величины действующих сил и от продолжительности их действия. Упругость - это способность материала восстанавливать первоначальную форму после прекращения действия нагрузки. Древесина - довольно упругий материал, что позволяет использовать ее в качестве конструкционного материала в узлах, воспринимающих ударные нагрузки.

Упругость зависит от влажности, объемной массы, прямослойности древесины, от количества и размеров сердцевинных лучей в ней, а также от возраста дерева.

Повышение влажности снижает ее упругость. Тяжелая (плотная) древесина более упругая, чем легкая, а зрелая - чем молодая. У древесины лиственных пород вязкость 1,5-3 раза, чем у хвойных.

Совершенно хрупкой древесины нет. Это объясняется ее волокнистым строением. Наиболее хрупкой является ольха.

По степени твердости все породы подразделяются на мягкие (сосна, ель, Пихта, ольха, липа и др.), твердые (дуб, граб, ясень, клен, каштан и др.) и очень твердые (самшит, фисташка, акация и кизил).

Пороками древесины называют различные отклонения от нормы, а также ее повреждения.

Пороки древесины подразделяют на следующие основные группы: сучки, грибные окраски и гнили, повреждения насекомыми, деформации и растрескивание, пороки формы ствола и строения древесины, раны, ненормальные отложения в древесине, механические повреждения и дефекты обработки.

Повреждение насекомыми обозначают общим термином - червоточина. Она встречается на всех породах и представляет поверхностные и глубокие повреждения древесины, причиняемые жуками, короедами, усачами и другими насекомыми. Наблюдается на поверхности лесоматериалов в виде бороздок или отверстий, идущих в глубь древесины. Червоточина бывает поверхностная (до 3 мм), неглубокая (от 5 до 15 мм) и глубокая (более 15 мм).

Поверхностная не влияет на механические свойства древесины. Деформация и растрескивание нарушают целостность материалов, снижают их механическую прочность и долговечность.

1.5.2. Древопласты

Древопласты формируются из смесей древесных отходов и древесных пластин с полимерными смолами и наполнителями. Прочностные показатели древопластов при рязании имеют интервалы от 0,11 до 322,5 МПа.

Обычно величина относительных деформаций древопластов очень мала и определяется деформациями связующего и наполнителя.

Можно полагать, что относительное удлинение древопластов колеблется в пределах 0,6...3,8 % в зависимости от положения волокон древесины и содержания наполнителя в материале.

Теплоемкость древопластов - это сумма теплоемкостей входящих в них компонентов. Коэффициент теплопроводности древопластов изменяется от 0,7 до 0,5 Вт/ (м. град. С), что близко к коэффициенту теплопроводности воды.

Водостойкость характеризуется, влагопоглощением, разбуханием, формоустойчивостью.

Основные факторы, определяющие водопоглощение древесных пластмасс, содержание связующего в древесном пласте, химикотермическая обработка и дисперсность наполнителя, плотность древесного пласта, введение гидрофобных добавок в древесный пласт и водостойкость связующего. Таким образом, регулируя состав древесных пластмасс, можно управлять влагопоглощением, разбуханием и формоустойчивостью.

Наиболее часто используют следующие марки древесных пластмасс: 04-010-012, 03-010-02, У4-080-02, МДПК-А, МДПК-В, МДПВ-А, ДСП-В, ДСП-В-Э, ДСП-Г.

В практике строительства и машиностроения и при ремонте применяют все виды древесных пластмасс.

Детали из древесных пластмасс широко используются в подъемно-транспортном оборудовании.

В унифицированных ленточных транспортерах легкого, среднего и тяжелого типа, в желобчатых, плоских и дефлекторных роликах используют корпуса подшипников, вкладыши, стаканы и лабиринтные уплотнения из МДПК-В3 и МДПК-В4.

В кранах различных типов втулки опорных катков, сухари поворотных устройств (в качестве сепараторов), распорные втулки, крышки, шаровые головки, клеммовые гайки и многие другие детали выполнены из МДП, направляющие ролики из фенольных пресс-порошков.

Перерабатывать древесные пластины в изделия можно прессованием при высоком давлении; литьем под давлением; литьем - заливкой; экструзией; пневматическим формованием, намоткой (фанерные трубы) и другими методами.

В большинстве случаев процесс получения изделий из древесных пластов сопровождается их нагревом. Теплопроводность древесных пластов невысока, поэтому при их переработке очень важно правильно выбрать оптимальные технологические параметры: температуру нагрева, давление, длительность выдержки в пресс-форме.

Теплопроводность древесных пластов в 169...358 раз ниже теплопроводности стали, а удельная теплоемкость в 2,9...5,2 раза больше.

Это создает некоторые трудности эффективной обработки древесных пластов резанием, особенно из-за многообразия их типов и марок.

Древесно-слоистые пластики (ДСП) изготавливают из древесного шпона на основе феноло- или крезолоформальдегидных смол путем горячего прессования под высоким давлением. Шпон для производства ДСП получают путем лущения древесины; толщина шпона колеблется от 0,55 до 1,5 мм.

Для изготовления деталей машин применяют древесно-слоистые пластики общего назначения: ДСП-А, ДСП-Б, ДСП-В и ДСП-Г. ДСП-А, ДСП-Б и ДСП-В выпускают в виде листов и плит толщиной 1...60 мм, шириной 800...1200 мм и длиной 700...5300 мм; ДСП-Г в виде восьмигранных плит толщиной 15...60 мм, расстояние между параллельными сторонами восьмигранника 600...1000 мм.

Структура ДСП зависит от расположения шпона в толще пластмассы. В ДСП-А волокна шпона параллельны во всех слоях. Пластик обеспечивает максимальную прочность на растяжение или сжатие только в одном направлении. В ДСП-Б каждые 10...12 слоев шпона с параллельным направлением волокон перемежаются с одним слоем, повернутым на 90° так, что волокна направлены поперек волокон предыдущих слоев. В ДСП-В каждый слой шпона с параллельным направлением волокон перекрывается слоем с перпендикулярным направлением волокон. В ДСП-Г волокна шпона имеют звездообразное, радиальное направление, то есть волокна в смежных

слоях последовательно смещены на угол 25...30°. Пластик имеет равную прочность на растяжение и сжатие во всех направлениях.

Кроме ДСП общего назначения, выпускают пластики: с повышенной механической прочностью - ДСПБ-А (авиационный); с повышенной химической стойкостью - ДСП-Ф; для деталей высоковольтной аппаратуры - ДСП-Б-э и ДСП-В-э; специальные виды древесных пластиков, арктилит - древесный пластик, армированный березовым шпоном, хлопчатобумажной тканью и тонкой стальной сеткой; капролит - пластик, содержащий, помимо древесного наполнителя, вторичный кацрон;

Из древесно-слоистых пластиков изготавливают зубчатые колеса, втулки, шкивы, ползуны пилорам, лопасти и другие детали машин.

Древесно-слоистые пластики обладают низким коэффициентом трения. Коэффициент трения составляет 0,01...0,05; при смазке маслом-0,04...0,08. Водопоглощение ДСП высокое и составляет 22 %. При максимальном увлажнении увеличение размеров и объема ДСП (разбухание) достигает 20...25 %. При эксплуатации ИЗЖ,елиЙ из ДСП в обычных атмосферных условиях разбухание не превышает 5...8%. Теплостойкость ДСП - низкая.

Широко применяют древесные композиционные пластики (ДКП), содержащие, помимо древесных наполнителей (опилок и крошек шпона), графит, тальк, алюминиевую пудру и другие недревесные наполнители. Из композиционных пластик методом прессования в пресс-формах получают втулки, шкивы, кольца, прокладки и др. Особенно целесообразно из ДКП делать самосмазывающиеся втулки для узлов трения. колес и других деталей машин. Прессованная древесина - хороший заменитель чугуна и бронзы при ремонте строительных машин, подъемно-транспортного и другого оборудования.

2. МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ НА ОСНОВЕ МИНЕРАЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ

2.1. Керамика

Керамика — собирательное название широкой группы искусственных каменных материалов, получаемых формованием из глиняных смесей с минеральными и органическими добавками с последующей сушкой и обжигом. На древнегреческом языке «керamos» означало гончарную глину, а также изделия из обожженной глины.

Благодаря высокой прочности, долговечности и декоративности керамики, она остается одним из основных строительных материалов. По значению керамические изделия делят на следующие виды:

стенные (кирпич и керамические камни); кровельные (черепица); изделия для облицовки фасадов (лицевой кирпич, терракотовые плиты, мозаичные плитки и др.); изделия для внутренней облицовки стен; плитка для полов; санитарно-технические изделия (умывальники, унитазы и трубы); специальная керамика (кислотоупорная, огнеупорная, теплоизоляционная); заполнители для легких бетонов (керамзит и аглопорит).

Керамические материалы разделяются на пористые и плотные.

Пористыми условно считают изделия, у которых водопоглощение черепка более 5 % по массе (в среднем 8...20 %). К ним относятся все виды кирпича и стеновых камней, черепица, облицовочные плитки.

Плотными считают изделия, водопоглощение черепка которых менее 5% (обычно 2...4 %); эти изделия практически водонепроницаемы. К ним относятся плитки для полов, санитарный фарфор и т. п.

Сырьевая масса для изготовления керамических материалов состоит из пластичных материалов (глин) и непластичных (отошающих и выгорающих добавок, плавней и др.). Глины обеспечивают получение удобоформуемой

связной массы и после обжига прочного и водостойкого черепка. Непластичные добавки улучшают технологические свойства сырьевой массы (облегчают сушку, уменьшают усадку и снижают температуру обжига) и придают материалу желаемые свойства (пористость, теплопроводность и т. п.).

Глины — основной сырьевой компонент керамики — осадочные горные породы, состоящие в основном из глинистых минералов — водных алюмосиликатов различного состава (каолинит $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, монтмориллонит $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ и др.). Размер частиц глинистых материалов не превышает 0,005 мм; преобладающая форма частиц - пластинчатая. Благодаря своей гидрофильности и огромной площади поверхности глинистые частицы активно поглощают и удерживают воду. Именно глинистые минералы придают глине ее характерные свойства: пластичность при увлажнении, прочность при высыхании и способность к спеканию при обжиге.

Кроме глинистых минералов в глине содержатся более крупные частицы: пыль (0,005...0,16 мм) и песок (0,16...5 мм). Они состоят из кварца, карбонатов кальция и магния и других минералов. Эти компоненты глин также влияют на ее технологические свойства и качество готовых изделий.

Глины, как сырье для керамики, оценивают комплексом свойств: пластичностью, связующей способностью, отношением к сушке и к действию высоких температур. Способность глиняного теста деформироваться под действием внешних механических нагрузок без нарушения сплошности и сохранять полученную форму после прекращения воздействий называют пластичностью. При увлажнении глины на поверхности глиняных частиц появляются тончайшие слои адсорбированной воды. Эти слои, с одной стороны, обеспечивают возможность скольжения частиц друг относительно друга, а с другой, связывают эти частицы силами поверхностного натяжения, что обеспечивает сохранение формы изделий после формования.

Пластичность оценивается количеством воды, необходимой для получения из глины удобоформуемой массы. Высокопластичные глины имеют высокую водопотребность и, как следствие, большую усадку при сушке.

Скорость сушки увлажненной глины определяется не скоростью испарения влаги с поверхности отформованного изделия, а скоростью миграции воды внутри глиняной массы от центра к поверхности.

Чем больше в глине частиц глинистых минералов, тем она больше требует воды, больше набухает, но труднее сохнет и дает большую усадку. Такие глины называют «жирными». Глины, содержащие много песчаных частиц, характеризуются небольшой усадкой и набуханием, достаточно легко сушатся, но пластичность, т. е. формовочные свойства, у нее пониженная. Такие глины называют «тощими».

Таким образом, для получения требуемой сырьевой массы для керамики нужно выполнить два противоречивых друг другу условия: смесь должна хорошо формоваться и легко сушиться.

Смеси с оптимальным соотношением глинистых и песчаных частиц получают, добавляя в жирную глину отошующие добавки. Кроме песка для этих целей используют золы ТЭС, шлаки и другие материалы.

Спекаемость — способность глины при обжиге переходить в камневидное состояние, в котором она совершенно не размокает в воде, объясняется следующим. При нагреве до 900... 1200°С в глине последовательно начинают протекать химические и физико-химические процессы, приводящие к полному и необратимому изменению ее структуры с образованием новых водостойких и тугоплавких минералов (силлиманита $Al_2O_3 \cdot SiO_2$ и муллита $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ (1000... 1200° С);

Образование прочного черепка происходит за счет эффекта склеивания твердых частиц глины образовавшимся расплавом. При этом за счет сил поверхностного натяжения этого расплава происходит уменьшение объема

материала, называемое *огневой усадкой*. В зависимости от вида глин огневая усадка составляет 2...6 %.

Полной усадкой называют сумму воздушной и огневой усадки; она обычно находится в пределах 6...18 %. Полную усадку необходимо учитывать при формовании сырцовых заготовок для получения изделий с заданными размерами.

Различные глины требуют определенных температур обжига и соответственно изделия из них имеют различную огнеупорность. По этому признаку глины делят на легкоплавкие, тугоплавкие и огнеупорные.

Легкоплавкие глины, содержащие большое количество примесей, плавятся при температуре ниже 1350° С. Из таких глин, называемых кирпичными, изготавливают кирпич, стеновые камни и черепицу.

Тугоплавкие глины, содержащие незначительное количество примесей, плавятся при температуре 1350... 1580° С. Применяют их для изготовления облицовочных керамических изделий, лицевого кирпича, канализационных труб.

Огнеупорные глины, почти не содержащие примесей, плавятся при температуре выше 1580° С. Их применяют для производства огнеупорных материалов.

Отощающие материалы вводят в состав керамической массы для снижения пластичности и уменьшения воздушной и огневой усадки глин. Они улучшают сушильные свойства глин. В качестве отощающих добавок используют песок, шамот, дегидратированную глину, золы ТЭС, гранулированные шлаки.

Шамот — зернистый (0,14...2 мм) материал, получаемый измельчением предварительно обожженной до температуры спекания глины. Его можно заменить измельченным браком керамических изделий. Шамот из огнеупорных глин используют для изготовления огнеупоров.

Дегидратированную глину получают нагревом до 650...750° С. При удалении кристаллизационной химически связанной воды глина необратимо теряет свойство пластичности.

Гранулированный доменный шлак и золы — отошители глин, используемые при производстве кирпича и другой грубой керамики. Это эффективный путь утилизации промышленных отходов.

Порообразующие добавки вводят в смесь для снижения плотности и, соответственно, теплопроводности керамических изделий. Для этого используют вещества, которые при обжиге: диссоциируют с выделением газа, например, CO₂ (молотый мел, доломит и т. п.) или выгорают (древесные опилки, угольный порошок и др.). Такие добавки одновременно являются и отошителями.

Пластифицирующие добавки — высокопластичные глины, а также поверхностно-активные вещества — пластификаторы СДБ, ЛСТ и др.

Когда желательно понизить температуру ее спекания используют полевые шпаты, железную руду, тальк и т. п. *Глазури и ангобы* — отделочные слои на облицовочных керамических изделиях. *Глазури* — стеклообразные лицевые покрытия различного цвета, прозрачные или глухие. Их получают нанесением на поверхность готовых изделий порошка из стекольной шихты и закреплением обжигом до плавления.

Ангобы — лицевые покрытия, выполненные из цветных глин, нанесенных на поверхность сырцовых изделий. В отличие от глазури ангоб не дает при обжиге расплава, а образует матовое керамическое покрытие.

Одна из главных проблем при глазуровании и ангобировании — обеспечение максимальной близости свойств изделия и отделочного слоя во избежание растрескивания и отслоения отделочного слоя.

Основы технологии керамики, включают: добычу сырьевых материалов, подготовку сырьевой массы, формование изделий, сушку и обжиг.

Для получения изделий с различной структурой черепка и различной конфигурации применяют разные методы формования: литье, пластическое формование, полусухое и сухое прессование. В зависимости от метода формования производят подготовку сырьевой массы.

Основные изделия строительной керамики — кирпич и керамические камни, а также некоторые виды керамических плиток, черепицы и труб производят методом пластического формования. Этот метод формования наиболее прост и получил наибольшее распространение. Ниже рассмотрена схема производства керамики с использованием метода пластического формования на примере производства кирпича.

Производство кирпича методом пластического формования ведется на хорошо проработанной пластичной массе с влажностью 15...25 % из легкоплавких глин средней пластичности, содержащих 40...50 % песка.

В настоящее время при подготовке сырья глину увлажняют паром и интенсивно обрабатывают на бегунах, дезинтеграторах и валках (это в какой-то мере заменяет вылеживание) до получения пластичной удобоформуемой массы без крупных каменистых включений (кусочки CaCO_3 должны быть удалены или измельчены в порошок).

Формование кирпича-сырца производят на ленточном прессе, напоминающем мясорубку. Увлажненная и тщательно размятая глиняная масса продавливается винтовым конвейером через решетку в вакуумную камеру, где жгуты глины разбиваются вращающимся ножом для удаления воздуха из глиняной массы. Далее масса винтовым валом подается в конусную головку пресса, где окончательно уплотняется и продавливается сквозь формирующую часть пресса — мундштук. Мундштук придает глиняной ленте, выходящей из пресса, определенную высоту и ширину. В мундштуке могут быть установлены керны, образующие каналы в выдавливаемой ленте; так получают пустотелый кирпич и трубы.

Глиняная лента нарезается автоматическим устройством на кирпич-сырец. Размер таких кирпичей несколько больше требуемого, так как в процессе последующей обработки глина дважды (при сушке и при обжиге) претерпевает усадку, достигающую 10... 15 %.

Сушка — важный и сложный этап производства кирпича. Главная трудность сушки массивного кирпича-сырца в том, что в глине перенос влаги затруднен (глина — водонепроницаемый материал), и поэтому быстрое высыхание глины с поверхности приводит не к ускорению сушки, а к растрескиванию кирпича-сырца. Это происходит из-за того, что поверхностный слой дает усадку при высыхании (до 7...10 %), а влажное ядро препятствует ей. Простейший способ предохранить кирпич от растрескивания — сушить его медленно, так, чтобы скорость испарения воды не превышала скорости ее миграции из внутренних слоев. Но этот путь снижает темпы производства.

Ускорить сушку можно, вводя в сырьевую смесь вещества, облегчающие миграцию влаги к поверхности (например, опилки), или путем формования в кирпиче сквозных отверстий. Улучшение условий сушки пустотелого кирпича — залог более высокого качества материала.

При влажности кирпича-сырца 6...8 % его можно подавать на обжиг.

Для *обжига* используют печи различной конструкции от самых старых кольцевых, в которые кирпич укладывают и вынимают вручную, и до современных туннельных и щелевых, где кирпич обжигается в процессе продвижения его по печи. Температура обжига зависит от состава сырьевой массы и обычно находится в пределах 950... 1000° С. Необходимую температуру обжига следует строго выдерживать.

Полусухой способ производства кирпича отличается от пластического тем, что глина влажностью 6...7 % измельчается в порошок, из которого на специальных прессах поштучно формируется кирпич-сырец. Такой сырец не

требует сушки — его сразу же после формования можно обжигать. Так как кирпичи полусухого прессования получаются более плотными, в них делают несквозные пустоты. Кирпич полусухого прессования имеет гладкие грани и значительно меньше дефектов, чем кирпич пластического формования, но в то же время он менее морозостоек.

Относительно небольшой выпуск кирпича полусухого прессования объясняется сложностью прессов для формования сырца и невысокой их производительностью.

Производственные дефекты. Из-за слишком быстрой сушки и нагрева при обжиге кирпич деформируется и на его поверхности появляются трещины. При недостаточной температуре обжига получается *недожженный кирпич* (недожог) алого цвета, который не применяют из-за низкой прочности, водо- и морозостойкости.

При слишком высокой температуре обжига получается *пережженный* фиолетово-бурый кирпич (пережог — «железняк») повышенной плотности, с оплавленной поверхностью и искаженной формой.

У керамических изделий встречается скрытый дефект, называемый «*дутик*», который может проявиться не сразу, а после того, как кирпич (камень) достаточно время находился во влажном состоянии. В этом случае происходят выколы и разрушение поверхности. В месте откола хорошо виден белый порошок или белая тестообразная масса. Причина таких дефектов — небрежность подготовки сырьевой массы. Если в исходном сырье встречаются куски известняка или другой карбонатной породы состава CaCO_3 , то в случае, когда сырьевая масса не измельчается достаточно тонко, в свежееотформованном изделии могут оказаться кусочки известняка размером 1 ...5 мм. При обжиге они превращаются в оксид кальция (негашеную известь):
$$\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2 \uparrow$$

Негашеная известь при контакте с водой превращается в гидроксид кальция («гасится») с увеличением в объеме. Это приводит к выколам и разрушению изделий.

2.1.1. Применение керамических материалов

Основная область применения керамики в строительстве — материалы для ограждающих конструкций: стеновые (кирпич и керамические камни) и кровельные (черепица). Стеновые материалы — это кирпич и камни (последние отличаются от кирпича большими размерами). Размеры и масса кирпича лимитируются размером и силой человеческой руки.

В соответствии с действующими стандартами кирпич выпускают *обыкновенный* размером 250 x 120 x 65 мм; реже производится *утолщенный* — 250 x 120 x 88 мм и *модульный* — 288 x 138 x 65 мм. Поскольку масса одного кирпича не должна превышать 4,3 кг, то утолщенный и модульный кирпичи обычно делают с пустотами; кирпич полусухого прессования также производится с пустотами (но пустоты в нем конические и несквозные).

Плотность обыкновенного полнотелого керамического кирпича - 1600... 1800 кг/м³; пористость - 28...35 %; водопоглощение - не менее 8%.

Основная характеристика качества кирпича - марка по прочности, определяемая по результатам испытания кирпича на сжатие и изгиб. Установлено 8 марок: от 75 до 300 .

По морозостойкости для кирпича установлены четыре марки: F15, F25; F35 и F50. При оценке морозостойкости испытания на «замораживание — оттаивание» проводят до появления внешних повреждений (трещин, отколов, шелушения поверхности), не допускаемых стандартом.

Кирпич считается удовлетворяющим стандарту, если отклонения по размерам и форме не превышают: по длине ± 5 мм, ширине ± 4 мм, толщине ± 3 мм;

Обыкновенный керамический кирпич благодаря достаточно высоким показателям физико-механических свойств и долговечности широко применяют в современном строительстве для кладки наружных и внутренних стен зданий, фундаментов, дымовых труб и других конструкций.

Кирпич полусухого прессования нельзя применять для кладки цоколей, фундаментов и наружных стен влажных помещений.

На складах кирпич хранят в штабелях высотой до 1,6 м, уложенным на ребро. При механизированной погрузке, разгрузке и транспортировании используют деревометаллические поддоны, на которые кирпич укладывают на ребро с перевязкой или «в елочку» (с наклоном в 45° к центру пакета). . Благодаря такой укладке пакеты с кирпичом можно перевозить на обычных автомобилях без дополнительных креплений.. Без поддонов кирпич перевозят уложенным в штабель с перевязкой; транспортирование навалом запрещается, так как при этом много кирпича бьется.

Пустотелыми считаются кирпич и камни, объем пустот которых более 13%. Форма и размер пустот могут быть различными. Расположение пустот преимущественно вертикальное, но допустим выпуск кирпича и камней с горизонтально расположенными пустотами.

Керамическими камнями называют штучные стеновые изделия размером от 250 x 120 x 138 мм (сдвоенный по высоте кирпич) и до укрупненных камней 510 x 260 x 219 мм для кладки стен в «один камень». Применение керамических камней позволяет значительно ускорить кладочные работы. Прочностные свойства (марки) и морозостойкость пустотелых кирпича и камней такие же, как у обыкновенного керамического кирпича.

Дополнительное снижение плотности *и* улучшение теплотехнических показателей керамического кирпича и камней можно достичь, включая в сырьевую массу выгорающие добавки (опилки, угольную мелочь и т. п.) или

вспенивая глиняную массу. Теплопроводность кладки из таких блоков 0,20 Вт/(м · К), что в 4 раза ниже, чем из полнотелого кирпича.

Пустотелый кирпич и камни нельзя использовать для кладки фундаментов, подвалов, цоколей и других частей зданий, где они могут контактировать с водой. Замерзание воды, попавшей в пустоты кирпича или камней, сразу приводит к их разрушению.

Керамическая черепица — старейший искусственный кровельный материал, применявшийся с давних пор практически во всех странах мира. Особенное распространение получила черепица в европейских странах, Японии, Китае. Сырьем для черепицы служат кирпичные глины, только качество их подготовки должно быть выше. Ленточную черепицу формуют на таких же прессах, как кирпич. Штампованную прессуют поштучно. В остальном, технология черепицы аналогична технологии кирпича.

Черепичная кровля декоративна и очень долговечна. Недостатки ее: большой вес и трудоемкость устройства. Черепица требует мощной стропильной системы; минимальный угол наклона кровли 30° (для желобчатой, укладываемой на растворе— 15°).

Керамика в роли отделочного материала применяется издавна и очень широко. Облицовка керамикой не только придает декоративность, но и защищает конструкцию от внешних воздействий. Различают отделочную керамику для наружной и внутренней облицовки, а также для покрытия полов. Для каждой области применения используют керамику с различным строением черепка (плотным или пористым) и соответственно с разными свойствами.

Для наружной облицовки зданий и сооружений применяют лицевой кирпич, крупноразмерные облицовочные плиты и архитектурные детали (терракоту) и плитки различных размеров.

Лицевой кирпич имеет повышенное качество поверхности: гладкая без дефектов поверхность, ровная окраска, возможна рельефная обработка поверхности или ее офактуривание (глазурирование, ангобирование). Лицевой кирпич изготавливают как из беложгущихся, так и из красножгущихся глин. Придание требуемого цвета возможно окрашивающими добавками (оксиды железа, марганца и т. п.). Сырьевая масса для лицевого кирпича готовится более тщательно: недопустимо присутствие крупных каменистых включений, особенно известняковых. Марки лицевого кирпича такие же, как и у обычного; морозостойкость несколько выше: не ниже F25. Как правило, лицевой кирпич — пустотелый.

Особенно декоративен *глазурованный кирпич*. Глазурь позволяет получать любые цветовые оттенки и сохранять их яркость в течение длительного времени; она почти не загрязняется и легко моется. Долговечность такой отделки — десятки и даже сотни лет. Для зданий отделка лицевым кирпичом — самый эффективный вид отделки, так как она одновременно является частью стены и выполняет все ее функции.

Коврово-мозаичная плитка очень облегчает отделку стен путем простого втапливания ковра в раствор (или бетон) и последующего смывания бумаги после затвердевания раствора. Такая отделка может производиться как на заводе одновременно с формованием стеновых панелей, так и в построечных условиях по свежешелюженной штукатурке. *Плитки керамические фасадные* применяют для облицовки наружных стен кирпичных зданий, наружных поверхностей железобетонных стеновых панелей, подземных переходов и других элементов зданий и сооружений. Плитки выпускают различных размеров (от 120 x 65 до 300x200 мм), цветов и фактуры поверхности и изготавливают методом полусухого и пластического прессования. Морозостойкость плиток F35 и F50. Тыльная сторона плиток имеет рифление для обеспечения сцепления с раствором (бетоном).

Крупноразмерные керамические плиты выпускают с плотным черепком (водопоглощение менее 1 %) размером от 500 x 500 до 1000 x 1000 мм и толщиной 6...10 мм. Эти плиты крепят на фасаде с помощью металлических раскладок. Один из вариантов таких плит называют керамическим гранитом. Крупноразмерные облицовочные изделия в виде плит, частей колонн, наличников и других архитектурных деталей называют терракотой.

Терракота — очень долговечный и декоративный облицовочный материал, незначительно уступающий природному камню по свойствам, но значительно менее трудоемкий в производстве. Терракотовые изделия формуются из пластичных глиняных масс: плиты на ленточных прессах, архитектурные детали с помощью форм (гипсовых, деревянных и металлических). Физико-механические показатели терракотовых изделий: марка по прочности — не ниже 100 кгс/см², морозостойкость не менее F50.

Плитку для внутренней облицовки выпускают разнообразных типоразмеров. Чаще других используют плитку размером 150 x 150 мм и разнообразные элементы к ней — уголки, фризы и т. п. Такую плитку часто называют «кафельной». Плитки для внутренней облицовки имеют пористый черепок и с лицевой стороны покрыты глазурью. Глазурь не только придает декоративный вид, но и делает плитки водостойкими и химически стойкими и гигиеничными. Такие плитки широко применяются для облицовки стен санитарно-технических узлов и кухонь в жилых и общественных зданиях, в больницах, на предприятиях пищевой и химической промышленности, вестибюлей и лестничных клеток. Нельзя использовать такие плитки для настилки полов (глазурь легко царапается) и для наружной облицовки (пористый черепок зимой быстро разрушится).

Плитку для полов изготавливают из тугоплавких глин методом сухого или полусухого прессования, обжигая их до полного спекания. Такие плитки почти не имеют пор и практически водонепроницаемы. В соответствии со

стандартом их водопоглощение не должно быть выше 4 % (как правило, оно не более 1...2 %). Такие плитки часто называют «метлахские» (от названия немецкого города *Mettlach*, где было одно из первых производств подобных плиток).

Плитки могут быть окрашены в массу или иметь окрашенным только верхний слой. Поверхность плиток большей частью гладкая, но производят плитки и с фактурной поверхностью (например, имитирующие грубообработанный камень или древесину). Плитки отличаются высокой износостойкостью и прочностью, стойки к действию воды и химических реагентов, декоративны и легко моются. Размеры плиток от самых мелких (23 x 23 мм) мозаичных до плиток среднего размера (300 x 300 мм). Среди материалов для полов керамическая плитка отличается высоким теплоусвоением: такое покрытие пола называют «холодным».

В связи с появлением подогреваемых полов круг помещений, где целесообразно применять керамические плитки для полов, будет расширяться. Облицовка керамикой — один из самых экономически эффективных видов отделки фасадов и интерьеров зданий. Хотя первоначальная стоимость такой облицовки выше многих других видов отделки, но с учетом *высокой долговечности*, в конечном счете, керамическая облицовка оказывается выгоднее. К несомненным достоинствам такой облицовки необходимо отнести архитектурную выразительность и экологичность..

Санитарно-техническую керамику (раковины, унитазы, трубы, химическая посуда и т. п.) изготавливают из фаянса и фарфора.

Фаянс (от названия итальянского города Фаэнца) — разновидность тонкой керамики, получаемая из беложгущихся глин (60...65 %), кварца (30...35 %) и полевого шпата (3...5 %). Отформованное из пластичной массы и высушенное изделие подвергают первичному (так называемому «бисквитному») обжигу при температуре 1250... 1280°C; после чего на его

поверхность наносится глазурная масса и производится повторный обжиг (1050...1150° С) для глазурирования. Глазурирование фаянса необходимо, так как он имеет пористый черепок ($\Pi = 20...25 \%$) и высокое водопоглощение.

Фарфор — изделия тонкой керамики с плотным черепком — получают так же, как и фаянс из беложгущихся глин (около 50 %), но с большим содержанием полевых шпатов (20...24 %) и меньшим содержанием кварца (20...25 %). Фарфор имеет плотный, полностью спекшийся черепок, просвечивающий в тонком слое. Фарфоровые изделия санитарно-технического назначения также покрывают глазурью для придания им гладкости и повышения санитарно-гигиенических свойств.

Керамические санитарно-технические изделия отличаются декоративностью, универсальной химической стойкостью; благодаря твердой и гладкой поверхности они легко чистятся, длительное время сохраняя свои свойства. Недостаток таких изделий, как и керамики в целом, - хрупкость. Несмотря на это, керамика остается лучшим материалом для санитарно-технических изделий.

Канализационные трубы изготавливают из пластичных тугоплавких глин и покрывают глазурью снаружи и изнутри, что обеспечивает их полную водонепроницаемость, химическую стойкость и высокую пропускную способность. Такие трубы выдерживают гидростатическое давление, более 0,2 МПа.

Керамические трубы имеют небольшую длину 800... 1200 мм, но довольно большой диаметр 150...600 мм. Трубы соединяются друг с другом с помощью раструбов, отформованных на одном конце каждой трубы.

Дренажные трубы для мелиоративных работ изготавливают из кирпичных высокогатастичных глин. Выпускают гладкие неглазурированные трубы, фильтрующие через свою толщу, и глазурированные с раструбами и перфорацией на стенках.

Огнеупорные материалы получают по керамической технологии (формование, сушка, обжиг) из различных сырьевых компонентов. Их разделяют на *огнеупорные* (температура размягчения 1580..1770°C), *высокоогнеупорные* (1770...2000°C) и *высшей огнеупорности* (> 2000°C). В зависимости от химико-минерального состава огнеупоры могут быть кремнеземистые, алюмосиликатные, магнезиальные (на основе MgO), хромитовые, графитовые (углеродистые). Выбор огнеупора производят по двум показателям: температуре размягчения и стойкости в той среде, где он будет работать (расплавы стекла, шлаков или металла, химически активные газы и т. п.). Наибольшее применение в строительстве имеют кремнеземистые и алюмосиликатные огнеупоры.

Кремнеземистые огнеупоры (основной компонент SiO₂) по строению могут быть стеклообразные (кварцевое стекло) и кристаллические (динасовые огнеупоры). Кварцевое стекло хорошо работает при температурах до 1000°C; при более высоких температурах оно растекловывается (кристаллизуется) и крошится.

Алюмосиликатные огнеупоры делят на три группы: полукислые, шамотные и высокоглиноземистые. *Полукислые огнеупоры* изготавливают обжигом кварцевых пород на глиняной связке (содержание SiO₂ > 65 %; Al₂O₃ < 28 %). Огнеупорность-1580... 1700°C. *Шамотные огнеупоры* получают обжигом смеси шамота и огнеупорной глины. Они содержат 30...35 % Al₂O₃. Отличаются термостойкостью и шлакоустойчивостью. Огнеупорность таких материалов — до 1500°C Применяют в стекловаренной и цементной промышленности.

Высокоглиноземистые огнеупоры содержат более 45% Al₂O₃; получают из бокситов. Их огнеупорность увеличивается с повышением содержания Al₂O₃ и при 60 % и более глинозема составляет 2000°C. Применяют для кладки доменных и стекловаренных печей.

2.2. Стекло, ситаллы

Стеклами называют переохлажденные жидкости, не успевшие при остывании перейти в кристаллическое состояние. Иными словами стекла — это жидкости, имеющие бесконечно большую вязкость. Последнее и придает им многие свойства твердого тела. В отличие от истинно твердых тел стекла при нагревании не плавятся, а размягчаются, постепенно переходя в пластичное, а затем и в жидкое состояние. При охлаждении процесс идет в обратной последовательности. Еще одна отличительная черта стекол — *изотропность* — одинаковость свойств во всех направлениях.

Способность к образованию стекол характерна для многих минеральных и органических веществ. Наиболее ярко эта способность выражена у диоксида кремния (SiO_2) и соединений на его основе — силикатов, к которым относится большинство природных минералов. В стеклообразном состоянии могут находиться и многие другие материалы, например, полимеры (всем известен термин «плексиглас» — органическое стекло). В последние годы даже металлы удалось получить в стеклообразном состоянии.

Стекла по сравнению с кристаллическими веществами обладают повышенной внутренней энергией (скрытой энергией кристаллизации), поэтому вещество в стеклообразном состоянии *метастабильно* (термодинамически не устойчиво). Из-за этого обычное стекло при некоторых условиях, а иногда и самопроизвольно начинает кристаллизоваться (этот процесс в стекольной промышленности называют «зарухание» или расстекловывание). Расстекловывание является браком стеклоизделий.

Этот же процесс, но проводимый направленно с целью частичной или полной кристаллизации расплава, используется для получения стеклокристаллических материалов — *ситаллов* и *каменного литья*.

В строительстве, за малым исключением, применяют *силикатное стекло*, получаемое в промышленных масштабах из простейшего ми-

нерального сырья: кварцевого песка, мела, соды и других компонентов (далее вместо термина «силикатное стекло» будет использоваться термин «стекло»).

Прозрачность и возможность окраски стекла в любые цвета, высокая химическая стойкость, достаточно высокая прочность и твердость, электроизоляционные и многие другие ценные свойства делают стекло незаменимым строительным материалом. Его используют не только для сооружения светопрозрачных конструкций (окон, витражей, фонарей), но и как конструкционный и отделочный материал. В современном строительстве высотные здания часто имеют фасады, полностью выполненные из стекла с улучшенными декоративными, светоотражающими и теплозащитными свойствами. Кроме того, из стекла получают различные стеклоизделия (блоки, трубы, стеклопрофилит), эффективные теплоизоляционные материалы (пеностекло и стеклянную вату), а также стекловолокно и стеклоткани.

Необходимо отметить, что на процесс стекловарения расходуется очень много энергии, и при этом в атмосферу поступает много вредных выбросов. Поэтому и экологически, и экономически целесообразно вырабатывать стеклоизделия из вторичного сырья (стеклобоя, стеклянной посуды и т. п.). Это оценили в большинстве стран Западной Европы, где до 80 % стекла получают именно таким образом.

Получение стекла. Современное стекольное производство включает в себя три этапа: подготовка сырья, стекловарение и формование стеклоизделий.

Химический состав обыкновенного оконного стекла по основным оксидам следующий: SiO_2 — 71...72 %; Na_2O — 15...16%; CaO - 5...7%; MgO - 3...4%; Al_2O_3 - 2...3 %; содержание Fe_2O_3 не более 0,1 %, так как оксиды железа придают стеклу зеленовато-коричневый («бутылочный») цвет и снижают светопропускание. Основные оксиды вводятся в сырьевую шихту в виде следующих веществ.

Кремнезем (SiO_2) вводят в виде кварцевого песка, молотых кварцитов или песчаников. Основное требование к кремнеземистому сырью — минимальное количество примесей, особенно оксидов железа. Это основной стеклообразующий оксид, повышающий тугоплавкость и химическую стойкость стекла.

Глинозем (Al_2O_3) поступает в сырьевую шихту в виде полевых шпатов и каолина. Его влияние на свойства стекла аналогично действию SiO_2 .

Оксид натрия (Na_2O) вводят в стекло в виде соды и сульфата натрия. Na_2O понижает температуру плавления стекла, повышает коэффициент термического расширения и уменьшает химическую стойкость.

Оксиды кальция (CaO) и *магния* (MgO) вводят в стекольную шихту в виде мела, мрамора, известняка, доломита и магнезита. Эти оксиды повышают химическую стойкость стекла.

В специальные стекла вводят оксиды бора, свинца, бария и др.

Вспомогательные сырьевые материалы делят на осветлители — вещества, способствующие удалению из стекломассы газовых пузырей и обесцвечиватели — вещества, обесцвечивающие стекольную массу; глушители — вещества, делающие стекло непрозрачным. *Красители* для стекла могут быть молекулярными, полностью растворяющимися в стекломассе, и коллоидными, равномерно распределяющимися в стекломассе в виде мельчайших (коллоидных) частиц. К первым относятся соединения кобальта (синий цвет), хрома (зеленый), марганца (фиолетовый), железа (коричневый и сине-зеленые тона), а ко вторым — металлическое золото (рубиновый), серебро (желтый), селен (розовый).

Перед варкой стекла сырьевые материалы измельчают, тщательно смешивают в требуемых соотношениях, брикетируют и подают в стекловаренную печь.

Обычное стекло получают в непрерывно действующих ваннных печах с полезным объемом до 600 м³ и суточной производительностью более 300т. Для варки специальных (оптических, цветных и др.) стекол применяют периодически действующие ванны, а также горшковые печи.

Стекловарение — главнейшая операция стекольного производства. На первой стадии этого процесса — *силикатообразовании* — щелочные компоненты образуют с частью кремнезема силикаты, плавящиеся уже при 1000...1200° С. В этом расплаве при дальнейшем нагревании растворяются наиболее тугоплавкие компоненты SiO₂ и Al₂O₃. Образующаяся при этом масса неоднородная по составу и насыщена газовыми пузырьками.

Удаление пузырьков и полная гомогенизация расплава осуществляется на второй наиболее длительной стадии стекловарения — *стеклообразовании* — при температуре 1400... 1600°С. Третья заключительная стадия — *студка* — охлаждение стекломассы до температуры, при которой она приобретает оптимальную для данного метода формования стеклоизделий вязкость.

Метод выработки (формования) зависит от вида изделия. Для получения строительного стекла используют вытяжку, прокат, прессование.

При охлаждении стекла вследствие низкой его теплопроводности в нем возникают большие градиенты температур, вызывающие внутренние напряжения. Наиболее опасным моментом с этой точки зрения является переход стекла от вязкопластического состояния к хрупкому, поэтому для снятия внутренних напряжений после формования производят отжиг — охлаждение по специальному режиму: быстрое до начала затвердевания стекломассы, очень медленное в опасном интервале температур (600..300° С) и вновь быстрое до нормальной температуры.

Основной вид строительного стекла — листовое. С начала XX в. большая часть листового стекла стала производиться (а в России производится и до сих пор) *методом вертикального вытягивания* на машинах ВВС. Так

получают стекла толщиной до 6 мм. В 1959 г. появился новый способ получения высококачественного стекла — *флоат-метод*, при котором горячая стекломасса выливается на поверхность расплавленного металла (обычно олова) и формуется на нем. Производительность таких установок до 3...4 тыс. м²/ч. Размер листов: ширина до 3 м; толщина от 2 до 25 мм. Преимущества флоат-метода — стабильная толщина листа и высокое качество поверхности, не требующее дальнейшей полировки. В Европе большая часть стекла вырабатывается именно этим методом.

Силикатные стекла отличаются необычным сочетанием свойств, высокой прочностью и ярко выраженной хрупкостью, свето- к радио прозрачностью, абсолютной водонепроницаемостью и универсальной химической стойкостью. Все это объясняется спецификой состава и строения стекла.

Плотность стекла зависит от химического состава и для обычных строительных стекол составляет 2400...2600 кг/м³. Плотность оконного стекла — 2550 кг/м³. Высокой плотностью отличаются стекла, содержащие оксид свинца («богемский хрусталь») — более 3000 кг/м³. Пористость и водопоглощение стекла практически равны 0 %.

Механические свойства. Стекло в строительных конструкциях чаще подвергается изгибу, растяжению и удару и реже сжатию, поэтому главными показателями, определяющими его механические свойства, следует считать прочность при растяжении и хрупкость.

Прочность стекла при растяжении составляет от 30 до 60 МПа. При растяжении 300...500 МПа, т. е. почти в 10 раз выше, чем у листового стекла. Сильно снижают прочность стекла на растяжение царапины; на этом основана резка стекла алмазом. Прочность стекла при сжатии высока — 900... 1000 МПа, т. е. почти как у стали и чугуна. В диапазоне температур от — 50 до + 70° С прочность стекла практически не изменяется. Стекло при нормальных

температурах отличается тем, что у него отсутствуют пластические деформации. При нагружении оно подчиняется закону Гука вплоть до хрупкого разрушения. *Модуль упругости стекла* $E = (7...7,5) \cdot 10^4$ МПа.

Хрупкость — главный недостаток стекла. Основной показатель хрупкости — отношение модуля упругости к прочности при растяжении E/R_p . У стекла оно составляет 1300...1500 (у стали 400...460, каучука 0,4...0,6). Кроме того, однородность строения (гомогенность) стекла способствует беспрепятственному развитию трещин, что является необходимым условием для проявления хрупкости.

Твердость стекла, представляющего собой по химическому составу вещество, близкое к полевым шпатам, такая же, как у этих минералов, и в зависимости от химического состава находится в пределах 5...7 по шкале Мооса.

Оптические свойства стекла характеризуются светопропусканием (прозрачностью), светопреломлением, отражением, рассеиванием и др. Обычные силикатные стекла, кроме специальных, пропускают всю видимую часть спектра (до 88...92 %) и практически не пропускает ультрафиолетовые и инфракрасные лучи. Показатель преломления строительного стекла ($n = 1,50...1,52$) определяет силу отраженного света и светопропускание стекла при разных углах падения света. При изменении угла падения света с 0 до 75° светопропускание стекла уменьшается с 90 до 50 %. Теплопроводность различных видов стекла мало зависит от их состава и составляет 0,6...0,8 Вт/(м·К), что почти в 10 раз ниже, чем у аналогичных кристаллических минералов. Например, теплопроводность кристалла кварца — 7,2 Вт/(м·К).

Коэффициент линейного температурного расширения стекла относительно невелик (для обычного стекла $9 \cdot 10^{-6}$ К⁻¹). Но из-за низкой теплопроводности и высокого модуля упругости напряжения, развивающиеся в стекле при резком одностороннем нагреве (или охлаждении), могут

достигать значений, приводящих к разрушению стекла. Это объясняет относительно малую *термостойкость* (способность выдерживать резкие перепады температур) обычного стекла. Она составляет 70...90° С.

Звукоизолирующая способность стекла довольно высока. Стекло толщиной 1 см по звукоизоляции приблизительно соответствует кирпичной стене в полкирпича — 12 см.

Химическая стойкость силикатного стекла — одно из самых уникальных его свойств. Стекло хорошо противостоит действию воды, щелочей и кислот (за исключением плавиковой и фосфорной). Объясняется это тем, что при действии воды и водных растворов из наружного слоя стекла вымываются ионы Na^+ и Ca^{++} и образуется химически стойкая пленка, обогащенная SiO_2 . Эта пленка защищает стекло от дальнейшего разрушения.

Основной вид стекла, применяемый в строительстве, — листовое стекло, используемое для остекления оконных и дверных проемов, витрин и т. п. Наряду с этим все шире развивается выпуск листового стекла со специальными свойствами, например, теплопоглощающего, светоотражающего, увиолевого, защитного, декоративного и др.

Листовое оконное стекло вырабатывается шести марок толщиной 2,5; 3; 4; 5 и 6 мм. Ширина листов — 250...1600 мм, длина — до 2200 мм. Масса 1 м^2 — 2...5 кг. Светопропускание — не менее 87%. К дефектам оконного стекла относятся газовые включения (пузырьки), свиль и «полосность» (неровность поверхности).

Витринное стекло — листовое стекло толщиной 6... 10 мм и размером до 3500 x 6000 мм. Витринное стекло, как правило, делают полированным.

Матовое стекло получают пескоструйной обработкой или обработкой в парах плавиковой кислоты (HF).

Специальное листовое стекло выполняет и другие важные функции: теплоизоляция зимой и теплозащита летом; звукоизоляция и защита от утечки информации.

Теплоизоляционные стекла отличаются от обычных тем, что благодаря специальному тонкому покрытию на внутренней стороне стекла они снижают долю теряемого через стекло тепла путем отражения инфракрасной части спектра («тепловых лучей») обратно вовнутрь помещения. Светопропускание таких стекол немного ниже, чем у обычных,— 72...79 %.

Защитные стекла — стекла с повышенными прочностными свойствами, не раскалывающиеся на опасные остроугольные осколки: закаленное стекло получают специальной термической обработкой стекла, за счет чего повышается прочность на изгиб в 5...8 раз и прочность на удар в 4...6 раз, армированное стекло получают путем запрессовки в расплавленную стекломассу во время ее проката чистой сетки из хромированной стальной проволоки. *Ламинированное стекло* упрочняется с помощью эластичной полимерной пленки, запрессованной между слоями стекла. Такие стекла получили название «триплекс».

Подобный композиционный листовый материал из трех слоев стекла и двух слоев полимерной пленки делает стекло пуленепробиваемым.

Самые современные варианты специальных стекол изготавливают таким образом, что функциональные слои (светоотражающие, теплозащитные и т. п.) наносятся на полимерную пленку, и они оказываются внутри слоистой конструкции, защищающей их от повреждения. Такой метод и более технологичен, так как напыление слоев металла или оксидов проще производить на полимерную пленку, чем на лист стекла.

Стекла обладают исключительно высокой стойкостью к действию химически агрессивных сред, высокой твердостью, нулевым водопоглощением (т. е. абсолютной морозостойкостью) и при этом способны окрашиваться в различные цвета красками, не теряющими яркости от атмосферных воздействий. Благодаря гладкости поверхности загрязнения практически не задерживаются на стекле и легко смываются водой. Такая

совокупность свойств позволяет получать из стекла высококачественные отделочные материалы.

Из стекла изготавливают широкую номенклатуру изделий: стеклопакеты, стеклоблоки, стеклопрофилит, кровельные волнистые листы, дверные полотна и др. *Стеклопакеты* — наиболее распространенный вид изделий из стекла. Получают стеклопакеты из двух (одинарный стеклопакет) или трех (двойной стеклопакет) листов стекла, герметично соединенных между собой по контуру. Между листами стекла находится прослойка из сухого воздуха или инертного газа. Соединение листов в стеклопакет может осуществляться склейкой, пайкой или сваркой.

Стеклопакеты применяют для остекления окон и других световых проемов. Использование стеклопакетов имеет существенные преимущества перед обычным остеклением листовым стеклом, так как они не запотевают, не замерзают и не нуждаются в протирке внутренних поверхностей. Стеклопакеты имеют низкую теплопроводность, а звукопроницаемость окон со стеклопакетом в 2...3 раза ниже обычных. *Стекланные блоки* целесообразно использовать в тех случаях, когда необходимо получить светопрозрачную ограждающую конструкцию с хорошими тепло- и звукоизоляционными характеристиками.

Стеклоблоки вырабатываются из горячей стекломассы на пресс-автоматах, формирующих половинки блоков, а затем сваривающие их. При остывании в блоках образуется разряжение, обеспечивающее хорошие изоляционные свойства. Внутренняя поверхность блоков имеет рифление, сообщающее блоку светорассеивающие свойства.

Размеры стеклоблоков от 200 x 200 до 400 x 400 мм при толщине до 100 мм. Блоки могут быть бесцветными и цветными. Светопропускание блоков -- 50...60 %. Коэффициент теплопроводности — 0,4...0,45 Вт/(м • К), т.е. почти в 2 раза ниже, чем у кирпича. Кроме обычных блоков изготавливают *двухкамерные*

(с перегородкой, уменьшающей теплопроводность блока почти в 1,5 раза) и *светонаправленные* (со специальным рифлением, дающим направленный поток света).

Стеклянные трубы благодаря высокой химической стойкости, гладкости поверхности и прозрачности с успехом соперничают с металлическими. В ряде областей (например, химическая и пищевая промышленность) их применение предпочтительнее. Пропускная способность стеклянных труб на 5... 10 % выше, чем стальных при одинаковом диаметре. Основной недостаток стеклянных труб — хрупкость и низкая термостойкость (допустимый перепад температур 50° С). Стеклянные трубы используют как в вакуумных, так и в напорных (до 0,7 МПа) сетях. *Стекловолокно* получают путем продавливания стекольного расплава через тончайшие фильеры (отверстия в твердых материалах) с последующей вытяжкой и намоткой на бобины. Диаметр волокна — 3...100 мкм, длина — до 20 км (для непрерывного волокна). Более короткие (1...50 см) штапельные волокна получают раздувом расплава паром. Из стекловолокна получают стеклянные ткани и стекловойлок, которые используют как армирующий компонент при производстве стеклопластиков или в качестве основы в рулонных кровельных и гидроизоляционных материалах (например, стеклоизол, стеклорубероид).

Пеностекло — блоки из вспученного в момент нахождения в расплавленном состоянии стекла. По структуре и свойствам пеностекло напоминает вулканическую пемзу и используется как теплоизоляционный материал

Ситаллы — стеклокристаллические материалы, получаемые путем направленной частичной кристаллизации стекол. Структура ситаллов напоминает микробетон, где наполнителем являются кристаллы, а вяжущим — прослойки стекла. Доля стеклофазы в ситаллах обычно 20...40 %.

Кристаллическая фаза состоит из микрокристаллов размером около 1 мкм. Благодаря такому строению ситаллы сохраняют в себе многие положительные свойства стекла, в том числе и его технологичность, но лишены его недостатков: хрупкости, низкой термостойкости. Сырье для производства ситаллов такое же, как и для стекла, но в расплав вводятся вещества-модификаторы, обеспечивающие направленную кристаллизацию.

Для строительных целей весьма перспективны *шлакоситалы*, получаемые на основе металлургических шлаков и модификаторов — CaF_2 , TiO_2 и др. У шлакоситаллов очень высокая прочность ($R_{\text{сж}} = 300\text{...}600$ МПа; $R_{\text{иж}} = 90\text{...}120$ МПа), износостойкость и химическая стойкость. По долговечности шлакоситалл может конкурировать с природными каменными материалами (гранит, габбро и т. п.).

Применение шлакоситаллов перспективно для химической промышленно-сти (трубы, плитки, детали насосов), в гидротехнике (для облицовки турбинных камер, водосливов), в дорожном строительстве и т. п.

2.3. Каменное и шлаковое литье

Из горных пород и металлургических шлаков методом *литья из расплавов* можно получить разнообразные строительные материалы с высокими эксплуатационными свойствами.

В качестве исходного сырья для производства каменного литья применяют магматические (базальт, диабаз) и осадочные (доломит, известняк, песок) горные породы. Первые дают темноокрашенные изделия, а вторые — светлоокрашенные. Для получения каменного литья возможно использование металлургических шлаков; особенно эффективно их использование в огненно-жидком состоянии.

Производство литых каменных изделий начинается с подготовки и плавления ($1400\text{...} 1500^\circ \text{C}$) сырьевой шихты. Полученный расплав выливается

в формы и подвергается *медленному* охлаждению для прохождения кристаллизации. С целью ускорения кристаллизации вводят добавки-минерализаторы, служащие центрами кристаллизации. Последняя операция — *отжиг* — второй этап медленного охлаждения, проводимый для снятия внутренних напряжений.

Изделия из каменного литья по своей однородности и техническим свойствам превосходят природные каменные материалы.

Плотность каменного литья 2700...3000 кг/м³; пористость — не более 1...2%; поры замкнутые, что обеспечивает нулевое водопоглощение и высочайшую морозостойкость. Прочность при сжатии составляет 200...250 МПа, при изгибе — 30...50 МПа, твердость 6...7 (по шкале Мооса), износостойкость очень высокая. Для каменного литья характерна очень высокая и универсальная химическая стойкость.

Литые каменные изделия используют для облицовки конструкций, подвергающихся серьезным агрессивным воздействиям: многократному замораживанию-оттаиванию, интенсивному истиранию, воздействию химически агрессивных веществ и т. п. Поэтому основными видами литых каменных изделий являются облицовочные плитки, брусчатка для мощения дорог, мелющие тела и облицовка для мельниц, труб. Диэлектрические свойства каменного литья используются в производстве электроизоляционных изделий.

Каменное литье светлых тонов применяют как материал для облицовки уникальных зданий и сооружений, а также для изготовления архитектурных деталей и скульптуры.

2.4. Основные минералы. Твердость и плотность минералов

Основу почвы, грунтов, каменных пород составляют сложные химические соединения – минералы.

Минералы - природные неорганические вещества, как правило, кристаллического строения. Для определения плотности образец минерала взвешивается, а его объем определяется гидростатически: по объему воды, вытесненным погруженным в нее образцом (правило Архимеда).

Образцы минералов, плотность которых по тем или иным причинам не может быть установлена таким методом, погружают последовательно в стандартный набор жидкостей с известной плотностью. При этом образец либо тонет в жидкости, либо всплывает, либо остается во взвешенном состоянии. В последнем случае разница между плотностью жидкости и образца является минимальной и нам достаточно знать плотность данной жидкости. Плотности некоторых минералов даны в таблице 2.4.1.

Для дисперсно-дискретных материалов (сыпучие, капиллярно-пористые тела) определяется объемный (удельный) вес, учитывающий наличие пористости.

Стандартная шкала твердости была предложена Фридрихом Моосом в 1811 г. Она представляет собой список из 10 минералов под номерами от 1 до 10, расположенных в порядке возрастания твердости. Алмаз, как наиболее твердое из природных веществ, имеет номер 10.

Шкала твердости Мооса

- | | |
|------------|-----------------|
| 1. Тальк | 6. Полевой шпат |
| 2. Гипс | 7. Кварц |
| 3. Кальцит | 8. Топаз |
| 4. Флюорит | 9. Корунд |
| 5. Апатит | 10. Алмаз |

Следует отметить, что разница в твердости между каждыми двумя соседними эталонами не одинакова. Обозначение твердости по шкале Мооса носит условный характер: например, хотя твердость алмаза равна 10, кварца

– 7, а талька – 1; фактически кварц тверже талька в 3500 раз, а алмаз тверже кварца в 1150 раз.

Таблица 2.4.1. **Плотность основных минералов.**

Минерал	Плотность г/см ³	Минерал	Плотность г/см ³
Улексит	1,0	Эпидот	3,4-3,6
Опал	2,1	Алмаз	3,5
Сера	2,0	Топаз	3,5
Стильбит	2,1	Шпинель	3,6
Графит	2,1	Гроссуляр	3,6
Галит	2,1	Малахит	3,6-4,0
Натролит	2,2	Хризоберилл	3,7
Содалит	2,2	Сидерит	3,8-3,9
Гипс	2,3	Сфалерит	3,9-4,1
Апофиллит	2,3	Циркон	3,9-4,7
Вавеллит	2,4	Альмандин	3,9-4,3
Серпентин	2,5-2,6	Целестин	3,9
Микроклин	2,5-2,6	Корунд	3,9-4,0
Ортоклаз	2,7	Смитсонит	4,0-4,5
Скаполит	2,6-2,9	Рутил	4,2
Бирюза	2,6	Барит	4,5
Альбит	2,6-2,7	Пиролозит	4,4-5,0
Плагиоклаз	2,6	Антимонит	4,6
Кварц	2,6	Марказит	4,8
Олигоклаз	2,6-2,9	Пирит	5,0
Берилл	2,6-2,7	Борнит	5,
Вивианит	2,7	Гематит	5,
Кальцит	2,7	Бурнонит	5,
Пренит	2,8-2,9	Шеелит	5,9-6,1
Тремолит	2,9-3,1	Арсенопирит	6,0

Нефрит	3,0	Куприт	6,1
Турмалин	3,0-3,3	Англезит	6,3
Роговая обманка	3,0-3,4	Церуссит	6,5
Апатит	3,1-3,2	Касситерит	6,8-7,1
Андалузит	3,1-3,2	Пироморфит	7,0
Актинолит	3,1-3,3	Галенит	7,5
Флюорит	3,1	Висмут	9,7
Аксинит	3,2-3,3	самородный	
Оливин	3,2-4,3	Серебро	10,0-11,0
Тробернит	3,2	Платина	14,0-19,0
Жадеит	3,3	Золото	15,0-19,0
Диопсид	3,2-3,3		

3. Вяжущие вещества и изделия на их основе

Вяжущими веществами называют материалы, способные в определенных условиях (при смешивании с водой, нагревании и др.) образовывать пластично-вязкое тесто, которое самопроизвольно или под действием определенных факторов со временем затвердевает.

Переходя из пластично-вязкого состояния в камневидное, вяжущие вещества могут скреплять между собой камни (например, кирпич) или зерна песка, гравия и щебня. Это свойство вяжущих используется для получения бетонов, строительных растворов различного назначения, силикатного кирпича, асбестоцемента и других безобжиговых искусственных каменных материалов.

Современные вяжущие вещества в зависимости от состава делят на:

- *неорганические* (известь, цемент, гипсовые вяжущие и др.), которые для перевода в рабочее состояние затворяют водой (реже водными растворами солей);
- *органические* (битумы, дегти, синтетические полимеры и олигомеры), которые переводят в рабочее состояние нагревом либо с помощью

органических растворителей, либо сами они представляют собой вязкопластичные жидкости.

В строительстве в основном используют неорганические (минеральные) вяжущие вещества.

подавляющее число неорганических вяжущих способно твердеть самопроизвольно, без создания каких-либо условий. Однако находят применение и вяжущие, которые твердеют при определенных условиях и при введении специальных добавок, например вяжущие *автоклавно́го твердения*, способные твердеть только в среде насыщенного водяного пара при температуре 150...200°C и при повышенном давлении (в автоклаве). К последним относятся известково-кремнеземистые, известково-золевые, известково-шлаковые и другие вяжущие.

Главным качественным показателем вяжущих является отношение к воздействию воды. По этому признаку их делят на воздушные и гидравлические.

Воздушные вяжущие способны затвердевать и длительно сохранять прочность только на воздухе. По химическому составу можно выделить четыре группы воздушных вяжущих:

- известковые, состоящие, в основном, из гидроксида кальция $\text{Ca}(\text{OH})_2$;
- гипсовые, состоящие из сульфата кальция ($\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ или CaSO_4);
- магнезиальные, главным компонентом которых служит MgO ;
- жидкое стекло — раствор силиката натрия или калия. Последнее из-за способности сохранять прочность в кислых средах называют *кислотоупорным вяжущим*.

Гидравлические вяжущие способны твердеть и длительное время сохранять прочность не только на воздухе, но и в воде. Причем, находясь в воде, они могут повышать свою прочность. По химическому составу гидравлические вяжущие представляют собой сложные системы, состоящие в

основном из соединений четырех оксидов: $\text{CaO} - \text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Fe}_2\text{O}_3$. Эти соединения образуют основные типы гидравлических вяжущих: *гидравлическая известь, силикатные цементы*, состоящие преимущественно из силикатов кальция (*портландцемент и его разновидности*); *алюминатные цементы*, состоящие в основном из алюминатов кальция (*глиноземистый цемент и его разновидности*).

Главнейшие показатели качества вяжущих как воздушных, так и гидравлических,— *прочность и скорость твердения*.

Прочность вяжущих изменяется во времени, поэтому ее оценивают по прочности (обычно на сжатие и изгиб) *стандартных образцов*, твердевших определенное время в условиях, установленных стандартом. По этим показателям устанавливают *марку* вяжущего. Например, марка гипсовых вяжущих определяется по прочности образцов из гипсового теста спустя 2 ч после их изготовления, а портландцемента - по прочности образцов из цементно-песчаного раствора — через 28 суток твердения во влажных условиях при температуре $(20 \pm 2)^\circ \text{C}$.

Очень высокой скоростью твердения обладают гипсовые вяжущие: они полностью затвердевают за несколько часов; очень медленно твердеет воздушная известь: процесс ее твердения длится сотни лет.

В процессе твердения строители различают две стадии: схватывание и набор прочности (собственно твердение). Такое членение процесса имеет весьма условный характер, но оно удобно для практических целей.

Схватывание — потеря тестом вяжущего пластично-вязких свойств и формирование структуры с молекулярными, ван-дер-ваальсовыми связями. Момент, когда появляются признаки загустевания теста, т. е. оно начинает терять пластичность, говорит о *начале схватывания*. Момент, когда тесто превращается в твердое тело, окончательно теряя пластичность, но не приобретая еще практически значимой прочности, называют *концом схватывания*. Сроки схватывания гипса 4...30 мин, портландцемента —

несколько часов. Схватывание — явление, характерное для вяжущих, твердеющих по физико-химическому механизму (гипс, цементы). У простейших вяжущих (глина, известь), твердеющих в результате испарения воды, этап схватывания растягивается на очень длительный период времени, поэтому принято считать, что он просто отсутствует.

Сроки схватывания необходимо знать, так как все работы со смесями на основе вяжущих должны заканчиваться до начала их схватывания, пока они не потеряли пластичности. Повторное перемешивание после схватывания, особенно с добавлением воды, может привести к существенному снижению прочности материала на этом вяжущем.

Глина. В минералогической энциклопедии глинами называют частицы размером менее 2мкм. Глинистые частицы обычно имеют пластинчатое строение и хорошо смачиваются водой (гидрофильны). Благодаря большой общей поверхности частиц глина способна поглощать и удерживать большое количество воды (до 20...30 % по массе). При этом она разбухает и переходит в вязкопластичное состояние.

При высыхании глиняное тесто уменьшается в объеме (10...20 %): частицы глины, сближаясь, начинают прочно удерживаться друг около друга силами поверхностного натяжения тончайших пленок воды, остающейся между ними. Происходит затвердевание глины. Прочность высохшей глины достаточно велика (до 10 МПа).

Глиняное тесто при высыхании из-за сближения частиц дает значительную *усадку*. Чтобы уменьшить усадку и предотвратить растрескивание, в глиняное тесто добавляют более крупнозернистые материалы (песок, опилки).

При повторном увлажнении глина вновь размягчается, поэтому затвердевший глиняный материал необходимо предохранять от воздействия воды.

Глину в качестве вяжущего применяют как местный материал в сельском строительстве для штукатурных и кладочных растворов. Особенно

широко применяют глины для кладки печей. Из глины с добавлением соломы получают также материал для кладки стен — саман.

Благодаря высокой пластичности и способности удерживать воду на поверхности своих тонкодисперсных частиц глину используют в качестве пластифицирующей добавки к цементу в строительных растворах.

Гипсовые вяжущие — группа воздушных вяжущих веществ, в затвердевшем состоянии состоящих из двуводного сульфата кальция ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), включает в себя собственно гипсовые вяжущие (далее для краткости — гипс) и ангидритовые вяжущие (ангидритовый цемент и эстрихгипс).

Гипс (иногда используют устаревший термин *алебастр*) — быстротвердеющее воздушное вяжущее, состоящее из полуводного сульфата кальция $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$, получаемого низкотемпературной ($< 200^\circ \text{C}$) обработкой гипсового сырья.

Сырьем для гипса служит в основном природный гипсовый камень, состоящий из двуводного сульфата кальция ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) и различных механических примесей (глины и др.). В качестве сырья могут использоваться также гипсосодержащие промышленные отходы, например, фосфогипс, а также сульфат кальция, образующийся при химической очистке дымовых газов от оксидов серы с помощью известняка. Все это указывает на то, что проблем с сырьем для гипсовых вяжущих нет.

Получение гипса включает две операции:

- термообработку гипсового камня на воздухе при $150... 160^\circ \text{C}$; при этом он теряет часть химически связанной воды, превращаясь в полуводный сульфат кальция β -модификации- $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O} + 1,5\text{H}_2\text{O}$

- тонкий размол продукта, который можно производить как до, так и после термообработки; гипс - мягкий минерал (твердость по шкале Мооса - 2), поэтому размалывается он очень легко.

Таким способом производится основное количество гипса; обычно для этого используют гипсоварочные котлы. Гипс β -модификации далее для краткости будем называть просто «гипс».

Доступность сырья, простота технологии и низкая энергоемкость производства (в 4...5 раз меньше, чем для получения портландцемента) делают гипс дешевым и привлекательным вяжущим.

Твердение гипса заключается в переходе полуводного сульфата кальция при затворении его водой в двуводный: $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O} + 1,5\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

Внешне это выражается в превращении пластичного теста в твердую камнеподобную массу. При смешивании с водой полуводный гипс растворяется до образования насыщенного раствора и тут же гидратируется, образуя двугидрат, по отношению к которому раствор оказывается пересыщенным. Кристаллы двуводного гипса выпадают в осадок, а полуводный вновь начинает растворяться и т. д. В дальнейшем процесс может идти по пути непосредственной гидратации гипса в твердой фазе.

Конечной стадией твердения, заканчивающегося через 1...2 ч, является образование кристаллического сростка из достаточно крупных кристаллов двуводного гипса. Если высушить затвердевший гипс, то прочность его заметно (в 1,5...2 раза) повысится за счет дополнительной кристаллизации гипса из указанного выше раствора по местам контактов уже сформированных кристаллов. При повторном увлажнении процесс протекает в обратном порядке, и гипс теряет часть прочности.

Разница между количеством воды, необходимым для твердения вяжущего и для получения из него удобоформуемого теста,— основная проблема технологии материалов на основе минеральных вяжущих.

Для гипса проблема снижения водопотребности и, соответственно, снижения пористости и повышения прочности была решена путем

получения гипса термообработкой не на воздухе, а в среде насыщенного пара (в автоклаве при давлении 0,3...0,4 МПа) или в растворах солей ($\text{CaCl}_2 \cdot \text{MgCl}_2$ и др.). В этих условиях образуется другая кристаллическая модификация полуводного гипса — α -гипс, имеющая водопотребность 35...40 %.

Гипс α -модификации называют *высокопрочным гипсом*, так как благодаря пониженной водопотребности он образует при твердении менее пористый и более прочный камень, чем обычный гипс β -модификации. Из-за трудностей производства высокопрочный гипс не нашел широкого применения в строительстве.

Плотность полуводного гипса — 2,65...2,75 г/см³ (двуводного — 2,32 г/см⁵); насыпная плотность полуводного гипса — 800... 1100 кг/м³.

Замедляют схватывание гипса добавкой столярного клея, сульфитноспиртовой барды (ССБ), технических лигносульфонатов (ЛСТ), кератинового замедлителя, а также борной кислоты, буры и полимерных дисперсий (например, ПВА). Марку гипса определяют испытанием на сжатие и изгиб стандартных образцов-балочек 4 x 4 x 16 см спустя 2 ч после их формования. За это время гидратация и кристаллизация гипса заканчивается.

Установлено 12 марок гипса по прочности от Г-2 до Г-25 (цифра показывает нижний предел прочности при сжатии данной марки гипса в МПа). В строительстве используется в основном гипс марок от Г-4 до Г-7.

Плотность затвердевшего гипсового камня низкая (1200... 1500 кг/м³) из-за значительной пористости (60...30 % соответственно).

Гипсовое вяжущее — одно из немногих вяжущих, расширяющихся при твердении: увеличение в объеме достигает 0,2 %. Эта особенность гипсовых вяжущих позволяет применять их без заполнителей, не боясь растрескивания от усадки. Гипс хорошо сцепляется с древесиной и поэтому его целесообразно армировать деревянными рейками, картоном или целлюлозными волокнами и наполнять древесными стружками и опилками.

Гипсовые материалы не только являются *негорючими материалами*, но в силу своей пористости замедляют передачу теплоты, а при действии высоких температур в результате термической диссоциации выделяют воду, тем самым тормозя распространение огня.

В сухих условиях эксплуатации или при предохранении от действия воды (гидрофобизирующие покрытия, пропитки и т. п.) гипс очень перспективное с технической и экологической точек зрения вяжущее.

Главнейшая область применения гипса — устройство перегородок. Они могут быть заводского изготовления в виде панелей «на комнату», из гипсовых камней или из гипсокартонных листов. Последние широко применяют для отделки стен и потолков. *Гипсоволокнистые материалы* используют как выравнивающий слой под чистые полы. Из гипса делают акустические плиты. Небольшое по объему использование гипса — для декоративных архитектурных деталей (лепнина) и скульптур.

Формовочный гипс используют для изготовления форм (например, для керамики), медицинский гипс — в медицине для фиксации при переломах. Два последних вида гипса отличаются от строительного повышенными требованиями к тонкости помола. *Ангидритовое вяжущее и высокообжиговый гипс* — медленносхватывающиеся и медленнотвердеющие вяжущие, состоящие из безводного сульфата кальция CaSO_4 и активизаторов твердения.

Безводный сульфат кальция существует в природе в виде минерала — *ангидрита*, однако даже в тонкоразмолотом состоянии он не обнаруживает вяжущих свойств.

Высокообжиговый гипс (эстрих-гипс) получают обжигом природного гипсового камня $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ до высоких температур (800...950° С). При этом происходит его частичная диссоциация с образованием CaO. Последний служит активизатором твердения ангидрита. Окончательным продуктом

твердения такого вяжущего является двухводный гипс, определяющий эксплуатационные свойства материала.

Технологические свойства эстрих-гипса существенно отличаются от свойств обычного гипса. Сроки схватывания эстрих-гипса: начало не ранее 2 ч, конец - не нормируется. Благодаря пониженной водопотребности (у эстрих-гипса она составляет 30...35 % против 50...60 % у обычного гипса) эстрих-гипс после затвердевания образует более плотный и прочный материал. Прочность образцов-кубов из раствора жесткой консистенции состава вяжущее: песок = 1:3 через 28 суток твердения во влажных условиях — 10...20 МПа. По этому показателю устанавливают марку эстрих-гипса: 100; 150 или 200 (кгс/см²).

В настоящее время это вяжущее применяют ограниченно.

Магнезиальные вяжущие вещества (каустический магнезит MgO и каустический доломит MgO + CaCO₃) — тонкодисперсные порошки, активной частью которых является оксид магния.

Получают магнезиальные вяжущие умеренным (до 700...800° С) обжигом магнезита (реже доломита). При этом карбонат магния диссоциирует с образованием оксида магния $MgCO_3 \rightarrow MgO + CO_2$, а карбонат кальция CaCO₃ (в доломите) остается без изменения и является балластной частью вяжущего. Обожженный продукт размалывают.

При затворении водой оксид магния гидратируется очень медленно, проявляя слабые вяжущие свойства. Магнезиальные вяжущие принято затворять раствором *хлорида* или *сульфата магния*. В этом случае гидратация протекает значительно быстрее с образованием гидрата оксихлорида магния (3MgO·MgCl₂·6H₂O), уплотняющего образующийся материал.

Сроки схватывания каустического магнезита зависят от температуры обжига и тонкости помола и обычно находятся в пределах: начало - не ранее 20 мин; конец - не позднее 6 ч.

Твердение начинается интенсивно, и через сутки вяжущее достигает прочности 10... 15 МПа; через 28 суток воздушного твердения прочность составляет 30...50 МПа. В жестких смесях прочность может достигать 100 МПа.

Магнезиальные вяжущие применяются для устройства бесшовных монолитных, так называемых ксилолитовых полов. *Ксилолит* — бетон на магнезиальном вяжущем с наполнителем из древесных опилок.

Растворимое стекло — силикаты натрия ($\text{Na}_2\text{O}\cdot m\text{SiO}_2$) или калия ($\text{K}_2\text{O}\cdot m\text{SiO}_2$), где m — модуль стекла, находящийся в пределах для натриевого стекла 2,0...3,5, а для калиевого 3,5...4,5. Растворимое стекло получают сплавлением смеси кварцевого песка соответственно с содой Na_2CO_3 (или сульфатом натрия Na_2SO_4) и поташем K_2CO_3 в стекловаренных печах при 1300...1400°C. Образовавшийся расплав быстро охлаждают. При этом он распадается на полупрозрачные желто-зеленые куски, называемые *силикат-глыбой*.

В строительстве обычно используют раствор силикат-глыбы в воде - *жидкое стекло* (в быту такой раствор называют *силикатный клей*). Растворение производится в автоклаве насыщенным паром. Плотность раствора 1,5...1,3 г/см³, что соответствует концентрации раствора 70...50 %.

При растворении в воде силикаты натрия и калия гидролизуются с образованием коллоидного раствора кремневой кислоты $\text{Si}(\text{OH})_4$ и соответствующих щелочных гидроксидов. В этих условиях (рН = 12...13) раствор кремневой кислоты относительно стабилен. Жидкое стекло имеет повышенную вязкость из-за того, что кремнекислота в нем находится в полимеризованном виде. При обезвоживании (испарении или отсасывании воды) или при нейтрализации щелочей (например, углекислым газом воздуха) раствор теряет стабильность и переходит в гель, уплотняющийся со временем и приобретающий значительную прочность. Так, растворимое стекло проявляет вяжущие свойства. В обычных условиях этот процесс может идти очень долго, поэтому используют добавки — ускорители твердения.

Жидкое стекло применяют для изготовления кислотоупорных и жаростойких замазок и бетонов, а также как связующее в силикатных красках (только калиевое стекло).

Кислотоупорный цемент изготавливают из тонко измельченной смеси кислотоупорного наполнителя (кварца, диабаз, андезита и т. п.) и ускорителя твердения — кремнефтористого натрия Na_2SiF_6 . Название «цемент» для такого порошка имеет условный характер, так как сам он вяжущими свойствами не обладает и при смешивании с водой не твердеет. Вяжущим веществом в таких цементах является жидкое стекло, которым этот «цемент» и затворяют.

Ориентировочное количество Na_2SiF_6 от массы растворимого стекла (т. е. сухого вещества в составе жидкого стекла) в кислотоупорных растворах и бетонах составляет 10...15 %.

Сроки схватывания кислотоупорного цемента: начало — не ранее 20 мин., конец — не позднее 8 ч. У этого цемента нормируется предел прочности при *растяжении* после 28 суток твердения — не менее 2,0 МПа. Прочность при сжатии бетонов на кислотоупорном цементе составляет 20...60 МПа.

Основным достоинством и отличием кислотоупорного цемента от других неорганических вяжущих является способность работать в условиях действия большинства кислот (за исключением плавиковой и фосфорной).

Воздушная известь активно используется им в строительстве и многих других отраслях. Это объясняется доступностью сырья, простотой технологии и достаточно хорошими свойствами извести.

Сырьем для получения извести служат широко распространенные осадочные горные породы: известняки, мел, доломиты, состоящие преимущественно из карбоната кальция (CaCO_3). Если куски таких пород прокалить на огне, то карбонат кальция перейдет в оксид кальция:



После прокаливания куски, теряя с углекислым газом 44 % своей массы, становятся легкими и пористыми. При смачивании водой они бурно реагируют с ней, превращаясь в тонкий порошок, а при избытке воды в пластичное тесто. Этот процесс, сопровождающийся сильным выделением теплоты и разогревом воды вплоть до кипения, называют *гашением извести*. Образующееся при избытке взятой воды пластичное тесто используют в качестве вяжущего. При испарении воды тесто загустевает и переходит в камневидное состояние. Недостаток извести — медленное твердение: процесс набора прочности твердеющей известью растягивается на годы и десятилетия. В реальные сроки строительства прочность затвердевшей извести, как правило, не превышает 0,5...2 МПа.

Производство. Сырье — карбонатные породы (известняки, мел, доломиты), содержащие не более 6...8 % глинистых примесей, обжигают в шахтных или вращающихся печах при температуре 1000... 1200° С. В процессе обжига CaCO_3 и MgCO_3 , содержащиеся в исходной породе, разлагаются на оксиды кальция CaO и магния MgO и углекислый газ. Неравномерность обжига может привести к образованию в извести недожога и пережога. Недожог (неразложившийся CaCO_3), получается при слишком низкой температуре обжига, снижает качество извести, так как не гасится и не обладает вяжущими свойствами. Пережог образуется при слишком высокой температуре обжига в результате сплавления CaO с примесями кремнезема и глинозема. Зерна пережога медленно гасятся и могут вызвать растрескивание и разрушение уже затвердевшего материала.

Куски обожженной извести — *комовая известь* — обычно подвергают гашению водой: $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca(OH)}_2 + 1160 \text{ кДж/кг}$

Выделяющаяся при гашении теплота резко повышает температуру извести и воды, которая может даже закипеть. При гашении куски комовой извести увеличиваются в объеме и распадаются на мельчайшие (до 1 мкм) частицы.

В зависимости от количества взятой для гашения воды получают: гидратную известь - пушонку (35...40 % воды от массы извести, т. е. в количестве, необходимом для протекания реакции гидратации — процесса гашения); известковое тесто (воды в 3...4 раза больше, чем извести), известковое молоко (количество воды превышает теоретически необходимое в 8... 10 раз).

Виды воздушной извести: кальциевая — MgO не более 5 %; магниевая — MgO > 5...20 %; доломитовая — MgO > 20...40 %.

Негашеная комовая известь представляет собой мелкопористые куски размером 5...10см, получаемые обжигом известняка.

Негашеную порошкообразную известь получают помолом комовой в шаровых мельницах в тонкий порошок. Часто в известь во время помола вводят активные добавки (гранулированные доменные шлаки, золы ТЭС и т. п.) в количестве 10...20 % от массы извести. Преимущество порошкообразной извести перед комовой состоит в том, что при затворении водой она ведет себя подобно гипсовым вяжущим: сначала образует пластичное тесто, а через 20...40 мин схватывается. Это объясняется тем, что вода затворения, образующая тесто, частично расходуется на гашение извести.

При использовании порошкообразной извести воды берут 100...150 % от массы извести в зависимости от качества извести и количества активных добавок в ней. Определяют количество воды опытным путем.

Гидратная известь (пушонка) — тончайший белый порошок, получаемый гашением извести, обычно в заводских условиях, небольшим количеством воды (несколько выше теоретически необходимого). При гашении в пушонку известь увеличивается в объеме в 2...2,5 раза. Насыпная плотность пушонки — 400...450 кг/м³; влажность — не более 5 %.

Гашение извести можно производить как на строительстве объекта, так и централизованно. В последнем случае гашение совмещается с мокрым

помолом непогасившихся частиц, что увеличивает выход извести и улучшает ее качество.

На строительстве известь гасят в гасильных ящиках (творилах). В ящик загружают комовую известь не более чем на 1/3 его высоты (толщина слоя обычно около 100 мм), поскольку при гашении известь увеличивается в объеме в 2,5...3,5 раза. Быстрогасящую известь заливают сразу большим количеством воды, чтобы не допустить перегрева и кипения воды, медленногасящую — небольшими порциями, следя за тем, чтобы известь не охладилась. Из 1 кг извести в зависимости от ее качества получается 2...2,5 л известкового теста. Этот показатель называют «выход теста».

Большая удельная поверхность частиц $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и их гидрофильность обуславливает большую водоудерживающую способность и пластичность известкового теста. После отстаивания известковое тесто содержит около 50% твердых частиц и 50% воды. Каждая частица окружена тонким слоем адсорбированной воды, играющей роль своеобразной смазки, что обеспечивает высокую пластичность известкового теста и смесей с использованием извести.

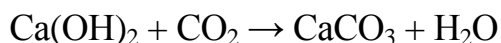
По окончании гашения жидкое известковое тесто через сетку сливают в известохранилище, где его выдерживают до тех пор, пока полностью не завершится процесс гашения (обычно не менее двух недель). Известковое тесто с размером непогасившихся зерен менее 0,6 мм можно применять сразу. Крупные непогасившиеся зерна опасны тем, что среди них могут быть пережженные зерна (пережог). Обычно в хорошо выдержанном тесте соотношение воды и извести около 1:1.

Известковое тесто состоит из насыщенного водного раствора $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и мельчайших нерастворившихся частиц извести; По мере испарения из него воды образуется пересыщенный раствор $\text{Ca}(\text{OH})_2$, из которого выпадают кристаллы, увеличивающие содержание твердой фазы. При этом происходит

усадка твердеющей системы, которая в определенных условиях (например, при твердении известковой смеси на жестком основании — штукатурный слой) может вызвать растрескивание материала. Поэтому известь всегда применяют с заполнителями (например, известково-песчаные растворы) или в смеси с другими вяжущими для придания материалу пластичности.

Известковое тесто, защищенное от высыхания, неограниченно долго сохраняет пластичность, т. е. у такой извести «отсутствует» процесс схватывания. Затвердевшее известковое тесто при увлажнении вновь переходит в пластичное состояние (известь — неводостойкий материал).

Однако при длительном твердении (десятилетия) известь приобретает довольно высокую прочность и относительную водостойкость (например, в кладке старых зданий). Это объясняется тем, что на воздухе известь реагирует с углекислым газом, образуя нерастворимый в воде и довольно прочный карбонат кальция, т. е. как бы обратно переходит в известняк:



Процесс этот очень длительный, и полной карбонизации извести практически не происходит.

Применение, транспортирование, хранение. Воздушную известь применяют для приготовления кладочных и штукатурных растворов как самостоятельное вяжущее, так и в смеси с цементом; при производстве силикатного кирпича и силикатобетонных изделий; для получения смешанных вяжущих (известково-шлаковых, известково-зольных и др.) и для красок.

Негашеную известь, особенно порошкообразную, при транспортировании и хранении предохраняют от увлажнения. Порошкообразная известь - кипелка гасится даже влагой, содержащейся в воздухе. Максимальный срок хранения молотой извести в бумажных мешках 25 суток, в герметичной таре (металлические барабаны) — не ограничен.

Комовую известь транспортируют навалом в закрытых вагонах и автомашинах, порошкообразную — в бумажных мешках, а также в специальных автоцистернах. В таких же цистернах перевозят пушонку и известковое тесто.

Хранят комовую известь в сараях с деревянным полом, поднятым над землей на 30 см. Недопустимо попадание на известь воды, так как это может вызвать ее разогрев и пожар. На складах извести тушение пожара водой запрещается.

Получение водостойких вяжущих на основе извести базируется на обжиге известняков, имеющих примесь глины от 6 до 20%. В этом случае в обожженном продукте помимо CaO появлялись низкоосновные силикаты и алюминаты (например, $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$), способные к твердению в воде. Современные известьсодержащие вяжущие гидравлического твердения — группа низкомарочных (малопрочных) так называемых местных вяжущих. В эту группу входят смешанные вяжущие (известково-пуццолановые и известково-шлаковые), а также гидравлическая известь.

Смешанные вяжущие получают совместным измельчением негашеной извести (10...30%), гидравлической добавки (85...70%) и гипса (до 5%). В качестве добавки используют горные породы, содержащие активный кремнезем: вулканический пепел, пемзу, туф, диатомит, трепел и др. Такие вяжущие называют *известково-пуццолановыми*. Если в качестве добавки взят доменный гранулированный шлак, такие вяжущие называют *известково-шлаковыми*.

Известьсодержащие гидравлические вяжущие на начальной стадии (около 7 дн) должны твердеть в сухих условиях, а затем во влажных. По пределу прочности при сжатии стандартных образцов через 28 суток твердения известьсодержащие вяжущие делятся на марки 50; 100; 150 и 200 (кг/см^2).

Известьсодержащие гидравлические вяжущие применяют для приготовления растворов для кладки подземных частей зданий и бетонов. Срок хранения таких вяжущих из-за наличия в них негашеной извести не должен превышать 30 суток, причем во время хранения их тщательно предохраняют от увлажнения.

Строительная гидравлическая известь — продукт умеренного обжига при температуре 900... 1100° С мергелистых известняков (содержание глины 8..20 %). В состав гидравлической извести входят свободные оксиды кальция и магния (50...65 %) и низкоосновные силикаты и алюминаты кальция, которые и придают извести гидравлические свойства.

Гидравлическая известь, смоченная водой, полностью гасится, образуя пластичное тесто. В отличие от воздушной она быстрее твердеет, приобретая со временем водостойкость. Однако первые 1...2 недели гидравлическая известь должна твердеть в воздушно-влажных условиях, и только после этого ее можно помещать в воду.

Предел прочности при сжатии затвердевшей гидравлической извести 2...5 МПа. Применяют ее для низкомарочных растворов и бетонов, используемых в том числе и во влажных условиях.

Гидравлическая известь обладает рядом недостатков. Главные из них: необходимость твердения на воздухе первые 7... 14 сут, низкие прочность, морозо- и воздухоустойкость. Более совершенное вяжущее вещество получается путем *высокотемпературного обжига до спекания* смеси известняков и глины и обладает большей водостойкостью и прочностью. Эффективным вяжущим, является *портландцемент*. Это — гидравлическое вяжущее, получаемое тонким измельчением портландцементного клинкера и небольшого количества гипса (1,5...3 %). Клинкер получают обжигом до спекания сырьевой смеси, обеспечивающей в портландцементе преобладание силикатов кальция. К клинкеру для замедления схватывания цемента

добавляют гипс. Для улучшения некоторых свойств и снижения стоимости портландцемента допускается введение минеральных добавок.

Основные операции при получении портландцемента: приготовление сырьевой смеси, обжиг ее до получения цементного клинкера и помол клинкера совместно с добавками.

Соотношение компонентов сырьевой смеси выбирают с таким расчетом, чтобы полученный при обжиге клинкер имел следующий химический состав (%): CaO — 62...68, SiO_2 — 18..26, Al_2O_3 — 4...9, Fe_2O_3 — 2...6. В природе есть горная порода, обеспечивающая получение клинкера такого состава,— *мергель*, который представляет собой тесную смесь известняка с глиной. Но чаще используют известняк и глину (добываемые отдельно) в соотношении 3 : 1 (по массе). Кроме основных компонентов в сырьевую смесь вводят корректирующие добавки и промышленные отходы, обеспечивающие требуемый состав клинкера.

Тщательно подготовленную сырьевую смесь подают на обжиг во вращающуюся печь, которая представляет собой стальную трубу диаметром до 7 м и длиной до 185 м. Изнутри труба выложена огнеупорным кирпичом. Печь установлена под небольшим ($3..4^\circ$) углом к горизонту и вращается ($0,8..1,3 \text{ мин}^{-1}$), благодаря чему сырьевая смесь перемещается в ней от верхнего конца к нижнему, куда подается топливо. Максимальная температура обжига 1450°C . При таких высоких температурах оксид кальция CaO , образовавшийся в результате разложения известняка, взаимодействует с кислотными оксидами SiO_2 , Al_2O_3 и Fe_2O_3 , образующимися при разложении глины.

Продукты взаимодействия, частично плавясь и спекаясь друг с другом, образуют так называемый портландцементный клинкер — плотные твердые куски серого цвета. В состав портландцементного клинкера входят четыре основных минерала (табл. 8.1) и небольшое количество стеклообразного вещества.

Портландцементный клинкер в основном (на 60...80%) состоит из силикатов кальция, из-за чего портландцемент также называют силикатным цементом.

Для получения портландцемента клинкер размалывают в трубных или шаровых мельницах с гипсом и другими добавками. Свойства портландцемента зависят от его минерального состава и тонкости помола клинкера.

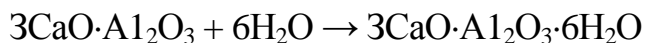
При взаимодействии с влагой воздуха активность портландцемента падает, поэтому его предохраняют от действия влаги. Портландцемент хранят в силосах (высоких цилиндрических емкостях из бетона или металла). На строительство его доставляют в специальных вагонах, автомобилях-цементовозах или упакованным в многослойные бумажные или полиэтиленовые мешки.

При смешивании с водой частицы портландцемента начинают растворяться, причем одновременно может происходить гидролиз (разложение водой) и гидратация (присоединение воды) продуктов растворения с образованием гидратных соединений.

По этой схеме (гидролиз и гидратация) взаимодействуют с водой главные компоненты клинкера алит C_3S и белит C_2S :



Алюминат кальция подвергается только гидратации, причем этот процесс идет очень быстро с образованием крупных кристаллов:



Добавка гипса, вводимая при помоле клинкера замедляет схватывание цемента на несколько часов из-за образования этtringита $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot (31 - 33)H_2O$.

Основной продукт твердения портландцемента — гидросиликаты кальция — практически нерастворимы в воде. Они выпадают из раствора сначала в виде геля (жесткого студня). Этот гель пронизывают, укрепляя его, кристаллы $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Гель гидросиликатов кальция со временем кристаллизуется. Остальные продукты взаимодействия клинкера с водой также участвуют в формировании структуры цементного камня и, естественно, влияют на его свойства.

Процесс гидратации зерен портландцемента из-за малой их растворимости растягивается на длительное время (месяцы и годы). Чтобы этот процесс мог протекать, необходимо постоянное присутствие воды в твердеющем материале. Однако нарастание прочности со временем замедляется. Поэтому качество цемента принято оценивать по прочности, набираемой им в первые 28 суток твердения.

Плотность портландцемента в зависимости от вида и количества добавок составляет 2900...3200 кг/м³, насыпная плотность в рыхлом состоянии 1000... 1100 кг/м³, в уплотненном — до 1700 кг/м³.

Тонкость помола характеризуется количеством цемента, проходящим через сито с сеткой № 008 (размер отверстий 0,08 мм) и его удельной поверхностью. Согласно ГОСТу через сито с сеткой № 008 должно проходить не менее 95 % цемента, при этом удельная поверхность у обычного портландцемента должна быть в пределах 2900...3000 см²/г и у быстротвердеющего портландцемента 3500...5000 см²/г.

Сроки схватывания портландцемента, рассчитываемые от момента затворения, должны быть: начало — не ранее 45 мин; конец — не позднее 10 ч. Эти показатели определяют при температуре 20°C. Если цемент затворяют горячей водой (более 40°C), может произойти очень быстрое схватывание.

Прочность портландцемента характеризуется его маркой. Марку портландцемента определяют по пределу прочности при сжатии и изгибе

образцов-балочек 40x40x160 мм, изготовленных из цементно-песчаного раствора (состава 1 : 3) стандартной консистенции и твердевших 28 суток (первые сутки в формах на влажном воздухе и 27 сут. в воде при 20°C).

Промышленность выпускает портландцемент четырех марок: 400; 500; 550 и 600 (цифра соответствует округленной в сторону уменьшения средней прочности образцов при сжатии выраженной в кгс/см²).

Тепловыделение при твердении. Твердение портландцемента сопровождается выделением большого количества теплоты. Так как эта теплота выделяется в течение длительного времени (дни, недели), заметного разогрева цементного бетона или раствора не происходит. Однако если объем бетона велик (например, при бетонировании плотин, массивных фундаментов), то потери теплоты в окружающее пространство будут незначительны по сравнению с общим количеством выделяющейся теплоты и возможен разогрев бетона до температуры 70...80°C, что приведет к его растрескиванию.

Равномерность изменения объема. При твердении цементное тесто уменьшается в объеме. Усадка на воздухе составляет около 0,5... 1 мм/м. При твердении в воде цемент немного набухает (до 0,5 мм/м). Однако изменение объема при твердении должно быть равномерным. Это свойство проверяют на лепешках из цементного теста, которые не должны растрескиваться после пропаривания в течение 3 ч (до пропаривания лепешки 24 ч твердеют на воздухе). Неравномерность изменения объема возникает из-за присутствия в цементе свободных СаО и MgO, находящихся в виде пережога.

Для удовлетворения требований современного строительства к цементам промышленность на основе портландцементного клинкера выпускает различные виды портландцемента:

-быстротвердеющий портландцемент (БТЦ) отличается быстрым ростом прочности в первые дни твердения. Выпускают БТЦ двух марок: 400 и 500,

которые в трехсуточном возрасте должны иметь предел прочности при сжатии соответственно не ниже 25 и 28 Мпа;

- *Пластифицированный портландцемент* получают, добавляя к клинкеру при помолу гидрофильные поверхностно-активные вещества (например, сульфитно-спиртовую барду ССБ) в количестве 0,15...0,25 %. Такой цемент повышает пластичность бетонных и растворных смесей по сравнению с обычным портландцементом при одинаковом расходе воды. Это позволяет уменьшить расход портландцемента, повысить прочность и морозостойкость бетонов и растворов.

Гидрофобный портландцемент получают, добавляя к клинкеру при помолу гидрофобные поверхностно-активные вещества ПАВ (0,05...0,5 % от массы цемента), образующие на зернах цемента водоотталкивающие пленки. В качестве таких добавок используют главным образом отходы переработки нефти (мылонафт, асидол). Гидрофобный портландцемент благодаря наличию защитных пленок при хранении и транспортировании даже во влажных условиях не намокает, не комкуется и почти не теряет своей активности.

Применяется гидрофобный цемент в тех случаях, когда трудно обеспечить необходимые условия хранения обычного цемента.

Белый портландцемент получают из белых каолиновых глин и чистых известняков или мела с минимальным содержанием окислов железа, марганца и хрома. В таком цементе практически нет алюмоферрита кальция C_4AF , имеющего серо-зеленый цвет. На основе белого цемента и щелочестойких пигментов (сурика, ультрамарина и др.) получают цветные цементы. Марки таких цементов 300, 400 и 500. Применяют белый и цветные цементы для отделочных работ.

Цементный клинкер — энергоемкий в производстве и дорогостоящий продукт. Поэтому во всех случаях, когда это допустимо, его заменяют

более дешевыми природными продуктами или промышленными отходами. К таким смешанным цементам относятся шлакопортландцемент, пуццолоновый цемент и кладочные цементы.

Шлакопортландцемент получают путем совместного помола доменного гранулированного шлака (21...80%), портландцементного клинкера (79...20 %) и гипса (не более 5 %).

Шлакопортландцемент выпускают трех марок: 300, 400 и 500. По коррозионной стойкости и водостойкости он превосходит обычный портландцемент, но твердеет несколько медленнее и при этом выделяет меньше теплоты. Недостаток шлакопортландцемента — пониженная по сравнению с обычным портландцементом морозостойкость.

Пуццолоновый портландцемент получают либо путем совместного помола портландцементного клинкера (79...60%), активной минеральной добавки (21...40%) и небольшого количества гипса, либо тщательным смешиванием этих же компонентов, но предварительно каждый из них измельчают. К активным минеральным добавкам относятся: вулканические туфы, пеплы и пемзы, диатомит, трепел, опока, золы и другие вещества. Активные добавки связывают выделяющийся при твердении цемента $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в нерастворимые гидросиликаты, благодаря чему повышаются водостойкость и коррозионная стойкость цементного камня. Пуццолоновые цементы отличаются низким тепловыделением при твердении и пониженной скоростью твердения. Морозо- и воздухостойкость пуццолоновых цементов ниже, чем портландцемента. Пуццолоновый портландцемент выпускают марок: 300 и 400. Пуццолоновый портландцемент применяют для гидротехнического строительства, а также для подземных и подводных сооружений.

Пуццолоновый портландцемент и шлакопортландцемент, требуют увлажнения во время твердения.

Цементы для строительных растворов (кладочные цементы) – это как бы разбавленный портландцемент. Содержание клинкера в таких цементах 20...30 %, а остальная часть цемента состоит из молотых активных и инертных (известняк, песок) добавок. Марка кладочных цементов 200. Такие цементы применяют для кладочных и штукатурных растворов и неармированных бетонов классов В12,5 и ниже. Использование кладочных цементов дает экономию цементного клинкера — наиболее дорогой части цементов.

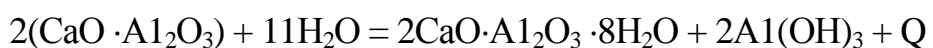
Глиноземистый цемент — быстротвердеющее гидравлическое вяжущее, состоящее преимущественно из моноалюмината кальция ($\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$). Свое название этот цемент получил от технического названия оксида алюминия Al_2O_3 — «глинозем». Сырьем для глиноземистого цемента служат бокситы и чистые известняки. *Бокситы* — горная порода, состоящая из гидратов глинозема ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) и примесей (в основном Fe_2O_3 , SiO_2 , CaO и др.). Бокситы широко используются в различных отраслях промышленности: для получения алюминия, абразивов, огнеупоров, адсорбентов и т.п., а месторождений с высоким содержанием Al_2O_3 очень немногие.

Производство глиноземистого цемента более энергоемко, чем производство портландцемента. Клинкер глиноземистого цемента получают либо плавлением в электрических или доменных печах (при 1500...1600° С), либо спеканием (при 1200...1300°С). Размол клинкера затруднен из-за его высокой твердости. В целом из-за того, что производство глиноземистого цемента очень энергоемко, а сырье (бокситы) — дефицитно, его стоимость в несколько раз выше, чем стоимость портландцемента.

Химический состав глиноземистого цемента, получаемого разными методами, находится в следующих пределах: CaO - 35...45 %; Al_2O_3 - 30...50 %; Fe_2O_3 - 0...15 %; SiO_2 - 5...15 %. В минеральном составе клинкера глиноземистых цементов преобладает *однокальциевый алюминат* $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ (CA),

определяющий основные свойства этого вяжущего. Кроме того, в нем присутствуют алюминаты — CA_2 , $C_{12}A_7$; двухкальциевый силикат C_2S , отличающийся, как известно, медленным твердением, и в качестве неизбежной балластной примеси — геленит - $2CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$.

Процесс твердения глиноземистого цемента и прочность образующегося цементного камня существенно зависят от температуры твердения. При нормальной температуре (до $+ 25^\circ C$) основной минерал цемента — CA взаимодействует с водой с образованием кристаллического гидроалюмината кальция и гидроксида алюминия в виде гелевидной массы:



Суммарное тепловыделение (Q) у глиноземистого цемента немного ниже, чем у портландцемента (около 300...400 кДж/кг), но протекает оно в очень короткие сроки (в первые сутки выделяется 70...80 % от общего количества теплоты). Поэтому возможен перегрев бетонов на глиноземистом цементе в случае больших объемов бетонирования.

У глиноземистого цемента удивительное сочетание свойств.

Сроки схватывания почти такие же, как у портландцемента: начало — не ранее 30 мин, конец — не позднее 12 ч (реально 4...5 ч).

После окончания схватывания прочность нарастает очень быстро (лавинообразно). Уже через сутки глиноземистый цемент набирает до 90 % от марочной прочности, которая у него определяется в 3-суточном возрасте. *Марки* у глиноземистого цемента такие же, как у портландцемента: 400; 500 и 600.

Усадка глиноземистого цемента при твердении на воздухе ниже, чем у портландцемента, в 3...5 раз. *Пористость* цементного камня также ниже (приблизительно в 1,5 раза). Это связано с тем, что при одинаковой с портландцементом водопотребности глиноземистый цемент при твердении химически связывает 30...45 % воды от массы цемента (портландцемент — около 20 %).

Глиноземистый цемент целесообразно использовать при аварийных и срочных работах, при зимних работах и в тех случаях, когда от бетона требуется высокая водостойкость и водонепроницаемость. Кроме того, глиноземистый цемент является компонентом многих *расширяющихся цементов*.

Специальная область использования глиноземистых цементов — *жаростойкие бетоны*. Объясняется это тем, что, во-первых, в продуктах твердения этого цемента нет $\text{Ca}(\text{OH})_2$, и, во-вторых, при температуре 700...800°C между продуктами твердения цемента и заполнителями бетона начинаются реакции в твердой фазе, по мере протекания которых прочность бетона не падает, а повышается, так как бетон превращается в керамический материал (опасность присутствия $\text{Ca}(\text{OH})_2$ заключается в том, что при нагреве он переходит в CaO , который при любом контакте с водой гасится, разрушая при этом бетон).

Портландцемент и материалы на его основе при твердении на воздухе обнаруживают усадку. Так, тесто на портландцементе при В/Ц = 0,45 имеет усадку на воздухе около 2,5 мм/м, а раствор на том же цементе ~1 мм/м. Из-за этого при бетонировании протяженных конструкций, например, покрытий полов, на них появляются трещины. В то же время растрескивание бетона абсолютно недопустимо, например, для конструкций, работающих под давлением воды, таких, как трубы, резервуары и т. п. Для этих целей применяют специальные *расширяющиеся и безусадочные цементы*.

Безусадочные цементы это расширяющиеся цементы, у которых расширение только компенсирует усадку. Поэтому такие цементы как бы сами уплотняют себя, делая бетон водонепроницаемым. В случае, если расширяющиеся цементы используются в железобетонных конструкциях, эффект расширения вяжущего может вызывать натяжение арматуры и сжатие самого бетона, что дополнительно защитит бетон от образования трещин.

Для строительных целей в основном используют цементы, в которых расширение достигается с помощью образования *эттрингита* — гидросульфоалюмината кальция $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot3\text{CaSO}_4\cdot(31-32)\text{H}_2\text{O}$. Образование эттрингита возможно при взаимодействии алюминатов и сульфатов кальция в водной среде. Как видно из формулы, в состав эттрингита входит большое количество воды. Именно это обстоятельство обеспечивает эффект расширения: исходные твердые продукты, взаимодействуя друг с другом и гидратируясь (т. е. присоединяя воду), *увеличиваются в объеме в 2...2,5раза*.

В твердеющем материале на расширяющемся цементе протекают два процесса — *расширение*, обусловленное процессом кристаллизации эттрингита с увеличением объема новообразований и ростом внутренних растягивающих напряжений, и препятствующий расширению процесс — *рост прочности* самого цементного камня.

Таким образом, главная задача при разработке составов расширяющихся и безусадочных вяжущих - правильный выбор не только *количества образующегося эттрингита*, но и *момента его образования* относительно процесса формирования структуры цементного камня. Для различных видов расширяющихся цементов период наиболее интенсивного и безопасного расширения цементного камня составляет от 12 ч до 3...7 суток в зависимости от свойств основного структурообразующего вяжущего.

3.1. Материалы на основе вяжущих веществ

В силу ряда причин изделия из одних только вяжущих не изготавливают. Вяжущие имеют высокую стоимость, обладают повышенной усадкой и ползучестью. Для исправления этих недостатков в изделия на основе минеральных (неорганических) вяжущих при их изготовлении вводят инертные материалы различной крупности, которые принято называть заполнителями.

Заполнители для бетонов(смесей вяжущих веществ водой и спецдобавками) и растворов — это природные или искусственные каменные сыпучие материалы, состоящие из отдельных зерен. Термин «заполнитель» указывает на роль этого материала в бетонах и растворах: заполнитель занимает до 85 % от общего объема бетона. Стоимость обычных заполнителей значительно меньше, чем стоимость вяжущего. Следовательно, чем больше в бетоне заполнителей, тем бетон дешевле.

Однако этим не исчерпывается роль заполнителей. Так, в цементных бетонах и растворах они снижают усадку материала и повышают его трещиностойкость. Кроме того, заполнители во многом определяют свойства бетона. Например, используя в качестве заполнителя чугунную дробь и железные руды, получают особо тяжелый бетон, защищающий от ионизирующих излучений, а применяя пемзу, керамзит или вспученные шлаки — легкий бетон, обладающий хорошими теплоизолирующими свойствами. Заполнителем бывает мелкий песок (зерна 0,16...5 мм) или крупный (зерна 5...70 мм). Крупный заполнитель – обычнот *щебень*(зерна неправильной формы с шероховатой поверхностью) или *гравий* (зерна округлой формы с гладкой поверхностью). Щебень получают дроблением более крупных кусков, в том числе и гравия.

Заполнители как крупные, так и мелкие могут быть:

- природными, добываемыми в карьерах и подвергаемые только рассеву, промывке и, если это необходимо, дроблению;
- искусственными, получаемыми из промышленных отходов (металлургических шлаков, зол электростанций и т. п.) или специальной обработкой природного сырья (из глины получают керамзит, из перлита — вспученный перлит и др.). Используют, также «вторичные» заполнители, выделяемые из отслуживших свой срок бетонных и железобетонных конструкций дроблением и рассевом.

Структура заполнителя характеризуется двумя показателями: межзерновой пустотностью и пористостью самих зерен заполнителя. Обобщенной характеристикой служит *насыпная плотность заполнителя* $\rho_{\text{нас}}$, которая представляет собой массу единицы объема сыпучего материала, взятого вместе с пустотами. По плотности зерен заполнители подразделяют: на плотные (тяжелые) с плотностью зерен более 2000 кг/м^3 и пористые (легкие) имеющие пористую структуру зерен с плотностью менее 2000 кг/м^3 (обычно $1600...400 \text{ кг/м}^3$).

Заполнитель не должен содержать примесей, отрицательно действующих на твердение вяжущего и на последующую прочность и стойкость бетона и раствора. Различают природный и искусственный мелкие заполнители.

Природный песок — рыхлая смесь зерен крупностью $0,16...5 \text{ мм}$ — состоит главным образом из зерен кварца SiO_2 ; возможна примесь полевых шпатов, слюды, известняка. Реже встречаются пески иного состава, например полевошпатные, известняковые. Насыпная плотность природного песка $1300... 1600 \text{ кг/м}^3$.

По происхождению природные пески разделяют на горные (овражные), речные и морские.

Искусственные пески, используемые значительно реже, бывают тяжелые и легкие. *Тяжелые* пески, получаемые дроблением плотных горных пород (базальта, диабаз, мрамора), применяют для специальных целей (отделочные растворы, кислотостойкие растворы и бетоны).

Легкие пески получают дроблением пористых горных пород (пемза, туф) или изготавливают специально. Например, перлитовый песок получают термическим вспучиванием вулканических стекол; керамзитовый — обжигом глиняного сырья. Эти пески применяют для теплоизоляционных и акустических растворов и бетонов.

Поступающий на строительство песок должен отвечать требованиям ГОСТ 8736—93 и 8735—88 по зерновому составу, наличию примесей и загрязнений.

Зерновой состав песка определяют на стандартном наборе сит с размерами ячеек: 5; 2,5; 1,25; 0,63; 0,315 и 0,16 мм. Навеску сухого песка просеивают через набор сит и определяют сначала частные (%) ($a_{2,5}$; $a_{1,25}$; $a_{0,63}$ и т. д.), а затем полные ($A_{2,5}$; $A_{1,25}$ и $A_{0,63}$ и т. д.) остатки на каждом сите. Полный остаток на любом сите равен сумме частных остатков на этом сите и всех ситах большего размера. Размеры полных остатков характеризуют зерновой состав песка.

На основании результатов ситового анализа рассчитывают модуль крупности песка:

$$M_k = (A_{2,5} + A_{1,25} + A_{0,63} + A_{0,315} + A_{0,16})/100$$

В зависимости от M_k и $A_{0,16}$ пески подразделяют на группы по крупности. Для строительных растворов рекомендуется применять пески с модулем крупности не менее 1,2, а для бетонов — не менее 2.

Для бетонов применяют песок крупностью не более 5 мм, для растворов, используемых для замоноличивания сборных железобетонных конструкций и заполнения швов при монтаже панелей,— также не более 5 мм; для растворов, служащих для кладки кирпича, камней правильной формы и блоков,— не более 2,5 мм; для штукатурных отделочных растворов — не более 1,25 мм.

Присутствие в песке пылеватых и особенно глинистых примесей снижает прочность и морозостойкость бетонов и растворов. Количество таких примесей определяют отмучиванием (многократной промывкой водой). В природном песке пылеватых и глинистых примесей должно быть не более 3 % по массе, причем содержание собственно глины не должно превышать 0,5 %.

Присутствие в песке органических примесей замедляет схватывание и твердение цемента и тем самым снижает прочность бетона или раствора. Для оценки количества органических примесей пробу песка обрабатывают раствором едкого натра NaOH и сравнивают цвет раствора с эталоном. Если цвет раствора темнее эталона, песок нельзя использовать в качестве заполнителя.

В качестве *крупного заполнителя* для бетона используют гравий и щебень. В зависимости от насыпной плотности и структуры зерен крупного заполнителя различают плотные (тяжелые) заполнители ($\rho_{\text{нас}} > 1200$ кг/м³), используемые для тяжелого бетона, и пористые ($\rho_{\text{нас}} < 1200$ кг/м³), используемые для легкого бетона.

Насыпная плотность крупного заполнителя — один из важных качественных показателей. Она зависит от плотности зерен заполнителя и от его межзерновой пустотности. Насыпная плотность $\rho_{\text{нас}}$ определяется путем взвешивания пробы заполнителя в сосуде. *Межзерновая пустотность* показывает, какую долю составляют пустоты между зернами крупного заполнителя от его объема в рыхло-насыпном состоянии. Она может быть рассчитана, если известны насыпная плотность $\rho_{\text{нас}}$ заполнителя и его плотность в куске $\rho_{\text{м}}$

$$\alpha = (\rho_{\text{м}} - \rho_{\text{нас}}) / \rho_{\text{м}}$$

Межзерновая пустотность α обычно составляет 0,4...0,5. Это означает, что около половины объема крупного заполнителя занимает воздух. При использовании в бетоне важно, чтобы межзерновая пустотность заполнителя была возможно меньше. В этом случае снижается расход цемента при сохранении требуемых свойств бетона. Уменьшить межзерновую пустотность заполнителя можно правильным подбором зернового состава так, чтобы мелкие зерна занимали пустоты между крупными.

К плотным заполнителям для тяжелого бетона относятся гравий, получаемый из природных залежей (его обработка заключается в сортировке по фракциям и промывке), и щебень, получаемый дроблением горных пород, крупных фракций гравия и плотных металлургических шлаков.

Прочность крупного заполнителя для тяжелых бетонов должна быть в 1,5...2 раза выше прочности бетона. Оценка прочности заполнителя может производиться по прочности той горной породы, из которой получен заполнитель, путем испытания выпиленных из нее кернов (цилиндрических образцов) или путем оценки дробимости самого заполнителя. Дробимость заполнителя оценивается по количеству мелочи, образующейся при сдавливании пробы заполнителя (гравия или щебня) в стальной форме под определенным усилием.

Морозостойкость заполнителя должна также быть выше проектной морозостойкости бетона.

Вредными примесями в крупном заполнителе, как и в песке, являются органические, пылеватые и глинистые. Методы их определения такие же, как и для песка.

Пористые заполнители для легких бетонов получают главным образом искусственным путем (например, керамзит, шлаковую пемзу, аглопорит и перлит). Из природных пористых заполнителей применяют щебень из пемзы, туфа и пористых известняков, которые используют в качестве местного материала. *Марку пористых заполнителей* устанавливают по их насыпной плотности (кг/м^3).

Для пористых заполнителей еще в большей степени, чем для плотных, имеет значение правильный зерновой состав. Пористые заполнители выпускают в виде фракций размерами 5... 10 мм; 10...20 мм и 20...40 мм. При приготовлении бетонной смеси их смешивают в требуемом соотношении.

Керамзит — гранулы округлой формы с пористой сердцевиной и плотной спекшейся оболочкой. Благодаря такому строению прочность керамзита сравнительно высокая при небольшой насыпной плотности (250...600 кг/м³). Получают керамзит быстрым обжигом во вращающихся печах легкоплавких глинистых пород с большим содержанием оксидов железа и органических примесей до их вспучивания.

Керамзит выпускают в виде гравия (гранулы 5...40 мм) и песка (зерна менее 5 мм). Марки керамзита от 250 до 600 кг/м³. Морозостойкость керамзита не менее F15.

Шлаковая пемза — пористый щебень, получаемый вспучиванием расплавленных металлургических шлаков путем их быстрого охлаждения водой или паром. Этот вид пористого заполнителя экономически очень эффективен, так как сырьем служат промышленные отходы, а переработка их крайне проста. Марки шлаковой пемзы от 400 до 1000. Прочность ее соответственно от 0,4 до 2 МПа.

Аглопорит — пористый заполнитель в виде гравия, щебня, получаемый спеканием (агломерацией) сырьевой шихты из глинистых пород топливных отходов. Марки аглопорита от 400 до 900.

Вспученные перлитовый песок и щебень — пористые зерна белого или светло-серого цвета, получаемые путем быстрого (1...2 мин) нагрева до температуры 1000... 1200° С вулканических горных пород, содержащих небольшое количество (1...3 %) гидратной воды (перлит и др.).

3.2. СТРОИТЕЛЬНЫЕ РАСТВОРЫ

Строительным раствором называют материал, получаемый в результате затвердевания рационально подобранной смеси *вяжущего вещества* (цемента, извести), *мелкого заполнителя* (песка) и воды, а в необходимых случаях и *специальных добавок*. До затвердевания этот материал называют растворной смесью.

Принципиальным отличием строительных растворов от мелкозернистых бетонов является то, что растворные смеси укладываются тонкими слоями обычно на пористое основание и одним из главных свойств растворов является хорошее сцепление с основанием.

По назначению строительные растворы бывают: *кладочные* — для кладки из кирпича, штучных камней и блоков; *отделочные* (штукатурные) — для оштукатуривания наружных и внутренних поверхностей конструкций; *специальные* — для омоноличивания сборных железобетонных конструкций, для устройства гидроизоляции и других специальных целей.

Растворы называют по свойствам входящего в них вяжущего (гидравлические, воздушные) и его виду (цементные, известковые, гипсовые и смешанные: цементно-известковые, цементно-глиняные, известково-гипсовые).

По плотности различают растворы *обыкновенные тяжелые* (плотность более 1500 кг/м^3), получаемые на плотных заполнителях (природный песок и др.), и *легкие* (менее 1500 кг/м^3), изготавливаемые на пористых заполнителях (керамзитовый песок, вспученный перлит и др.). Легкие растворы, кроме того, получают с помощью специальных пенообразующих добавок — *поризованные растворы*.

Растворная смесь должна обладать следующими свойствами: хорошей удобоукладываемостью и высокой водоудерживающей способностью, чтобы легко распределяться по пористому основанию и не давать ему отсасывать в себя воду. Вода необходима для твердения раствора.

Удобоукладываемость - способность растворной смеси легко распределяться по поверхности сплошным тонким слоем, хорошо сцепляясь с поверхностью основания. Удобоукладываемая растворная смесь даже при укладке на неровной поверхности заполняет все впадины и плотно примыкает к камням кладки. Удобоукладываемость оценивается подвижностью смеси, которую оценивают по глубине погружения эталонного конуса.

В зависимости от назначения применяют растворы различной подвижности. например для бутовой кладки применяют растворы подвижностью 4...6 см, для кладки из пустотелого кирпича и керамических камней - 7...8см, для кладки из обыкновенного керамического кирпича - 9...13см, для штукатурных растворов - 7...12 см.

Для повышения пластичности в раствор вводят пластифицирующие добавки.

Водоудерживающая способность — это способность растворной смеси удерживать воду при нанесении на пористое основание или при транспортировании. Если растворную смесь с малой водоудерживающей способностью нанести, например, на кирпич, то она быстро обезводится в результате отсасывания воды в поры кирпича. В этом случае затвердевший раствор будет пористым и непрочным.

При транспортировании растворные смеси с низкой водоудерживающей способностью могут расслоиться: песок осядет вниз, а вода окажется сверху. Чем ниже водоудерживающая способность, тем вероятнее расслоение растворной смеси.

Водоудерживающая способность зависит от количества вяжущего вещества в растворе, так как тончайший порошок вяжущего образует с водой вязкое тесто, препятствуя отделению воды и заполнителя. Повысить водоудерживающую способность без увеличения расхода цемента можно введением в растворную смесь тонкодисперсных минеральных порошков, в том числе и более дешевых вяжущих (известки, глины) или загущающих (водоудерживающих) водорастворимых полимерных добавок, таких, как метилцеллюлоза, карбоксиметил-целлюлоза, и т. п.

Затвердевший раствор должен иметь требуемые прочность и морозостойкость.

Прочность строительных растворов характеризуется маркой, определяемой по пределу прочности при сжатии образцов-кубов размером 70,7 x 70,7 x 70,7 мм. Образцы, изготовленные из рабочей растворной смеси, твердеют на воздухе в течение 28 сут при температуре $(20 \pm 5)^\circ \text{C}$. Чтобы приблизить условия твердения образцов к реальным условиям твердения кладочных растворов, используют формы без дна и устанавливают их на пористое основание (кирпич).

По прочности на сжатие, выраженной в кгс/см^2 , строительные растворы делят на марки: 4...200. Растворы марок 4; 10; 25 изготавливают обычно на извести и местных вяжущих; растворы более высоких марок — на смешанном цементно-известковом, цементно-глиняном и цементном вяжущих.

Прочность строительных растворов, так же, как и бетонов, зависит от марки вяжущего и его количества. Однако водовяжущее отношение в данном случае не имеет существенного значения, так как пористое основание, на которое наносят раствор, отсасывает из него воду, и количество воды в разных растворах становится приблизительно одинаковым.

Марки наиболее часто применяемых кладочных и штукатурных растворов значительно ниже марок бетона. Это объясняется тем, что прочность кладочных растворов существенно не влияет на прочность кладки из камней правильной формы, а штукатурные растворы практически не несут никакой нагрузки. Более высокие требования предъявляются к прочности растворов для омоноличивания несущих сборных конструкций.

Морозостойкость растворов, так же, как и бетонов, определяется числом циклов «замораживания-оттаивания» до потери 25 % первоначальной прочности (или 5 % массы). По морозостойкости растворы подразделяют на марки: F10...F200.

Для кладочных растворов применяют *песок* максимальной крупности 2,5 мм; содержание в нем глинистых и органических примесей ограничено

стандартом. *Известь* применяют в виде известкового молока или реже известкового теста, предварительно пропущенного через сито № 025, чтобы в раствор не попали не погасившиеся частицы.

Когда вместо извести используют *глину*, то ее тщательно размачивают в течение нескольких дней. Делают это для того, чтобы разъединить частицы глины. Затем глину и воду приблизительно в равных объемах загружают в смеситель и перемешивают в течение 3...5 мин. Получившееся глиняное молоко сливают из смесителя через сетку, а в смеситель добавляют новую порцию воды и глины. Через 10...20 замесов смеситель очищают от не распавшихся комьев и камней.

Поверхностно-активные и пластифицирующие добавки вводят в растворы, предварительно смешав их с водой, применяемой для затворения.

Процесс приготовления растворной смеси состоит из дозирования исходных материалов, загрузки их в барабан растворосмесителя и перемешивания до получения однородной массы в растворосмесителях периодического действия с принудительным перемешиванием.

По конструкции различают растворосмесители с горизонтальным или вертикальным лопастными валами. Последние называют турбулентными смесителями.

Чтобы раствор обладал требуемыми свойствами, необходимо добиться однородности его состава. Для этого ограничивают минимальное время перемешивания. Средняя продолжительность цикла перемешивания для тяжелых растворов должна быть не менее 3 мин. Легкие растворы перемешивают дольше.

Растворы, как правило, готовят на централизованных бетонорастворных заводах или растворных узлах, что обеспечивает получение продукции высокого качества.

Зимой для получения растворов с положительной температурой составляющие раствора (песок и воду) подогревают до температуры не более 60°C. Вяжущее подогревать нельзя.

Растворные смеси с заводов перевозят автосамосвалами или специальными машинами, в которых смесь постоянно перемешивается, что предохраняет ее от расслоения. Если используют автосамосвалы, во избежание расслоения смеси нормируется дальность ее перевозок (например, дальность перевозок цементно-известковых растворов по асфальтовой дороге — не более 10 км, по булыжной — 5..6 км).

В з и м н и х у с л о в и я х применяют также растворы, твердеющие при отрицательных температурах. В их состав входят соли, понижающие температуру замерзания воды (поташ K_2CO_3 , хлорид натрия $NaCl$, хлорид кальция $CaCl_2$, нитрит натрия $NaNO_2$ и др.). Например, при температуре от -10 до -20°C рекомендуется применять растворы с добавкой поташа (10% от массы вяжущего) или нитрита натрия (5% от массы вяжущего). При более низкой температуре добавки солей увеличивают.

Для оштукатуривания наружных каменных и бетонных стен, в том числе подвергающихся увлажнению, применяют цементные и цементно-известковые растворы, для деревянных и гипсовых стен — известковые растворы с добавкой глины или гипсового вяжущего.

Штукатурные растворы должны иметь хорошее сцепление с оштукатуриваемой поверхностью как после твердения, так и в момент нанесения. Последнее обеспечивается правильным составом растворной смеси и правильно выбранной подвижностью. В таком случае благодаря *тиксотропным свойствам* смеси она легко наносится и хорошо удерживается на вертикальных и потолочных поверхностях.

Кроме обычных штукатурных и кладочных растворов в строительстве *используют много разнообразных растворов специального назначения:*

гидроизоляционных, теплоизоляционных, акустических, рентгенозащитных, кислотоупорных и т. п. Каждый из таких растворов является штукатурным раствором, выполняющим еще одну специальную функцию. Такие растворы используют для покрытия поверхностей специальных сооружений: хранилищ, отстойников, тоннелей и т. п.

Гидроизоляционные растворы — это, как правило, жирные цементные растворы (состава 1:1...1:3), приготовленные на специальных цементах или с добавками, снижающими до минимума капиллярную пористость и (или) придающими гидрофобные свойства растворам.

Растворы на жидком стекле дают не только водонепроницаемые, но и непроницаемые для нефтепродуктов покрытия. Чтобы получить водонепроницаемый раствор, жидкое стекло разводят в воде и этим составом затворяют сухую цементно-песчаную смесь. Затвердевая, жидкое стекло образует на поверхности штукатурного слоя водонепроницаемую пленку. Однако эта пленка может разрушаться под действием углекислого газа, содержащегося в воздухе, поэтому накрывку обычно выполняют жирным цементным раствором и поверхность железнят (посыпают сухим цементом и заглаживают).

Растворы с жидким стеклом схватываются уже через 1...2 мин после их затворения. Схватывание происходит тем быстрее, чем больше в растворе жидкого стекла. Поэтому готовить раствор надо малыми порциями, сразу же их используя. Быстрое схватывание растворов на жидком стекле позволяет заделывать ими такие трещины, из которых сочится вода.

Водонепроницаемые штукатурки получают также из *растворных смесей с алюминатом натрия* ($\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$). Эти растворы используют реже, чем растворы на жидком стекле, так как они раздражающе действуют на кожу и слизистые оболочки. Растворы с алюминатом натрия применяют для заделки трещин в бетоне, через которые просачивается вода, для устройства

водонепроницаемых штукатурок по сырым, невысыхающим поверхностям бетона и каменной кладки, а также для устройства водонепроницаемых цементных стяжек в санузлах.

Для приготовления штукатурных растворов сухую цементно-песчаную смесь состава 1:(2...3) затворяют 2...3 %-ным раствором алюмината натрия. Растворы эти готовят на портландцементе марки 400...500.

Растворы с органическими добавками. К таким растворам относятся полимерцементные растворы, содержащие 10... 15 % (в пересчете на сухое вещество) водных дисперсий полимеров (поливинилацетата–ПВА, синтетических каучуков, акриловых полимеров и др.). Такие растворы имеют высокую адгезию к любым основаниям и низкую проницаемость для воды, нефтепродуктов и других жидкостей.

Гидрофобизированные растворы получают, вводя в состав растворной смеси кремнийорганические полимерные продукты (например, ГКЖ-94).

Теплоизоляционные растворы получают, используя в качестве заполнителя пористые материалы (вспученный перлит, керамзитовый песок, опилки и т. п.). Составы и способы их приготовления не отличаются от составов и способов приготовления растворов с песчаным заполнителем; обычно несколько увеличивается время перемешивания.

Акустические растворы. Чтобы снизить шумы в помещениях, например, радиостудиях, их стены оштукатуривают акустическими растворами. Для этого применяют легкие растворы плотностью 600... 1200 кг/м³, заполнителем в которых служат пористые пески крупностью 3...5 мм, получаемые из пемзы, шлаков, вспученного перлита, керамзита и др. Так, например, производят сухие гипсоперлитовые смеси для устройства теплоизоляционных и акустических штукатурок. В состав таких смесей входят песок из вспученного перлита, гипс и замедлитель схватывания.

Огнезащитные растворы имеют состав, аналогичный акустическим и теплоизоляционным растворам, но с добавлением асбеста или минераловатных гранул. В качестве связующего рекомендуется гипсовое вяжущее.

Рентгенозащитные растворы. Это тяжелые растворы с плотностью более 2200 кг/м³, применяемые для оштукатуривания рентгеновских кабинетов и помещений, в которых ведутся работы, связанные с рентгеновским или γ -излучением. Такая штукатурка заменяет обшивку свинцовыми листами. В качестве вяжущих материалов используется портландцемент или шлакопортландцемент и *специальные тяжелые заполнители* — барит, железные руды — магнезит, лимонит и т. п. в виде песка и пыли крупностью не более 1,25 мм.

Кислотоупорные растворы. Это растворы на кислотоупорном жидкостекольном вяжущем, применяемые для устройства антикоррозионных покрытий конструкций, которые в процессе эксплуатации подвергаются воздействию кислот.

В кислотоупорные растворы кроме песка вводят тонкомолотый наполнитель - порошок из кислотостойких пород (андезита, диабаз). В наполнителе должно быть не менее 70 % зерен размером до 0,075 мм.

В качестве отвердителя растворов на жидком стекле применяют мелкоизмельченный кремнефтористый натрий, в количестве около 15 % от массы жидкого стекла.

4. БЕТОНЫ

Бетон — искусственный каменный материал, получаемый в результате формования и затвердевания бетонной смеси. Бетонной смесью называют перемешанную до однородного состояния пластичную смесь, состоящую из вяжущего вещества, воды, заполнителей и специальных добавок.

Состав бетонной смеси подбирают таким образом, чтобы при данных условиях укладки и твердения бетон обладал заданными свойствами (прочностью, морозостойкостью, плотностью и др.).

Бетон состоит из большого количества зерен заполнителя (до 80...85 % объема), связанных затвердевшим вяжущим веществом. Так как в качестве заполнителей (см.гл. 3.1) применяют дешевые природные материалы или отходы промышленности, бетон экономически весьма эффективный материал. Материалы – заполнители рассмотрены выше (раздел 8.1).

Бетон известен давно. В Древнем Риме, например, из бетона на извести был построен ряд сложных инженерных сооружений. Существует мнение, что блоки внутренней части египетских пирамид также изготовлены из бетона, вяжущим в котором служила известь. Широкое применение бетона начинается после освоения промышленного производства портландцемента. Современное строительство немислимо без бетона — бетон стал основным строительным материалом. Это объясняется его экономичностью, технологичностью и доступностью основных сырьевых материалов.

Бетонная смесь представляет собой пластично-вязкую массу, сравнительно легко принимающую любую форму и затем самопроизвольно переходящую в камневидное состояние. Таким образом, легко получают каменные конструкции и изделия любой заданной формы.

В наше время получают бетоны с самыми разнообразными физико-механическими свойствами. Помимо обычного тяжелого бетона, производят легкий бетон плотностью меньшей, чем у кирпича. Такой бетон обладает хорошими теплоизолирующими свойствами и применяется для возведения стен жилых и промышленных зданий. И наоборот, при строительстве ядерных установок, например атомных электростанций, для защиты от ионизирующего излучения применяют особо тяжелые бетоны, плотность бетона которых в 1,5..2 раза больше плотности гранита.

Прочность бетонов достигает 100 МПа, и для конструкционных бетонов предел прочности служит основной характеристикой. Бетон - огнестойкий материал. В настоящее время получены бетоны, стойкие к самым разнообразным агрессивным воздействиям, и в том числе жароупорные бетоны, способные работать при температуре свыше 1000°С. При сочетании бетона и стали получается композиционный материал с еще более совершенными свойствами — железобетон.

По *плотности* бетоны делят на особо тяжелые (плотность более 2500 кг/м³), тяжелые обыкновенные (2200...2500 кг/м³), облегченные (1800...2200 кг/м³), легкие (500... 1800 кг/м³), особо легкие теплоизоляционные (500 кг/м³).

По *структуре* различают бетоны со слитной структурой, ячеистые и крупнопористые бетоны. Чаще других используются бетоны со слитной структурой — это обычный тяжелый бетон и легкие бетоны на пористых заполнителях.

Легкие и особо легкие бетоны можно получить вспенивая тесто вяжущего — так получают бетоны ячеистой структуры (с равномерно распределенными порами размером 0,2...2 мм).

Бетоны крупнопористой структуры, также относящиеся к легким бетонам, получают исключая из состава бетона мелкий заполнитель и скрепляя зерна крупного заполнителя вяжущим веществом.

Бетоны — главный строительный материал. В нем сочетаются очень важные для строительства свойства: большая сырьевая база (до 85 % объема бетона - заполнители); простота технологии и достаточно высокие физико-механические свойства.

Наиболее распространен тяжелый цементный бетон. Рассмотрим свойства бетонной смеси и затвердевшего бетона на примере тяжелого цементного бетона и будем называть его просто бетон.

Бетонная смесь состоит из цементного теста, мелкого и крупного заполнителя. Каждый из этих компонентов влияет на вязкопластичные свойства смеси. Так, если увеличить содержание заполнителей, смесь становится более жесткой; если цементного теста — более пластичной и текучей. Существенно влияет на свойства бетонной смеси и вязкость цементного теста. Чем больше в цементном тесте воды, тем пластичнее получается тесто и соответственно пластичнее бетонная смесь.

Одно из основных свойств бетонной смеси — *тиксотропия* — способность разжижаться при периодически повторяющихся механических воздействиях (например, вибрации) и вновь загустевать при прекращении этого воздействия. Механизм тиксотропного разжижения заключается в том, что при вибрировании силы внутреннего трения и сцепления между частицами уменьшаются и бетонная смесь становится текучей. Это свойство широко используют при укладке и уплотнении бетонной смеси.

Удобоукладываемость - обобщенная техническая характеристика вязкопластичных свойств бетонной смеси. Под удобоукладываемостью понимают способность бетонной смеси под действием определенных приемов и механизмов легко укладываться в форму и уплотняться, не расслаиваясь. Удобоукладываемость смесей в зависимости от их консистенции оценивают по подвижности или жесткости.

Подвижность служит характеристикой удобоукладываемости пластичных смесей, способных деформироваться под действием собственного веса. Подвижность характеризуется осадкой стандартного конуса, отформованного из испытуемой бетонной смеси. Для этого металлическую форму-конус, установленную на горизонтальной поверхности, заполняют бетонной смесью в три слоя, уплотняя каждый слой штыкованием. Избыток смеси срезают, форму-конус снимают и измеряют осадку конуса из бетонной смеси — ОК, значение которой (в сантиметрах) служит показателем подвижности.

Жесткость — характеристика удобоукладываемости бетонных смесей, у которых не наблюдается осадки конуса ($OK = 0$). Ее определяют по времени вибрации (в секундах), необходимому для выравнивания и уплотнения предварительно отформованного конуса из бетонной смеси с помощью специального прибора – вискозиметра.

В зависимости от удобоукладываемости различают жесткие и подвижные бетонные смеси.

Жесткие бетонные смеси содержат небольшое количество воды и соответственно пониженное количество цемента в сравнении с подвижными смесями у бетонов равной прочности. Жесткие смеси требуют интенсивного механического уплотнения: длительного вибрирования, вибротрамбования и т. п. Используют такие смеси при изготовлении сборных железобетонных изделий в заводских условиях (например, на домостроительных комбинатах); в построечных условиях жесткие смеси применяют редко.

Подвижные смеси отличаются большим расходом воды и соответственно цемента. Эти смеси представляют собой густую массу, которая легко разжижается при вибрировании. Подвижные смеси можно транспортировать бетононасосами по трубопроводам. Важным свойством является *связность* — способность бетонной смеси сохранять однородную структуру, т. е. не расслаиваться в процессе транспортирования, укладки и уплотнения. При механических воздействиях часть воды как наиболее легкого компонента отжимается вверх. Крупный заполнитель, плотность которого обычно больше плотности растворной части (смеси цемента, песка и воды), опускается вниз. Легкие заполнители (керамзит и др.), наоборот, могут всплывать. Все это делает бетон неоднородным, снижая его прочностные показатели и морозостойкость.

Указанные свойства бетонной смеси обеспечиваются правильным подбором состава бетона.

Прочность бетона зависит от прочности составляющих его материалов и от прочности сцепления их друг с другом. Прочность заполнителя (песка, щебня, гравия) в тяжелом бетоне, как правило, выше заданной прочности бетона, поэтому мало влияет на последнюю.

Прочность цементного камня зависит от двух факторов: активности (марки) используемого цемента и соотношения количеств цемента и воды (Ц/В).

Цемент при твердении химически связывает не более 20...25 % воды от своей массы. Чтобы обеспечить необходимую пластичность цементного теста и, соответственно, подвижность бетонной смеси, необходимо вводить 40...80 % воды от массы цемента. Чем больше в бетоне будет свободной, химически не связанной воды, тем больше впоследствии будет пор в цементном камне и соответственно ниже станет его прочность.

С другой стороны, если не обеспечить необходимую удобоукладываемость бетонной смеси, соответствующую принятому в данном конкретном случае методу уплотнения, то из-за недоуплотнения в структуре бетона появятся крупные пустоты и участки с нарушенной связью «цементный камень - заполнитель», что приведет к резкому снижению прочности бетона.

Для каждой бетонной смеси существует оптимальное количество воды, которое позволяет получить при данном способе уплотнения бетон с минимальной пористостью и наибольшей прочностью.

Прочность сцепления между цементным камнем и заполнителем определяется в основном качеством поверхности заполнителя. Для обеспечения высокой прочности сцепления поверхность зерен заполнителя должна быть чистой и шероховатой. Например, бетон на щебне при прочих равных условиях прочнее бетона на гравии.

Высказанные теоретические предпосылки были положены в основу экспериментальных исследований зависимости прочности бетона от Ц/В, марки цемента и качества заполнителей (под прочностью здесь и далее подразумевается марочная прочность, т. е. прочность после 28 суток твердения в стандартных условиях). Полученные экспериментальные зависимости $R = f(\text{Ц/В})$ представляют довольно сложную кривую, имеющую точку перегиба.

Для обычных бетонов (марок ниже М500) в интервале Ц/В = 1,4...2,5 формула прочности Болломея - Скрамтаева имеет вид

$$R_b = AR_{ц}(\text{Ц/В} - 0,5)$$

а для высокопрочных бетонов при Ц/В = 2,5...3,3

$$R_b = AR_{ц}(\text{Ц/В} + 0,5)$$

Эта зависимость справедлива лишь при условии обеспечения плотной укладки бетонной смеси.

Изготовление бетонных и железобетонных конструкций включает в себя следующие технологические операции: подбор состава бетона, приготовление и транспортирование бетонной смеси, ее укладку и уплотнение и обеспечение требуемого режима твердения бетона.

Состав бетона должен быть таким, чтобы бетонная смесь и затвердевший бетон имели заданные значения свойств (удобоукладываемости, прочности, морозостойкости и т. п.), а стоимость бетона при этом была возможно более низкой.

Рассчитывают состав бетона для данных сырьевых материалов, используя зависимости, связывающие свойства бетона с его составом, в виде формул, таблиц и номограмм. Общая схема расчета следующая.

Требуемая подвижность бетонной смеси обеспечивается выбором (по таблицам и графикам) необходимого количества воды (В).

Количество крупного и мелкого заполнителей рассчитывают так, чтобы расход цемента был минимальным. Это достигается в том случае, если количество крупного заполнителя будет максимально возможным (обычно оно составляет 0,75...0,85 от объема бетона), а мелкий заполнитель (песок) заполнит пустоты между зернами крупного заполнителя.

В этом случае цементное тесто должно будет заполнить пустоты в песке и покрыть поверхность заполнителей для обеспечения связи всех частиц друг с другом.

Увеличивая или уменьшая содержание цементного теста (но не изменяя при этом рассчитанного Ц/В), т. е, увеличивая и уменьшая долю воды в бетонной смеси, можно соответственно повысить или снизить подвижность бетонной смеси, сохраняя заданную прочность бетона.

Приготовление бетонной смеси осуществляют в специальных агрегатах - бетоносмесителях разных конструкций и различной вместимости (от 100 до 4500 дм³).

Вместимость смесителя указывается по суммарному объему сухих компонентов бетонной смеси, который может быть загружен.

При перемешивании мелкие компоненты смеси входят в межзерновые пустоты более крупных (песок в пустоты между зерен крупного заполнителя, цемент — в пустоты песка). Этому способствует введение в смеситель воды затворения. В результате объем готовой бетонной смеси составляет не более 0,6...0,7 от объема исходных сухих компонентов. Этот показатель, называемый коэффициент выхода бетонной смеси.

Так, для бетона с коэффициентом выхода 0,65 за один замес в бетоносмесителе вместимостью 500 дм³ получится $500 \cdot 0,65 = 325 \text{ дм}^3 = 0,325 \text{ м}^3$ бетонной смеси.

По принципу действия различают бетоносмесители свободного падения и принудительного перемешивания.

Время перемешивания зависит от подвижности бетонной смеси и вместимости бетоносмесителя. Чем меньше подвижность бетонной смеси и больше вместимость бетоносмесителя, тем больше время, необходимое для перемешивания. Например, для бетоносмесителя 500 дм³ оно составляет 1,5...2 мин, а для бетоносмесителя 2400 дм³ - 3 мин и более.

Бетоносмесительные установки могут быть *передвижные и стационарные*. Чаще бетонные смеси готовят на специализированных бетонных заводах, имеющих высокую степень механизации и автоматизации. В этом случае будет выше стабильность свойств бетонной смеси и бетона. Такие готовые смеси называют товарным бетоном.

Обязательное требование ко всем видам транспортирования бетонной смеси - сохранение ее однородности и подвижности. На большие расстояния транспортирование осуществляется в специальных машинах — бетоновозах, имеющих грушевидную емкость. При движении емкость бетоновоза медленно вращается, постоянно подмешивая бетонную смесь. Это необходимо для того, чтобы смесь не расслаивалась от вибрации во время перевозки, что часто происходит, когда смесь транспортируют в кузовах самосвалов. В зимнее время должен быть предусмотрен подогрев перевозимой бетонной смеси.

Качество и долговечность бетона во многом зависят от правильности укладки, а методы укладки и уплотнения определяются видом бетонной смеси (пластичная или жесткая, тяжелый или легкий бетон) и типом конструкции. Укладка должна обеспечивать максимальную плотность бетона (отсутствие пустот) и неоднородность состава по сечению конструкции.

Пластичные текучие смеси уплотняются под действием собственного веса или путем штыкования, более жесткие смеси — вибрированием.

Вибрирование — наиболее эффективный метод укладки, основанный на использовании тиксотропных свойств бетонной смеси. При вибрировании

частицам бетонной смеси передаются быстрые колебательные движения от источника колебаний - вибратора. Применяют главным образом электромеханические вибраторы, основная часть которых - электродвигатель. На валу электродвигателя эксцентрично установлен груз - дебаланс, при вращении которого возникают колебательные импульсы.

При вибрировании жесткая бетонная смесь как бы превращается в тяжелую жидкость, которая плотно заполняет все части формы, а воздух, содержащийся в бетонной смеси, при этом поднимается вверх и выходит из смеси. Бетонная смесь приобретает плотную структуру.

При недостаточном времени вибрирования бетонная смесь уплотняется не полностью, при слишком долгом - она может расслоиться: тяжелые компоненты - щебень, песок концентрируются внизу, а вода выступает сверху.

Твердение бетона. Нормальный рост прочности бетона происходит при положительной температуре (15...25°C) и постоянной влажности. Соблюдение этих условий особенно важно в первые 10... 15 суток твердения, когда бетон интенсивно набирает прочность.

Чтобы поверхность бетона предохранить от высыхания, ее покрывают песком, опилками, периодически увлажняя их. Эффективна защита поверхности бетона от испарения влаги полимерными пленками, битумными и полимерными эмульсиями. В зимнее время твердеющий бетон предохраняют от замерзания различными методами: методом термоса, когда подогретую бетонную смесь защищают теплоизоляционными материалами, и подогревом бетона во время твердения (в том числе и электропрогрев).

На заводах сборного железобетона для ускорения твердения бетона применяют тепловлажностную обработку - прогрев при постоянном поддержании влажности бетона насыщенным паром при температуре 85...90°C. При этом время твердения железобетонных изделий до набора ими

отпускной прочности (70...80 % марочной) сокращается до 10... 16 ч (при твердении в естественных условиях для этого требуется 10...15 дн).

Для силикатных бетонов используют автоклавную обработку в среде насыщенного пара высокой температуры 175...200°C и при давлении 0,8...1,3 МПа. В этом случае процесс твердения длится 8...10 ч.

Для ускорения набора прочности бетоном применяют быстротвердеющие (БТЦ) и особо быстротвердеющие (ОБТЦ) цементы. Быстрее других достигает марочной прочности (за три дня) бетон на глиноземистом цементе, однако последний нельзя использовать при температуре окружающей среды во время твердения выше 30...35° С.

Прочность, марка и класс бетона

Тяжелый бетон — основной конструкционный строительный материал, поэтому оценке его прочностных свойств уделяется большое внимание. Прочностные характеристики бетона определяются строго в соответствии с требованиями стандартов. Используется несколько показателей, характеризующих прочность бетона. Неоднородность бетона как материала учитывается в основной прочностной характеристике — классе бетона.

Как и у всех каменных материалов, предел прочности бетона при сжатии значительно (в 10... 15 раз) выше, чем при растяжении и изгибе. Поэтому в строительных конструкциях бетон, как правило, работает на сжатие. Когда говорят о прочности бетона, подразумевают его прочность на сжатие.

Прочность бетона принято оценивать по среднему арифметическому значению результатов испытания образцов данного бетона через 28 суток нормального твердения. Для этого используют образцы - кубы размером 150 x 150 x 150 мм, изготовленные из рабочей бетонной смеси и твердевшие при $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ на воздухе при относительной влажности 95% (или в иных условиях, обеспечивающих сохранение влаги в бетоне). Методы определения прочности бетона регламентированы стандартом.

Марка бетона. По среднему арифметическому значению прочности бетона устанавливают его марку — округленное значение прочности. Для тяжелого бетона установлены следующие марки по прочности на сжатие: 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 550, 600, 700 и 800 кгс/см². При обозначении марки используют индекс «М»; так, например, марка бетона М350 означает, что его средняя прочность не менее 35 МПа (но не более 40) 1 МПа = 10 кгс/см².

Отличительная особенность бетона — *значительная неоднородность его свойств*. Это объясняется изменчивостью в качестве сырья (песка, крупного заполнителя и даже цемента), нарушением режима приготовления бетонной смеси, ее транспортировки, укладки (степени уплотнения) и условия твердения. Все это приводит к разбросу прочности бетона одного и того же состава. Чем выше культура производства (лучше качество подготовки материалов, приготовления и укладки бетона и т. п.), тем меньше будут возможные колебания прочности бетона. Для строителя важно получить бетон не только с заданной средней прочностью, но и с минимальными отклонениями (особенно в низшую сторону) от этой прочности. Показателем, который учитывает возможные колебания качества бетона, является класс бетона.

Класс бетона — это численная характеристика прочности, принимаемая с гарантированной обеспеченностью (обычно 0,95). Это значит, что установленное классом свойство, например прочность бетона, достигается не менее чем в 95 случаях из 100.

Соотношение между классами и марками бетона неоднозначно и зависит от однородности бетона, оцениваемой с помощью коэффициента вариации. Чем меньше коэффициент вариации, тем однороднее бетон.

Помимо прочности к основным свойствам принято относить деформативность, морозостойкость и теплофизические свойства, которые

во многом зависят от пористости и способности бетона поглощать воду в период эксплуатации.

К деформативным свойствам, как мы уже знаем, относят модуль упругости, модуль деформаций, модуль Пуассона и пр. Начальный модуль упругости зависит от пористости и прочности и составляет для тяжелых бетонов $(2,2 \dots 3,5) \cdot 10^4$ МПа. У ячеистых бетонов 10^4 . Важными для бетонов являются деформации бетона, возникающие при усадке бетона и его ползучести

Ползучесть — склонность бетона к росту пластических деформаций при длительном действии статической нагрузки. Ползучесть бетона также связана с пластическими свойствами цементного геля и микро-трещинообразованием. Она носит затухающий во времени характер. Абсолютные значения ползучести зависят от многих факторов. Особенно активно ползучесть развивается, если бетон нагружается в раннем возрасте. Ползучесть можно оценивать двояко: как положительный процесс, помогающий снижать напряжения, возникающие от термических и усадочных процессов, и как отрицательное явление, например, снижающее эффект от предварительного напряжения арматуры.

Усадка — процесс сокращения размеров бетонных элементов при их нахождении в воздушно-сухих условиях. Основная причина усадки — сжатие гелевой составляющей при потере воды. Усадка бетона тем выше, чем больше объем цементного теста в бетоне. В среднем усадка тяжелого бетона составляет 0,3...0,4 мм/м.

Вследствие усадки бетона в бетонных и железобетонных конструкциях могут возникнуть большие усадочные напряжения, поэтому элементы большой протяженности разрезают усадочными швами во избежание появления трещин. При усадке бетона 0,3 мм/м в конструкции длиной 30 м общая усадка составит 10 мм. Усадочные трещины в бетоне на контакте с

заполнителем и в самом цементном камне могут снизить морозостойкость и послужить очагами коррозии бетона.

Бетон имеет заметную пористость. Причина ее возникновения, кроется в избыточном количестве воды затворения. Бетонная смесь после правильной укладки представляет собой плотное тело. При твердении часть воды химически связывается минералами цементного клинкера (для портландцемента около 0,2 от массы цемента), а оставшаяся часть постепенно испаряется, оставляя после себя поры.

Благодаря капиллярно-пористому строению бетон может поглощать влагу как при контакте с ней, так и непосредственно из воздуха. Гигроскопическое влагопоглощение у тяжелого бетона незначительно, но у легких бетонов (а в особенности у ячеистых) может достигать соответственно 7...8 и 20...25 %.

Водопоглощение характеризует способность бетона впитывать влагу в капельно-жидком состоянии; оно зависит, главным образом, от характера пор. Водопоглощение, как мы уже знаем, тем больше, чем больше в бетоне капиллярных сообщающихся между собой пор. Максимальное водопоглощение тяжелых бетонов на плотных заполнителях достигает 4...8 % по массе (10...20 % по объему). У легких и ячеистых бетонов этот показатель значительно выше.

Большое водопоглощение отрицательно сказывается на морозостойкости бетона и его теплозащитных свойствах. Для уменьшения водопоглощения прибегают к гидрофобизации бетона, а также к устройству паро- и гидроизоляции конструкций.

Водопроницаемость бетона определяется в основном проницаемостью цементного камня и контактной зоны «цементный камень — заполнитель»; кроме того, путями фильтрации жидкости через бетон могут быть микротрещины в цементном камне и дефекты сцепления арматуры с бетоном.

Высокая водопроницаемость бетона может привести его к быстрому разрушению из-за коррозии цементного камня.

Для снижения водопроницаемости необходимо применять заполнители надлежащего качества (с чистой поверхностью), а также использовать специальные уплотняющие добавки (жидкое стекло, хлорное железо) или расширяющиеся цементы. Последние используются для устройства бетонной гидроизоляции.

По водонепроницаемости бетон делят на марки W0,2; W0,4; W0,6; W0,8 и W1,2. Марка обозначает давление воды (МПА), при котором образец-цилиндр высотой 15 см не пропускает воду при стандартных испытаниях.

Морозостойкость — главный показатель, определяющий долговечность бетонных конструкций в нашем климате. Морозостойкость бетона оценивается путем попеременного замораживания при минус $(18 \pm 2)^\circ \text{C}$ и оттаивания в воде при $(18 \pm 2)^\circ \text{C}$ предварительно насыщенных водой образцов испытуемого бетона. Продолжительность одного цикла - 5... 10 ч в зависимости от размера образцов.

За марку по морозостойкости принимают наибольшее число циклов «замораживания - оттаивания», которое образцы выдерживают без снижения прочности на сжатие более 5% по сравнению с прочностью контрольных образцов в начале испытаний. Установлены следующие марки бетона по морозостойкости: F25; F35; F50; F75; F100...F1000. Стандартом разрешается применять ускоренные методы испытаний в растворе соли или глубоким замораживанием до минус $(50 \pm 5)^\circ \text{C}$.

Для получения бетонов высокой морозостойкости необходимо добиваться минимальной капиллярной пористости (не выше 6,5...6 %).

Теплопроводность тяжелого бетона даже в воздушно-сухом состоянии велика — около 1,2... 1,5 Вт/(м·К), т. е. в 1,5...2 раза выше, чем у кирпича. Поэтому использовать тяжелый бетон в ограждающих конструкциях можно

только совместно с эффективной теплоизоляцией. Легкие бетоны, в особенности ячеистые, имеют невысокую теплопроводность 0,1...0,5 Вт/(м·К), и их применение в ограждающих конструкциях предпочтительнее.

Теплоемкость тяжелого бетона, как и других каменных материалов, находится в пределах 0,75...0,92 Дж/(кг·К); в среднем — 0,84 Дж/(кг·К).

Температурный коэффициент линейного расширения тяжелого бетона $(10...12) \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$. Это значит, что при увеличении температуры бетона на 50°C расширение составит примерно 0,5 мм/м. Поэтому во избежание растрескивания сооружения большой протяженности разрезают температурными швами.

Большие колебания температуры могут вызвать внутреннее растрескивание бетона из-за различного теплового расширения крупного заполнителя и цементного камня.

Существенный недостаток обычного тяжелого бетона — большая плотность (2400...2500 кг/м³). Снижая плотность бетона, строители достигают как минимум двух положительных результатов: снижается масса строительных конструкций; повышаются их теплоизоляционные свойства.

Легкие бетоны - бетоны с плотностью менее 1800 кг/м³ - универсальный материал для ограждающих и несущих конструкций жилых и промышленных зданий. Из них изготавливают большинство стеновых панелей и блоков, плит кровельных покрытий и камней для укладки стен. Термин «легкие бетоны» объединяет большую группу различных по составу, структуре и свойствам бетонов.

Легкие бетоны на пористых заполнителях — наиболее распространенный вид легких бетонов. Свидетельства их применения известны еще в Древнем Риме. Для получения легких бетонов тогда использовали природный заполнитель — пемзу и туф, а также бой керамики и даже пустые глиняные сосуды. В настоящее время эти заполнители также используют как местный материал.

В массовом производстве используют искусственные пористые заполнители: керамзит, аглопорит, шлаковая пемза и др.

Особенности технологии легких бетонов связаны со спецификой пористых заполнителей: их плотность меньше плотности воды, поверхность частиц шероховатая и они активно поглощают воду.

Для приготовления легкобетонных смесей желательно использовать смесители принудительного перемешивания.

При вибрировании легких бетонов расслоение смеси имеет обратный характер в сравнении с тяжелым. Вверх всплывают легкие зерна заполнителя, а вниз опускается цементное тесто.

Твердение цемента в легких бетонах происходит в более благоприятных условиях, чем в тяжелом бетоне, так как заполнитель, поглотивший воду во время приготовления смеси, служит как бы аккумулятором воды, обеспечивающим влажное твердение бетона в длительные сроки.

Морозостойкость легких бетонов при их пористой структуре довольно высокая. Рядовые легкие бетоны имеют морозостойкость в пределах F25...F100. Для специальных целей могут быть получены легкие бетоны с морозостойкостью F200, F300 и F400.

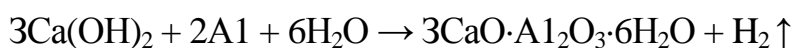
Водонепроницаемость у легких бетонов высокая и увеличивающаяся по мере твердения бетона за счет уплотнения контактной зоны «цементный камень — заполнитель», являющейся самым уязвимым местом для проникновения воды в обычном бетоне. Установлены следующие марки легких бетонов по водонепроницаемости: W0,2; W0,4; W0,6; W0,8; W1; W1,2 (давление воды, МПа, не вызывающее фильтрации при стандартных испытаниях).

Ячеистые бетоны на 60...85 % по объему состоят из замкнутых пор (ячеек) размером 0,2...2 мм. Ячеистые бетоны получают при затвердевании насыщенной газовыми пузырьками смеси вяжущего, кремнезистого

компонента и воды. Благодаря высокопористой структуре средняя плотность ячеистого бетона невелика - 300... 1200 кг/м³; он имеет низкую теплопроводность при достаточной прочности. Бетоны с желаемыми характеристиками (плотностью, прочностью и теплопроводностью) сравнительно легко можно получать, регулируя их пористость в процессе изготовления.

Вязущим в ячеистых бетонах может служить портландцемент (или известь) с кремнеземистым компонентом. При применении известково-кремнеземистых вяжущих получаемые бетоны называют газо- и пеносиликатами.

Газобетон и газосиликат получают, вспучивая тесто вяжущего газом, выделяющимся при химической реакции между веществом-газообразователем и вяжущим. Чаще всего газообразователем служит алюминиевая пудра, которая, реагируя с гидратом оксида кальция, выделяет водород



Согласно уравнению химической реакции, 1 кг алюминиевой пудры выделит до 1,25 м³ водорода, т. е. для получения 1 м³ газобетона требуется 0,5...0,7 кг пудры.

Пенобетоны и пеносиликаты получают, смешивая тесто вяжущего с заранее приготовленной устойчивой технической пеной. Для образования пены используют пенообразователи, получаемые как модификацией побочных продуктов других производств (гидролизованная кровь, клееканифольный пенообразователь), так и синтезируемые специально (сульфанол и т. п.).

Свойства ячеистых бетонов определяются их пористостью, видом вяжущего и условиями твердения. Как уже говорилось, пористость ячеистых бетонов - 60...85%. Характер пор - замкнутый, но стенки пор состоят из затвердевшего цементного камня, который, как известно, пронизан порами,

в том числе и капиллярными. Для движения воздуха поры в ячеистом бетоне замкнуты, а для проникновения воды — открыты. Поэтому водопоглощение ячеистого бетона довольно высокое (табл. 12.4) и морозостойкость соответственно пониженная по сравнению с бетонами слитной структуры.

Гидрофильность цементного камня и большая пористость обуславливают высокую сорбционную влажность. Это сказывается на теплоизоляционных показателях ячеистого бетона (табл. 12.4). Поэтому при использовании ячеистого бетона в ограждающих конструкциях его наружную поверхность необходимо защищать от контакта с водой или гидрофобизировать.

Прочность ячеистых бетонов зависит от их средней плотности и находится в пределах 1,5... 15 МПа. Модуль упругости ячеистых бетонов ниже, чем у обычных бетонов, т. е. они более деформативны. Кроме того, у ячеистого бетона повышенная ползучесть.

Ячеистые бетоны и изделия из них обладают хорошими звукоизоляционными свойствами, они огнестойки и легко поддаются механической обработке (пилятся и сверлятся).

Наиболее рациональная область применения ячеистых бетонов — ограждающие конструкции (стены) жилых и промышленных зданий: несущие — для малоэтажных зданий и ненесущие — для многоэтажных, имеющих несущий каркас.

Специальные бетоны способны работать в экстремальных условиях или обладают свойствами, не характерными для обычных бетонов. Но при этом их технология и принципиальный состав остаются «бетонными», такие бетоны используют для устройства конструкций, защищающих людей от рентгеновского и γ -излучения. Для этого в состав бетона вводят заполнители, содержащие железо, барий и другие тяжелые элементы, хорошо поглощающие жесткое ионизирующее излучение. В качестве заполнителей

используют: железные руды (магнетит, лимонит), барит, металлическую дробь и т. п. Плотность таких бетонов достигает 4000...5000 кг/м³.

Гидратные бетоны предназначены для защиты от *нейтронного* излучения. Как известно из физики, потоки нейтронов лучше всего поглощают атомы легких элементов (водорода, лития, бора). Для этих целей чаще всего используют бетоны, содержащие большое количество химически связанной воды. Этого можно добиться, используя вяжущие, образующие при твердении этtringит— $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$, а также применяя заполнители, содержащие кристаллизационную воду, например, серпентин (змеевик) $3\text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

Жаростойкие бетоны характеризуются способностью сохранять в определенных пределах физико-механические свойства при длительном воздействии высоких температур.

Для изготовления жаростойких бетонов в качестве вяжущих используют глиноземистый цемент, шлакопортландцемент и жидкое стекло. Заполнителями и тонкомолотыми наполнителями служат металлургические шлаки, бой керамических и огнеупорных изделий, базальт, андезит и т. п.

Жаростойкие бетоны готовят по обычной технологии, а затем в процессе работы при высоких температурах они сами превращаются в монолитный керамический материал. Из таких бетонов выполняют футеровку промышленных печей, фундаменты доменных и мартеновских печей и т. п. Применение жаростойких бетонов взамен штучных материалов снижает стоимость и ускоряет строительство.

Кислотоупорные бетоны получают на кислотоупорном цементе и кислотостойких заполнителях. Применяют кислотоупорные бетоны на химических предприятиях для облицовки несущих конструкций, устройства бетонных полов и т. п.

4.1. Железобетон и железобетонные изделия

Бетон имеет недостаток, присущий всем каменным как природным, так и искусственным материалам,— он хорошо работает на сжатие, но плохо сопротивляется изгибу и растяжению. Прочность бетона при растяжении составляет всего около $1/10\dots 1/15$ его прочности на сжатие. Чтобы повысить прочность бетонных конструкций на растяжение и изгиб, в бетон укладывают стальную проволоку или стержни, называемой арматурой. Арматура в переводе с латинского означает «вооружение», т. е. стальная арматура как бы вооружает, укрепляет бетон. Армированный стальными стержнями бетон называют железобетоном. Каменные конструкции армированные металлом, были известны давно, но в современном виде железобетон появился лишь во второй половине XIX века, когда было освоено промышленное производство портландцемента. Патент на изобретение железобетона был выдан французу Ж. Монье в 1867г., хотя известны попытки использования железобетона и до него (например, в 1849г. инженером Г.Е. Паукером в России и в 1845г. В. Уилкинсоном в Англии). Первоначально железобетон применялся довольно ограниченно. В настоящее время это основной конструкционный материал в жилищном и промышленном строительстве.

Железобетон — это не два разнородных материала: бетон и сталь, а новый материал, в котором сталь и бетон работают совместно, помогая друг другу. Это объясняется следующим. Бетон при твердении на воздухе уменьшается в объеме, плотно охватывая арматуру. Прочность сцепления арматуры с бетоном достигает больших значений. Так, чтобы выдернуть из бетона стержень диаметром 30 мм, введенный в бетон на глубину 300 мм, требуется сила не менее 10 кН. Сцепление стали с бетоном не нарушается и при сильных перепадах температуры, так как коэффициенты теплового расширения стали и бетона почти одинаковы. Хорошее сцепление стали с

бетоном приводит к тому, что под нагрузкой эти два материала работают как одно целое.

Смысл армирования можно пояснить на элементах, работающих на изгиб (балках, ригелях). В таких элементах часть поперечного сечения элемента подвергается сжатию, а другая — растяжению. Если балку изготовить из неармированного бетона, то вследствие низкой его прочности на растяжение (1...4 МПа) уже под небольшой нагрузкой бетон в растянутой зоне растрескивается и балка разрушится. Если же в растянутую зону ввести стальную арматуру, то она примет на себя растягивающие напряжения (прочность стали при растяжении более 200 МПа), и балка, хотя на ней могут появиться трещины, не разрушится даже при больших нагрузках. В ряде случаев армируют элементы, работающие и на сжатие (колонны, сваи), так как и на сжатие сталь в 5... 10 раз прочнее бетона.

Причиной, почему арматура принимает на себя большую часть нагрузки, является различие в модулях упругости стали $2 \cdot 10^5$ МПа и бетона $(2...3) \times 10^4$ МПа. Из-за того, что модуль упругости стали в 10 раз выше модуля упругости бетона, при нагружении железобетонного элемента напряжения, возникающие в стали, приблизительно в 10 раз выше, чем напряжения в бетоне, т. е. в материале происходит как бы перераспределение нагрузки.

Бетон благодаря своей плотности и водонепроницаемости, с одной стороны, и щелочной реакции цементного камня в бетоне, с другой, защищает сталь от коррозии. Кроме того, бетон как сравнительно плохой проводник теплоты защищает сталь от быстрого нагрева при пожарах. Стальные конструкции при пожаре быстро нагреваются, сталь размягчается и вся конструкция начинает деформироваться даже под собственным весом. В железобетонных конструкциях стальная арматура защищена от огня слоем бетона. Так, опыты показали, что при температуре поверхности бетона

1000°С арматура, находящаяся на глубине 50мм, через 2 ч нагреется лишь до 500°С.

В современном строительстве все большее применение находит *напряженно-армированный бетон*. Как уже говорилось, прочность бетона на растяжение в 10...20 раз ниже, чем на сжатие. В железобетоне этот недостаток устраняют введением в растянутую зону арматуры. Однако вследствие малой растяжимости бетона в растянутой его зоне возникают трещины, после чего всю нагрузку воспринимает только арматура. Пока ширина трещины менее 0,1...0,2 мм (так называемые волосяные трещины), они не опасны с точки зрения сцепления арматуры с бетоном и коррозии арматуры.

При применении для армирования высокопрочных сталей полное использование их прочности сопровождается относительно большим удлинением арматуры, что приводит к сильному растрескиванию бетона, а это, в свою очередь,— к коррозии арматуры из-за обнажения ее поверхности. Отсюда следует, что при обычном способе армирования применение высокопрочной арматуры нерационально. При армировании такой арматурой применяют метод предварительного натяжения арматуры.

Сущность этого метода состоит в том, что до загрузки железобетонной конструкции полезной нагрузкой ее арматуру растягивают наподобие резинового жгута; упором при этом служит бетон. Естественно, что чем сильнее растянута арматура, тем больше будет сжат бетон. Когда же к конструкции приложена полезная нагрузка, напряжения от нее, возникающие в растянутой зоне бетона, частично компенсируются предварительно созданными сжимающими напряжениями. Поэтому в растянутой зоне бетона не возникнут трещины, а предварительно напряженная арматура получит от нагрузки дополнительное напряжение и её высокая прочность будет реализована в большой степени.

В настоящее время применяют два способа получения напряженно-армированного бетона. Один из них заключается в том, что арматуру натягивают и закрепляют на специальных анкерах, а затем укладывают бетон. После того как бетон достаточно затвердеет, арматуру освобождают и она, сжимаясь, сжимает бетон. Другой способ: в бетоне оставляют специальные каналы для напрягаемой арматуры. После затвердевания бетона арматуру вводят в каналы и натягивают, используя в качестве опоры затвердевший бетон. При этом в бетоне возникают сжимающие напряжения. После натяжения арматуры каналы заполняют цементным раствором.

В предварительно напряженных железобетонных конструкциях более полно используется прочность стали и бетона, поэтому уменьшается масса изделий. Кроме того, предварительное обжатие бетона, препятствуя образованию трещин, повышает его долговечность.

Благодаря универсальности и комплексу ценных свойств железобетон на тяжелом и легком бетоне используют для строительства всех типов зданий и инженерных сооружений. Так, массовое строительство жилых зданий осуществляется из сборного железобетона, причем из него выполняют все элементы здания. В многоэтажных кирпичных зданиях фундаменты и перекрытия — железобетонные. Промышленные здания и инженерные сооружения в основном возводят из железобетона.

В зависимости от способа изготовления железобетонные конструкции могут быть монолитными или сборными.

Монолитным называют железобетон, изготавливаемый непосредственно на строительной площадке. На месте возведения конструкции устанавливают опалубку. Назначение опалубки — придать бетонной смеси при ее укладке форму будущей конструкции. Опалубку выполняют из дерева, фанеры, стали или различных их комбинаций. Обычно применяют разборно-переставную опалубку из мелких или крупных щитов.

Для возведения высоких сооружений (резервуаров, труб, башен) применяют скользящую или подъемно-переставную опалубку. Когда бетон, уложенный в скользящую опалубку, достаточно затвердеет, опалубку вместе с рабочими подмостями двигают вверх и цикл повторяют. Такая опалубка была использована при строительстве Останкинской телевизионной башни.

В опалубку укладывают арматуру, а затем бетонную смесь. Бетонную смесь уплотняют глубинными или поверхностными вибраторами, навешиваемыми на опалубку.

Бетон после укладки первые 7...10 дн необходимо защищать от высыхания, а зимой — от замерзания. В противном случае мы не получим требуемой прочности бетона. Бетон твердеет обычно естественным путем, зимой возможен его подогрев.

Опалубку снимают по достижении бетоном достаточной прочности, чаще всего через 7...10 дн.

В последние годы монолитный железобетон применяют все шире (в начальный период своего развития железобетон в строительстве использовали только в монолитном варианте). Из монолитного бетона возводят здания и сооружения, не поддающиеся разделению на однотипные элементы, при особенно больших или динамических нагрузках на конструкции зданий и сооружений (например, фундаменты и каркасы многоэтажных жилых и промышленных зданий, особенно в сейсмических районах), гидротехнические сооружения и т. п. С каждым годом расширяется строительство из монолитного бетона городских и сельских жилых зданий. Особенно эффективно такое строительство в случае применения специально изготовленной металлической опалубки многократного использования, что позволяет добиться большой точности изготовления строительных конструкций при низких трудозатратах.

Для монолитного строительства используют тяжелые и легкие бетоны на быстротвердеющих цементах. При правильной организации труда скорость строительства из монолитного бетона не уступает скорости монтажа из сборных элементов.

За последние годы в городах России построено много нестандартных сооружений из монолитного бетона, в том числе и такие уникальные, как храм Христа Спасителя, подземный торговый комплекс на Манежной площади в Москве и др.

Сборные железобетонные изделия и конструкции (сборный железобетон) представляют собой крупноразмерные железобетонные элементы, изготавливаемые на заводе или полигоне домостроительного комбината. Основное преимущество таких конструкций — высокомеханизированные и автоматизированные методы их изготовления; на строительной площадке эти элементы только монтируют, что резко сокращает сроки строительства, повышает производительность труда и позволяет широко применять новые эффективные материалы (легкие и ячеистые бетоны, отделочную керамику, пластмассы и т. п.).

Развитие сборного строительства нашло свое выражение в организации домостроительных комбинатов (ДСК). ДСК выпускают все необходимые для строительства здания железобетонные элементы, транспортируют их на стройку и осуществляют монтаж и окончательную отделку здания. Главнейшее звено ДСК — заводы, выпускающие железобетонные конструкции и детали.

Основные операции при производстве железобетонных изделий: приготовление бетонной смеси, изготовление арматуры, армирование и формование изделий и их ускоренное твердение.

Бетонную смесь готовят в бетоносмесительном цехе завода, арматуру — в арматурном цехе. Поступающую на завод арматурную сталь (в

бухтах или прутках) на специальных станках очищают от ржавчины, правят и режут на стержни заданной длины. Необходимую форму стержням придают на гибочных станках. Отдельные стержни и проволоку соединяют в сетки и каркасы контактной сваркой на станках-автоматах. Готовые сетки и каркасы передают в формовочный цех.

Напрягаемую арматуру натягивают на анкеры форм с помощью специальных механизмов или реже методом термического натяжения.

Перед укладкой арматуры и бетона формы очищают и покрывают смазочным материалом, препятствующим сцеплению бетона с металлом форм. Бетонная смесь из бетоносмесительного цеха поступает в приемный бункер бетоноукладчика, который подает ее в форму и разравнивает.

Уплотняют бетонную смесь на заводах центрифугированием, вибропрессованием, прокатом, но чаще на виброплощадках большой грузоподъемности (до 5...10 т) с электромеханическим или электромагнитным приводом. Пустоты в изделиях формируют с помощью вибровкладышей.

Для ускорения твердения бетона его подвергают тепловлажностной обработке: нагреву до температуры 80...180°C таким образом, чтобы в бетоне сохранялась вода в жидком состоянии, необходимая для твердения цемента.

Применяют следующие виды тепловлажностной обработки: пропаривание при нормальном давлении и температуре 80...95°C; контактный нагрев и электроподогрев до 100°C; запаривание в автоклавах при давлении 0,9... 1,6 МПа (оно необходимо, чтобы вода в бетоне оставалась жидкой) и температуре 175...200°C.

Наиболее распространено *пропаривание* при нормальном давлении в камерах непрерывного или периодического действия. Изделия нагревают насыщенным паром.

Камеры непрерывного действия представляют собой туннель, в котором изделия в формах, установленных на вагонетках, проходят последовательно зоны подогрева, изотермической выдержки и охлаждения.

В камеры периодического действия изделия загружают краном и устанавливают в несколько рядов по высоте. Затем камеру закрывают крышкой и подают насыщенный пар. Продолжительность пропаривания 10...16 ч. За это время бетон набирает не менее 70 % марочной прочности.

После извлечения из форм изделия проходят технический контроль на соответствие требованиям ГОСТ или ТУ.

Изделия, удовлетворяющие требованиям стандарта, маркируют несмываемой краской. В маркировке указывают паспортный номер изделия, его индекс, марку завода-изготовителя и пр. На каждую партию изделий составляют паспорт в двух экземплярах: для потребителя и завода-изготовителя.

Железобетонные изделия изготавливают способами: стендовым, кассетным, поточно-агрегатным, конвейерным и вибропрокатным.

При *стендовом способе* изделия получают в неподвижных формах (на стенде). Механизмы (бетоноукладчики, вибраторы и др.) поочередно подходят к стенду для выполнения необходимых операций. Этим способом изготавливают, как правило, крупногабаритные изделия (фермы, колонны, балки) на полигонах.

Кассетный способ — вариант стендового способа, основой которого является формование изделий в стационарно установленных кассетах, состоящих из нескольких вертикальных металлических форм-отсеков. В форму закладывают арматурный каркас и заполняют ее бетонной смесью. Тепловую обработку производят контактным обогревом через стенки форм. После тепловой обработки стенки форм раздвигают и изделия вынимают мостовым краном. Кассетным способом изготавливают плоские изделия (панели перекрытий, стеновые панели и т. п.).

При *поточно-агрегатном способе* формы с изделиями перемешаются от одного технологического агрегата к другому краном, а при *конвейерном* они стоят на вагонетках, движущихся по рельсовому пути. При конвейерном способе тепловлажностную обработку осуществляют непрерывным методом. Конвейерный способ - высокопроизводительный, но на каждой нитке конвейера можно выпускать изделие только одного типоразмера.

При *вибропрокатном способе* процессы получения железобетонного изделия происходят на одной установке непрерывного действия — вибропрокатном стане. Вибропрокатный стан — это конвейер из стальной обрезиненной формующей ленты, движущейся вдоль постов укладки арматуры и бетона, виброуплотнения бетона и контактной тепловой обработки. Вибропрокатным способом получают плиты перекрытий, легкобетонные панели наружных стен, перегородочные панели. Этот способ самый производительный, но переход с выпуска одного вида изделий на другой затруднен, так как связан с полной переоснасткой стана.

4.2. Искусственные каменные материалы на основе вяжущих веществ

В зависимости от вида вяжущего различают изделия на основе цемента, извести, гипса и др. Вид вяжущего и принятый способ производства определяют условия твердения таких материалов: естественное твердение, пропаривание, автоклавная обработка.

В качестве заполнителей для получения искусственных каменных изделий используют разнообразные материалы, обычный песок, керамзит и другие пористые заполнители, опилки и стружки и специфический армирующий заполнитель — асбест.

К основным искусственным каменным материалам и изделиям относятся: силикатный кирпич и силикатобетонные изделия; гипсобетонные

изделия, стеновые камни из легкого и ячеистого бетона, арболит, цементно-стружечные плиты и асбестоцементные изделия.

В отличие от керамики материалы на минеральных вяжущих получают за счет естественного твердения или термообработки при температурах до 200°C (керамический кирпич обжигают при 900... 1100°C). Таким образом, энергозатраты на производство изделий на минеральных вяжущих, даже с учетом энергозатрат на получение самого вяжущего, меньше, чем для получения керамики. Однако керамические материалы, как правило, более долговечны и стойки к действию воды, агрессивных растворов и высоких температур.

Силикатный кирпич и силикатобетонные изделия

Известно, что известь относится к воздушным вяжущим веществам, а известково-песчаные растворы являются малопрочными и неводостойкими материалами. Естественно предположить, что известково-песчаный раствор при определенных условиях должен твердеть с образованием гидросиликатов, так как в нем есть все необходимые для этого компоненты: известь $\text{Ca}(\text{OH})_2$, песок SiO_2 и вода H_2O .

Первым, кто получил достаточно водостойкий и прочный материал на основе извести и песка, был немецкий ученый В. Михаэлис, который в 1880 г. предложил обрабатывать известково-песчаную смесь в атмосфере насыщенного пара при температуре 150...200° С.

Известно, что для получения насыщенного пара температурой выше 100°C необходимо давление выше атмосферного, причем оно должно быть тем выше, чем выше температура насыщенного пара. При температуре 150...200°C и соответствующем ей давлении 0,9...1,3 МПа известь, песок и вода образуют гидросиликаты кальция:

Современное производство силикатного кирпича заключается в следующем. Сырьевую смесь, в состав которой входит 90...95 % песка, 5...

10% молотой негашеной извести и некоторое количество воды, тщательно перемешивают и выдерживают до полного гашения извести. Затем из этой смеси под большим давлением (15...20 МПа) прессуют кирпич, который укладывают на вагонетки и направляют для твердения в автоклавы - толстостенные стальные цилиндры диаметром до 2м и длиной до 20м с герметически закрывающимися крышками. В автоклаве в атмосфере насыщенного пара при давлении 0,9 МПа и температуре 175°С кирпич твердеет 8...14ч. Из автоклава выгружают почти готовый кирпич, который выдерживают 10...15дн для карбонизации не-прореагировавшей извести углекислым газом воздуха, в результате чего повышаются водостойкость и прочность кирпича. Плотность обыкновенного силикатного кирпича несколько выше, чем полнотелого керамического. Снижение плотности кирпича и камней достигается формованием в них пустот или введением в сырьевую массу пористых заполнителей.

Силикатный кирпич, так же, как и керамический, в зависимости от размеров может быть:

одинарный (полнотелый или с пористыми заполнителями)
250x120x65 мм;

утолщенный (пустотелый или с пористыми заполнителями)
250x120x88 мм (масса утолщенного кирпича не должна быть более 4,3 кг);

силикатный камень (пустотелый) 250x120x138 мм.

Цвет кирпича - от молочно-белого до светло-серого. Выпускают также лицевой кирпич с повышенными физико-механическими свойствами; он может быть цветным - окрашенным в массу или по лицевым граням щелочестойкими пигментами в голубой, зеленоватый, желтый и другие светлые тона.

В зависимости от предела прочности при сжатии и изгибе силикатный кирпич и камни подразделяют на семь марок: 300; 250; 200; 150; 125; 100 и

75, имеющих средние значения прочности при сжатии соответственно не менее 30...7,5 МПа. Водопоглощение силикатного кирпича не менее 6%. Марки по морозостойкости у кирпича и камней — F50; 35; 25 и 15; для лицевых изделий морозостойкость должна быть не ниже 25.

Существенным недостатком силикатного кирпича по сравнению с керамическим является пониженная водостойкость и жаростойкость.

Силикатный кирпич применяют для кладки наружных и внутренних стен надземных частей зданий и сооружений. Использовать его в конструкциях, подвергающихся воздействию воды (фундаменты, канализационные колодцы и т. п.) и высоких температур (печи, дымовые трубы и т. п.), запрещается.

Кроме известково-песчаного силикатного кирпича выпускают известково-шлаковый и известково-зольный, в которых вместо песка частично или полностью используют промышленные отходы: золы теплоэлектростанций и шлаки. Свойства этих видов кирпича аналогичны свойствам известково-песчаного.

Силикатобетонные изделия бывают тяжелые (аналогичные обычному бетону) и легкие (на основе пористых заполнителей) или ячеистые (пено- и газосиликаты).

Гипсовые и гипсобетонные изделия

Изделия на основе гипса получают как из гипсового теста (т. е. из смеси гипса и воды), так и из смеси гипса, воды и заполнителей. В первом случае изделия называют гипсовыми, а во втором — гипсобетонными. Иногда вместо гипса применяют более водостойкое гипсоцементно-пуццолановое вяжущее.

В качестве заполнителей при изготовлении гипсобетонных изделий используют пористые заполнители (керамзит, шлаковую пемзу), опилки, стружки, стебли камыша, льняную костру, макулатуру и т. п. Для уменьшения плотности к гипсовым смесям добавляют вспенивающие вещества.

Гипс — воздушное вяжущее, поэтому гипсовые и гипсобетонные изделия (панели и плиты перегородочные, плиты для оснований пола, листы обшивочные, вентиляционные короба, камни для кладки стен, архитектурные детали) применяют в основном для внутренних частей зданий, не несущих больших нагрузок. Изделия из гипса могут быть сплошными и пустотелыми, армированными и неармированными.

У гипсовых изделий невысокая плотность (1100... 1400 кг/м³); они негоряемы, хорошо изолируют от шума, поддаются механической обработке и легко пробиваются гвоздями. Изготавливать гипсовые изделия несложно, так как гипс твердеет быстро.

Наряду с перечисленными положительными свойствами у гипсовых изделий есть и существенные недостатки: низкая водостойкость, гигроскопичность, хрупкость и малая прочность при изгибе. Изделия из гипса нельзя применять в помещениях с влажностью воздуха более 65 %. Для повышения водостойкости гипсовые изделия покрывают водонепроницаемыми красками. Чтобы увеличить прочность при изгибе, гипсовые изделия армируют, применяя для этой цели деревянные рейки, стебли камыша, органические волокна.

Гипсобетонные панели для перегородок применяют во всех типах жилых, общественных и промышленных зданий. Панели размером на комнату (высотой до 4 м, длиной до 6,6 м) могут быть как сплошные, так и с проемами для дверей и фрамуг. Толщина панелей 60, 80 и 100 мм. Класс гипсобетона по прочности для панелей — не менее В3,5.

Гипсобетонные панели для помещений с повышенной влажностью, например, санитарно-технических кабин, изготавливают на гипсоцементопуццолановом вяжущем или гидрофобизированном гипсе. Класс бетона не менее В 3,5. К гипсобетонным панелям предъявляются в основном требования по прочности и звукоизоляции. Этим требованиям отвечает

гипсобетон состава 1:1: 1 (гипс: песок: опилки) плотностью 1100... 1400 кг/м³. Получают панели в основном методом непрерывного проката или вертикального формования в кассетах. Панели армируют каркасом из деревянных реек, а по контуру панели выполняют обвязку из деревянных брусков. Весь цикл производства составляет 30...60 мин.

Гипсовые плиты для перегородок изготавливают из гипса марок Г4 и Г5 по литьевой технологии. Плиты выпускают размерами: длина 670...800 мм, ширина 400...500 мм и толщина 80...100 мм. Большинство плит имеют паз и гребень, что облегчает монтаж перегородок. Плотность гипсового камня около 1000 кг/м³. Масса 1 м² перегородки 80...100 кг. Прочность при сжатии не менее 5 МПа.

Выпускают два вида плит: обыкновенные и влагостойкие. Последние изготавливают, вводя в гипс гидрофобные добавки. Водопоглощение по массе обычных плит < 35 %, влагостойких — < 5 %.

Возможно изготовление плит большего размера, армируемых деревянными рейками, камышом или растительными волокнами.

Размер перегородок из гипсовых плит: высота не более 3,6 м, длина не более 6 м. При больших размерах требуется установка разделительных укрепляющих элементов из металла или бетона, надежно соединенных с несущими конструкциями.

Гипсокартонные листы выпускают длиной 2,5...4,8 м, шириной 0,6...1,2 м, толщиной 8...25 мм, плотностью 850...950 кг/м³.

Кроме гипсокартонных листов выпускают *гипсоволокнистые листы*, в которых в качестве армирующего компонента используют целлюлозные волокна, получаемые из картонной и бумажной макулатуры, и др. Такие листы используют для устройства сборных стяжек при настилке полов.

Гипсовые листовые материалы относятся к труднообрабатываемым материалам. Их применяют для отделки стен и потолков и устройства

перегородок в помещениях с нормальным влажностным режимом. Существенное достоинство листовых материалов — большие размеры, что ускоряет процесс отделки и устройства перегородок. Крепят листы клеящими мастиками или с помощью металлических профилей; крепить гвоздями не рекомендуется из-за возможности коррозии металла в гипсе.

Бетонные стеновые камни для несущих и ограждающих конструкций всех типов зданий изготавливают размерами от 288x138x138 до 390 x 190 x 188 мм, массой не более 32 кг, из тяжелых и легких бетонов на цементном, силикатном и гипсовом вяжущих. Применяют их для кладки наружных стен (рядовые и лицевые) и фундаментов. Стеновые камни при плотности бетона более 1600 кг/м³ должны быть пустотелыми. Для фундаментов камни изготавливают только из тяжелого бетона без пустот. Лицевые камни могут быть окрашены рельефным рисунком или покрыты декоративным заполнителем. Камни подразделяют на семь марок: от 25 до 200. Камни марок 25 и 35 получают из легких бетонов на пористых заполнителях. Марки камней по морозостойкости: F15, 25, 35 и 50.

Мелкие стеновые блоки из ячеистого бетона применяют для кладки наружных и внутренних стен малоэтажных зданий и заполнения каркаса многоэтажных зданий. Блоки рекомендуются для применения в помещениях с относительной влажностью не более 75 %. Для стен подвалов, цоколей и других частей зданий, где возможно сильное увлажнение бетона, такие блоки применять запрещается. Изготавливают их из ячеистых бетонов.

В зависимости от средней плотности ячеистого бетона (кг/м³) блоки выпускают восьми марок от D500 до D1200. Класс бетона по прочности при сжатии (МПа) соответственно от B1,5 до B12,5. Морозостойкость блоков для наружных стен должна быть не ниже F25, а блоков для внутренних стен — F15.

Стандартом предусмотрено 10 типоразмеров блоков от 300 x 250 x 300 мм до 300 x 200 x 600 мм (размеры номинальные). Блоки выпускают для

кладки на растворе или на клею (второй вариант более эффективен с точки зрения обеспечения теплоизоляционных показателей стены). Различие этих двух типов блоков заключается в размерах (при кладке на клею значительно меньше толщина шва) и в точности соблюдения размеров и геометрии блоков. Так, допустимые искривления граней и ребер у блоков для кладки на растворе — 5 мм, а у блоков для кладки на клею — 1 мм.

Большое преимущество блоков из ячеистого бетона — низкая плотность (обычно 500...600 кг/м), благодаря чему из них можно возводить стены толщиной 30...40 см, отвечающие нормативам СНиП по термическому сопротивлению, без специальной теплоизоляции.

Асбестоцемент и асбестоцементные материалы

Получить легкие тонкостенные изделия из бетона на цементе с обычной прутковой или проволочной арматурой невозможно. Эту проблему можно решить, равномерно распределяя в мелкозернистой смеси на основе портландцемента (или другого вяжущего) тонкие армирующие волокна (отрезки стальной проволоки, асбестовое волокно, стекловолокно и др.). Из таких композиционных материалов, называемых *фибробетоном*, изготавливают большеразмерные листы, трубы и фасонные изделия толщиной всего несколько миллиметров. Самый распространенный и эффективный материал такого рода - *асбестоцемент*, получаемый на основе распушенного асбеста.

Асбест — собирательное название группы тонковолокнистых минералов, образующихся в земной коре при воздействии геотермальных вод на ультраосновные магматические породы. Особенностью асбеста является способность его минеральных агрегатов разделяться (распушаться) на тончайшие (диаметром в доли микрона) мягкие волоконца. Благодаря этому свойству асбест получил название «горный лен».

Асбест обладает высокой адсорбционной способностью; особенно активно он адсорбирует ионы Ca^+ , поэтому его волокна хорошо сцепляются с

цементным вяжущим. Асбест, помимо высокой прочности, обладает низкой теплопроводностью [0,35...0,41 Вт/(м·К) в нераспушенном виде]; устойчивостью к повышенным температурам (нагрев до 400...500°С, не вызывает в асбесте необратимых изменений); высоким коэффициентом трения (например, по стали — 0,8).

Из асбестового волокна изготавливают ткани, картон, бумагу, шнуры, которые благодаря огнестойкости асбеста используют для высокотемпературной тепловой изоляции. Из смеси асбеста с синтетическими смолами получают асбестотехнические изделия для автотракторной (тормозные колодки и т. п.) и электротехнической (электроизоляционные материалы) промышленности.

Асбестоцемент — искусственный каменный материал, получаемый при затвердевании смеси портландцемента, асбеста (15...20 % от массы цемента) и воды. Асбест хорошо сцепляется с твердеющим цементом, и благодаря высокой прочности при растяжении асбестовое волокно армирует материал по всему объему.

Асбестоцементные изделия в основном производят путем отливки жидко-вязкой массы на частую металлическую сетку с последующим обезвоживанием и формованием. Таким образом получают плоские и волнистые листы и трубы.

Используется и другой способ формования асбестоцементных изделий — экструзия — выдавливание пластичной массы, как при производстве кирпича. Таким образом получают погонажные изделия: подоконные плиты, швеллеры, пустотелые плиты и панели.

Асбестоцемент при сравнительно небольшой плотности (1600...2000 кг/м³) обладает высокими прочностными показателями (предел прочности при изгибе до 30 МПа, а при сжатии до 90 МПа). Он долговечен, морозостоек (через 50 циклов замораживания-оттаивания теряет не более 10 % прочности) и практически водонепроницаем.

Недостатки асбестоцемента: хрупкость (асбестоцемент не выдерживает сильных ударных нагрузок), набухание и усадка при изменении влажности асбестоцемента, сопровождающиеся короблением.

Волнистые кровельные листы («шифер») — основной вид листовых асбестоцементных изделий. Шифер широко используют в качестве кровельного материала (его доля в общем объеме производства кровельных материалов — около 50 %). Кровельные листы выпускают 6 типоразмеров: длиной 1,2...2,5 м; шириной 0,69...1,15 м; толщиной 5,5...7,5 мм.

Кроме обычных выпускают листы, окрашенные атмосферостойкими красками как в массу, так и с поверхности. В последнее время начался выпуск плоских с фигурной кромкой листов, имитирующих мелкоштучную черепицу. Долговечность асбестоцементных изделий – более 50 лет.

5. НЕКОТОРЫЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

5.1. Антифрикционные материалы

Антифрикционными называются материалы с низким коэффициентом трения. Основными антифрикционными материалами являются серые чугуны, бронзы, баббиты, материалы на основе полимеров и металлических порошков с твердыми смазками. Основное требование к структуре антифрикционных материалов ее специфическая “неоднородность” - мягкая структура, в которую вкраплены твердые и мягкие включения. Мягкие составляющие вырабатываются и смазывают вал, твердые - его удерживают.

В конструкциях с парой трения - скольжением применение имеют баббиты - антифрикционные сплавы олова и свинца с медью и сурьмой с низким коэффициентом трения. Существуют баббиты оловянные и свинцовые ГОСТ 1320 - 74 и кальциевые ГОСТ 1209 - 78. Оловянные баббиты содержат кроме олова, 8 - 10 % сурьмы и 3...6 % меди. Марки Б88,

Б83, Б83С (1% Pb). Цифры содержание олова в %. Оловянные баббиты используют для изготовления подшипников, работающих преимущественно в тяжелых условиях и при больших окружных скоростях. Свинцовистые баббиты содержат дополнительно Sb, Sn, Cu, а отдельные марки - Ni, K, Al. Б16, БН, БС6, БКА, БК2.

В настоящее время в машиностроении широкое распространение получают порошковые спеченные антифрикционные материалы на основе медной и стальных матриц. В композиции вводят различные добавки - фтористый кальций, графит, турбостратный нитрид бора, обладающие смазывающими и противозадирными свойствами. Сформированная спеканием пористая структура позволяет в поровых каналах удерживать масла и жидкие смазки. Все это делает их наиболее эффективными материалами для замены дорогих бронзовых и баббитовых металлических антифрикционных сплавов. Среди неметаллических материалов для изготовления деталей пар трения применяют гетинакс и текстолит. Структура их включает твердые нити или пленки армирующей фазы, например, стеклянных волокон, которые позволяют работать текстолитам в паре трения со сталью.

5.2. Порошковые металлические материалы

Порошковыми металлическими материалами называют спеченные материалы, изготовленные методом приготовления порошковой шихты, формования и спекания..

Порошковые металлические объединяют в себя твердые сплавы, дисперсноупрочненные композиты, анти- и фрикционные материалы, порошковые стали, спеченные цветные металлы, пористые металлические материалы. Порошковые стали изготавливаются из смесей порошков железа с легирующими порошками и порошков углеродистых и легированных сталей. Стали порошковые и изделия из них получают холодным прессованием и спеканием, двойным прессованием и спеканием, горячим

прессованием, горячей штамповкой. То проводится только в защитных средах. Охлаждение рекомендуется проводить в масле или воде для исключения окисления. Для повышения коррозионной стойкости поверхности проводят операции воронения и фосфотации, парогазоокисливания. Углеродистая порошковая сталь общемашиностроительного применения после закалки и низкого отпуска служит заменителем сталей марок 40, 50, 55пп и т.п. для деталей станков и машин работающих при умеренном нагружении без нагрузок смятия. Углеродистая порошковая легированная медью сталь общемашиностроительного применения используется как заменитель сталей марок 40, 50, 55пп, 65, 65Г, 15Х, 40Г2, 30Г2 в состоянии поставки и после нормализации и сталей обыкновенного качества для экономии металла переводимого в стружку. В порошковой стали легированной медью до 3% при контролируемом охлаждении в агрегатах спекания достигают улучшения структуры при старении. Максимальная растворимость Cu в α -Fe - 2,1 % при 850 С; падение растворимости Cu с уменьшением температуры дает возможность использовать в дальнейшем упрочнение за счет выделения частиц второй фазы и старения. Для системы Fe-Cu-C характерна обширная область несмешиваемости в жидком состоянии, связанная с добавками к системе Fe-Cu малых количеств графита. Cu влияет на стабильные и метастабильные двойные эвтектики. Углеродистая порошковая легированная хромом и молибденом сталь используется заменитель сталей марок 40, 50, 55пп, 65, 65Г, 15Х, 40Г2, 30Г2, 20Х, 20ХНР, 20Н2М. В порошковой стали с Cr и Mo при контролируемом охлаждении в агрегатах спекания достигают структуры легированного феррита с равномерно распределенной карбидной фазой. Структурно свободный графит не выявляется. В стали снижается порог хладноломкости и увеличивается прокаливаемость, коррозионная стойкость. Легированные хромом и молибденом стали мало чувствительны к перегреву. В порошковой стали с никелем до 3% при контролируемом охлаждении в агрегатах спекания достигают структуры легированного

феррита. Никель в стали снижает порог хладноломкости и увеличивает прокаливаемость, пластичность и коррозионную стойкость.

Порошковая сталь СПНЗ-4 применяется после закалки и низкого отпуска, как заменитель сталей марок 40, 50, 55пш, 40Г2, 15Х и т.п. для деталей станков и машин работающих при среднем нагружении без нагрузок смятия. В основном спеченные материалы применимы, как детали небольших сечений с линейной осью симметрии: втулки, шестерни, кольца, сухари ; применение для валов и осей не обнаружено. В случае пропитки пор маслом может быть использована в узлах труднодоступной смазки. Наибольшие габариты формуемых деталей массового производства не более 120 мм. Коэффициент использования металла при применении технологии порошковой металлургии не менее 95%. Порошковые стали также бывают мартенситостареющие, коррозионностойкие и магнитные (плотность 7000-7200 кг/м³).

Таблица 5.1. Механические свойства некоторых порошковых сталей.

Марка	прочность бв, МПа	пористость □, %	(не менее) кДж/м ²	Е, ГПа не менее	Твердость НВ, МПа
СП30-3	200	25	500	150	800-900
СП90-3	300	20	300	160	1000-1200
СП30Д3-3	280	20	400	150	900-1000
СП90Д3-3	420	15	300	150	1000-1200
СП60НЗ-3	300	15	800	150	1300-1500
СП50ХМ2-3	580	15	500	160	1700-2000
СП60ХНЗМ-4	720	25	450	200	1900-2100
СПН11М5ТЮ	2200	30	-	-	-
СПХ18Н15	478-535	-	20 - 29	-	-

(Е – модуль упругости, А – характеристика поверхностного натяжения)

(Цифра через дефис в марке обозначает подгруппу плотности порошковой стали)

Полуфабрикаты из антифрикционных материалов выпускаются в виде готовых изделий, а также для экономии цветных металлов (меди и олова) на стальных компактных подложках - биметаллические полуфабрикаты.

Фрикционные материалы. Фрикционные узлы принадлежат к наиболее важным узлам в машинах, так как они в первую очередь определяют их надежность, долговечность и безопасность.

Спеченные фрикционные материалы предназначены для работы в различных передаточных узлах - тормозах и сцеплениях. Кроме того, фрикционные материалы могут работать в разных условиях нагружения и разных условиях смазки - в сухую и специальных маслах. Спеченные фрикционные элементы изготавливают методами порошковой металлургии в виде сегментов, плиток и дисков. Особенностью большинства фрикционных материалов является то, что они в процессе приготовления материала наносятся на несущие каркасы - подложки. Спеченные фрикционные материалы выпускают промышленным методом на основе меди и железа. В качестве фрикционных добавок, вводимых в металлическую порошковую матрицу, используют частицы преимущественно остроугольной формы из полевого шпата, мулата, кианит, нефелин (до 20..30% объемн.).

Физико - механические характеристики некоторых фрикционных материалов на железной и медной основах даны в таблице 5.3.

Таблица 5.3

Марка	ρ , г/см ³	нв, МПа	бв, МПа	σ , Вт/(м ² к)	f	Износ, мкм, фрикционный материал	Контрел ло (чугун ЧНМХ)
ФМК-8 Fe	6.0	600-900	90-100	37.7	0.21-0.22	5-8	1-2
МК-5 Cu	6.0	250-280	24	-	0.16-0.32	-	-

Пористые материалы. В пористых материалах, спеченных из порошков и волокон, обеспечиваются такие свойства, как высокая тепло- и электропроводность, удовлетворительная пластичность, высокая коррозионно- и окислительная стойкость, способность противостоять высоким давлениям, высокая степень очистки в приемлемых пределах проницаемости. Пористые материалы из порошков **титана, коррозионностойких** сталей, никеля и тугоплавких металлов применяются для фильтрации газов, топлива и других технологических жидкостей. Пористость в таких материалах достигает 30 - 70%. Обладая громадной внутренней поверхностью, пористые спеченные материалы являются уникальными фильтрующими элементами, элементами пористого охлаждения и пламегасителями, в большой химии - наилучшими катализаторами. Большинство **пористых** спеченных материалов изготавливают прокаткой металлических порошков или волокон с последующим спеканием в защитных атмосферах.

Табл. 5.4. Свойства некоторых пористых металлов и сплавов.

Материал	П, %	бв, МПа	бсж, МПа	□, %	□, вт(МК)	С, Дж/(кГК)
Бронза Cu - Sn(91:9 мас.)	30-40	39-59	34-69	4-6	20.9	340
Нержавеющая сталь типа 18-8 с 2% Мо	50-60	20-49	29-54	5-6	6.3	500
Нейзильбер Cu- Zn- Ni(65:23:12,масс)	30-40	20-39	16-53	2-4	14.7	390

(□ - теплопроводность, б - прочность (предельная и сжатия), П – пористость, □ - деформативность, С - теплоемкость)

Ситаллы - это частично закристаллизовавшиеся стекла (содержат дополнительно Li_2O , Al_2O_3 , SiO_2 , MgO , CaO), получаемые регулируемой кристаллизацией при повышенных температурах с помощью специально вводимых центров кристаллизации (микрочастиц Cu , V , Au , Ag , Pt и Cr_2O_3 , ZrO , ZnO , V_2O_3 , TiO). По структуре ситаллы занимают промежуточное положение между обычными стеклами и керамикой. Ситаллы - многокомпонентные, гетерогенные, многофазные системы. Ситаллы обладают специфическим комплексом физико-механических свойств. Например, ситалл - "пирокерам" прочнее прокатанного стекла, высокоуглеродистой стали, легче алюминия, а по коэффициенту термического расширения и термостойкости не отличается от кварца. Пирокерам применяется как материал подшипников скольжения, работающих при нагрузке 800 МПа при температуре до 800 С без смазки. Ситаллы используются и в виде жаростойких покрытий. Из них делают трубы для химической промышленности.

Материалы на основе углерода занимают промежуточное место между металлами и неметаллами и поэтому применяются в тех случаях, когда необходимо сочетание их свойств. Углеродистые машиностроительные материалы получают высокотемпературной обработкой (графитизации), частично или полностью создающей состояние кристаллического графита за счет укрупнения кристаллов при рекристаллизации. Структура таких материалов представляет каркас из графитированных частичек кокса, связанных между собой графитизированным коксом связующего. Для получения анизотропных слоистых структур применяется пироуглерод. В машиностроении применяются графиты натуральные и искусственные, электродные, антифрикционные, огнеупорные, химически стойкие изделия из него и углеродные волокна, ткани и стеклоуглерод. В электрических аппаратах применяют угольно-графитовые электроды (например, марки Т

- 2 ГОСТ 2332-87). Углеродистые антифрикционные изделия применяются в качестве вкладышей радиальных и упорных подшипников, направляющих втулок, пластин, поршневых колец, поршневых и радиальных уплотнений. Они способны работать без смазки, при высоких и низких температурах, больших скоростях и в агрессивных средах. При работе металл - углеродистый изнашивается графитовая деталь. На поверхности металла образуется графитовая пленка, а на углеродистой детали - блестящий слой из ориентированных графитовых кристаллов. Такое сочетание в паре трения создает минимальный износ и низкий коэффициент трения.

Табл. 5.5. Технические характеристики углеродистых антифрикционных материалов.

Марка	Краткая технологическая характеристика материала	бсж, МПа	ρ , г/см ³	Диаметр заготовки, мм	Длина заготовки, мм	E, 10 ⁶ Мпа
АО - 600	Обожженный, прессованный при давлении 600 МПа	600	1.5	162 ... 312	150	1.4
АГ-600	Графитированный, прессованный при давлении 600 Мпа	500	1.65	162, 215, 235 и 312	150	1.0
АО-Б83-600	Обожженный (АО-600), пропитанный баббитом марки Б-83	1100	2.3	162, 215, 235 и 312	150	1ю7

Углеродные волокна получают карбонизацией полимерных волокон в науглероживающей среде при 2000 - 2100 К.

Табл.5.6. Механические свойства углеродных волокон.

Марка	Плотность, г/см ³	Df, мкм	E, ГПа	бв, на базе 100 мм, ГПа	E, пред. %.
ВМН - 3	1.71	7.0	250	1.43	0.6
Кулон	1.90	9.9	400-600	2.0	0.4
ЛУ - 4	1.7	-	250	3.0-3.5	1.3

6. РЕГУЛИРОВАНИЕ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ

6.1. Регулирование свойств сталей за счет термической и химико-термической обработки

Технология термической обработки стали (ТО) опирается на параметры: время или скорость нагрева, выдержки, охлаждения, температура процесса, цикличность и среда проведения ТО.

Современная ТО применяет специальное оборудование, осуществляющие указанные процессы: печи различной конструкции (электропечи, газопламенные, элеваторные, конвейерные, шахтные и т.п.), закалочные баки, соляные ванны и многое другое. *К видам ТО принадлежат: закалка - объемная, поверхностная, местная, отжиг - нормализационный, гомогенизирующий, рекристаллизационный и др., химико - термическая обработка, закалка ТВЧ, лазерным нагревом, электроимпульсным полем, термообработка в процессе пластического деформирования, обработка холодом.*

Отжиг- термическая обработка, при которой сталь нагревается выше Ас3 (или только выше Ас1 - неполный отжиг) с последующим медленным

охлаждением. Нагрев выше A_{c3} обеспечивает полную перекристаллизацию стали. Охлаждение происходит вместе с печью. Медленное охлаждение при отжиге приводит к распаду аустенита и создает перлитные структуры. *Нормализация* - разновидность отжига, производимого на спокойном воздухе, дающем ускоренное охлаждение от верхнего района температур. Нормализация более экономичная операция. Основные задачи отжига: перекристаллизация стали и устранение внутренних напряжений или исправление структуры. Обе эти задачи выполняются обычным полным отжигом. Для устранения дендритной неоднородности литой стали применяют *гомогенизирующий или диффузионный отжиг*. В результате высокого нагрева и длительной выдержки наблюдается сильный рост зерна (крупнозернистая структура), для исправления которой применяют последующий обычный отжиг. Неполный отжиг приводит к перекристаллизации только перлитной составляющей структуры. Неполный отжиг заэвтектоидной стали также называют *сфероидизацией*.

Закалка- термическая операция, состоящая в нагреве закаленного сплава выше температуры превращения с последующим достаточно быстрым охлаждением для получения структурно неустойчивого состояния сплава. Для сталей различают закалку до - и заэвтектоидных сталей. В структуре закаленной стали преобладает мартенсит. Мартенсит имеет высокую твердость и низкую вязкость, как конструкционный материал не употребляется. Для доэвтектоидных сталей температура закалки должна быть на 30...50 град. выше A_{c3} , а для заэвтектоидных - на 30...50 град. выше. При закалке доэвтектоидной стали с температуры выше A_{c1} , но ниже A_{c3} в структуре наряду с мартенситом сохраняется часть феррита, который снижает твердость в закаленном состоянии и ухудшает механические свойства после отпуска. Такая закалка называется неполной. Для заэвтектоидных сталей оптимальная температура закалки лежит в интервале

между A_{c1} и A_{c3} и теоретически является неполной. Здесь наряду с мартенситом закалки сохраняется часть оставшегося цементита, наличие которого полезно. Нагрев выше A_{c3} приводит к вредным перегреву и обезуглероживанию стали. Закалка бывает объемной (под закалку нагревают насквозь все изделие) и поверхностной (осуществляют местный, чаще поверхностный нагрев).

Охладитель - вода и масло. При прерывистой закалке или закалке в двух средах деталь сначала охлаждается в быстро охлаждающей среде, а затем в медленно охлаждающей (вода и масло). В мартенситном интервале сталь охлаждается медленно, что способствует уменьшению внутренних напряжений.

При изотермической закалке сталь выдерживается при температуре или в среде, обеспечивающих полное изотермическое превращение аустенита. Обычно 200...250 С. Образующаяся структура - бейнит.

В результате термической обработки существенно изменяются свойства стали. Наибольшее значение имеют механические свойства. Большинство стальных изделий машиностроения подвергается нормализации или закалке с высоким и средним отпуском. В отожженном, нормализованном или отпущенном состоянии сталь состоит из пластинчатого феррита и включений карбидов. Феррит обладает низкой прочностью и высокой пластичностью, цементит при нулевых значениях пластичности имеет твердость около 800 НВ. При малом числе твердых включений пластическая деформация развивается беспрепятственно. Если после ТО частицы цементита измельчаются, тогда они начинают препятствовать движению дислокаций и сталь упрочняется. На твердость мартенсита оказывает влияние дисперсность его игольчатой структуры и содержание углерода.

С уменьшением критической скорости закалки увеличивается и глубина закаленного слоя, и если V_k будет меньше скорости охлаждения в центре, то

сечение закалится насквозь. Если сечение велико и скорость на поверхности меньше V_k , то сталь не закалится даже на поверхности. Для практической оценки прокаливаемости используют величину - критический диаметр, т.е. максимальный диаметр (размер) образца, который прокаливается насквозь в данном охладителе.

Отпуск - это термическая обработка закаленной на мартенсит стали, заключающаяся в одно - или многократном нагреве не выше A_{c1} , выдержке и охлаждении, при котором происходит распад и рекристаллизация мартенсита.

Различают низкий отпуск (O_n), средний отпуск (O_c), высокий отпуск (O_v). После низкого отпуска при $120...250^\circ C$ образуется *отпущенный мартенсит*, отличающийся большей травимостью. Он применяется для деталей с максимальной твердостью, чаще применяется для инструмента. После среднего отпуска при $350...450 C$ образуется сильно травящаяся “игольчатая” структура *троостита отпуска*. O_c назначают для достижения максимального предела упругости (пружины). Высокий отпуск при $450...650 C$ вызывает появление сорбита отпуска, имеющего точечное строение. O_v создает наибольшую ударную вязкость, применяется для деталей машин, испытывающих ударные нагрузки.

Поверхностная закалка стали

Для получения большой твердости в поверхностном слое детали с сохранением вязкой сердцевины, что обеспечивает износоустойчивость и одновременно высокую динамическую прочность, применяют поверхностную закалку или химико - термическую обработку.

Поверхностная закалка выгодно отличается от химико - термической обработки значительно меньшей продолжительностью процесса. Все методы поверхностного упрочнения заключаются в нагреве только поверхностного слоя с последующей закалкой детали. Методы нагрева могут быть

различными: в расплавленных металлах или солях: пламенем ацетилено-кислородной горелки (так называемая пламенная закалка), - в электролитах, - лучем лазера, электротоком, индуцируемым в поверхностных слоях детали; в этом случае ток высокой частоты индуцируется в поверхностных слоях закаливаемой детали (так называемая индукционная, или высокочастотная закалка).

Последний способ широко используют в машиностроении. Сущность любого способа поверхностной закалки состоит в том, что поверхностные слои детали быстро нагреваются выше критических точек и создается резкий градиент температур по сечению.

Чем больше скорость нагрева, тем при более высокой температуре происходят превращения и из-за кратковременности нагрева, в меньшей степени произойдет огрубление микроструктуры (рост зерна аустенита). В практике термической обработки наибольшее распространение получила высокочастотная обработка поверхности. Здесь обычно стальная деталь помещается внутри индуктора, присоединенного к мощному высокочастотному генератору. Колебания электромагнитного поля в поверхности детали - проводника создает вихревые электротоки, которыми нагревается поверхность.

. Глубина поверхностной обработки зависит от мощности индуцируемого поля, удельного электросопротивления детали, магнитной проницаемости и частоты электроколебаний.

Химико - термическая обработка - технологическая операция, состоящая в том, что деталь помещают в среду богатую элементом, который диффундирует в металл. В случае газового окружения (наиболее частый случай) при химико - термической обработке происходят три элементарных процесса: диссоциация, абсорбция и диффузия. Диффузия происходит движением насыщающего элемента по вакансиям и иным дефектам кристаллов.

При цементации происходит поверхностное насыщение стали углеродом, в результате чего получается высокоуглеродистый поверхностный слой. Так как для цементации берут низкоуглеродистую сталь, то сердцевина остается мягкой и вязкой, несмотря на то, что после цементации сталь подвергается закалке. При твердой цементации детали запаковывают в ящик, наполненный карбюризатором - науглероживающим веществом. При газовой цементации герметически закрытая камера печи с размещаемыми в ней деталями наполнена цементирующим газом, или газ проходит через нее. Карбюризаторами является высокосортный древесный уголь, газом - CO.

Цементацию проводят значительно выше точки АС1 (так как α -железо не растворяет углерод), при 900...930 С, или даже при 950...970 С и выше. Чем выше температура - тем больше содержание углерода в поверхностном слое, однако оно не превышает 1.2 %. Время цементации составляет десятки часов, а толщина диффузионного слоя обычно не превышает 2 мм. Цементация в основном применяется в массовом производстве деталей машин. Ее проводят в толкательных электропечах непрерывного действия. Структура поверхностного слоя состоит из нескольких зон. Поверхностная зона, в которой углерода содержание углерода больше 0.8 - 0.9 %, имеет структуру перлит + цементит; это так называемая заэвтектоидная зона; затем следует зона с содержанием углерода около 0.8 % - это эвтектоидная зона и, наконец, доэвтектоидная зона, содержащая углерода менее 0.7 %, плавно переходящая в структуру сердцевины. Окончательно формирует свойства цементованной детали последующая закалка, при которой на поверхности получается высокоуглеродистый мартенсит, а в сердцевине сохраняется низкая твердость и высокая вязкость.

Азотирование. Азотированием называют процесс насыщения стали азотом. По сравнению с цементацией, азотированный слой сам без какой-либо ТО приобретает высокую твердость, а размеры изделий после

азотирования изменяются мало, что не требует шлифовки. *Азотирование - окончательная операция для деталей, прошедших ТО и шлифовку.* Азотирование проводят при 500...600С в среде аммиака, который диссоциирует на азот и водород.

Образующийся атомарный азот диффундирует в металл. С железом стали и ее легирующими элементами азот образует нитриды, резко повышающие твердость поверхности. В ходе процесса происходит последовательное образование насыщенных азотом слоев.

Распределение азота имеет скачкообразный характер вследствие отсутствия переходных двухфазных слоев.

Азотирование применяют для повышения твердости, износостойчивости, усталостной прочности, сопротивления коррозии. Для массового производства автодеталей, подвергаемых цементации, разработаны специальные марки стали, легированные алюминием: 38ХМЮА, 38ХЮА. А - для азотирования.

Нитроцементация - одновременное насыщение поверхности стали азотом и углеродом в газообразной среде. Если процесс осуществляют в расплавах солей, содержащих цианистую группу - CN, тогда его называют цианированием. Нитроцементация позволяет несколько повысить и коррозионную стойкость, создать наибольшую твердость поверхности и совместить операцию с последующей закалкой. Покрытия металлов: напыленные и осажденные.

В случае, когда поверхность изделий должна обладать особыми свойствами: коррозионной стойкостью, жаропрочностью, антифрикционными или фрикционными свойствами применяют технологии напыления или осаждения покрытий. Покрытия на поверхности образуют слой нового материала, толщиной до 1 мм. Этот слой также позволяет восстановить геометрию и придать лучшие свойства поверхности детали. Известна

технология восстановления коленчатых валов и валов механизма газораспределения двигателей внутреннего сгорания. На практике широкое распространение получили методы газотермического и вакуумно - конденсационного напыления. В первом случае струей горючих газов распыляют порошок на предварительно обработанную поверхность. Таким образом получают покрытия из порошков тугоплавких металлов и их сплавов, коррозионно - стойких сталей. Окончательной обработкой поверхности изделия является шлифовка и доводочные операции. При напылении возможно получения тонких (несколько мкм) слоев со специфическими свойствами. Процесс проводят на специальных установках. *Например, установка БУЛАТ позволяет наносить на режущий инструмент (сверла, метчики, резцы) слой из нитрида титана, повышающего износостойкость режущих кромок в 1,5 - 2 раза.* Физическая сущность процесса напыления состоит в создании вакуума в камере с обрабатываемой деталью, которая является анодом, и распылении материала катода - титана методом термического нагрева или электронным пучком. Ионы металла осаждаюсь на поверхности детали могут образовать покрытие. Если в рабочую среду вводить газ реагент (азот), то будет образовано покрытие из нитрида титана (результат взаимодействия ионов титана и атомов азота). Толщина таких покрытий не превышает 1 - 2 мкм. Вакуумно - конденсационные технологии напыления позволяют создавать разнообразные покрытия на металлах, стеклах, керамике и пластмассах.

Холодная пластическая деформация упрочняет металл. Это явление называют наклепом. При этом изменяется структура и свойства. Зерна деформируются и смещаются друг относительно друга. Объем зерен разбивается поверхностями скольжений и двойникования на отдельные части. На полированной поверхности металла и на микрошлифах видны часто линии сдвигов. Зерно таким образом измельчается. Появляется

текстура: ориентировка зерен по направлению действующей силы, искажение и напряжение кристаллических решеток. Упрочнение металлов в результате деформации зависит от типа кристаллической структуры.

Сверхпластичность - способность металла к значительной равномерной деформации без деформационного упрочнения (наклепа).

Влияние термической обработки на механические свойства стали дано в таблице 6.1

Термическая обработка	Прочность	Пластичность	Вязкость
Отжиг	Самая низкая	Самая высокая	
Нормализация	Низкая	Высокая	Высокая
Улучшение	Средняя	Высокая	Самая высокая
ВТМО	Высокая	Высокая	Самая высокая
НТМО	Самая высокая	Самая низкая	Средняя
МТО	Самая высокая	Самая низкая	Самая низкая

- *мелкозеренная сверхпластичность* проявляется при повышенных температурах, при очень мелком зерне размером в диаметре 3 - 5 мкм и малой скорости деформирования (отсутствует сдвиговая деформация),

- *субкритическая сверхпластичность*. Имеет место при температурах вблизи или ниже фазовых превращений при определенной исходной структуре. Перед фазовым превращением или плавлением происходит значительное изменение свойств без изменения структуры. Например, модуль упругости -Е снижается в два - три раза.

- *мартенситная сверхпластичность*, при сдвиговом бездиффузионном превращении наблюдается повышенная пластичность,

- *рекристаллизационная сверхпластичность*. Выше температуры рекристаллизации заметного упрочнения не возникает.

Влияние электромагнитного поля на структуру и свойства металлов в наибольшей степени проявляется при протекании тока высокой плотности (до 100000000 A/m^2) через очаг деформации. В данном случае возникает эффект *электропластичности* металлов, проявляющийся в значительном приращении деформации даже при комнатных температурах.

Протекание тока высокой плотности в металле вызывает увеличение плотности вакансий, длину пробега дислокаций, внутренний нагрев дефектных микрообъемов металла и повышение градиентов химических потенциалов.

Эффект электропластичности применяется в технологии волочения при изготовлении сверхтонких проволок и металлических волокон. При электропластической обработке растут как прочностные, так и пластические характеристики. После небольшой пластической деформации уже термически обработанной стали прочность не возрастает, предел текучести достигает практически предела прочности;

Стали интерметаллидного упрочнения (мартенсито – стареющие) при закалке получается практически безуглеродный мартенсит, а затем при отпуске происходит выделение интерметаллидных фаз (марки Н18К9М5Т, Н18К12М5Т2, Н16К4М5Т2Ю). Жаропрочные перлитные и мартенситные стали 12ХМ, 15ХМ, 12Х1МФ, 12Х2МФСР, Х5ВФ, 15Х11МФ, 1Х12ВНМФ (ГОСТ 5520-79, 4543-71, 20072-74, 5632-72) получают при длительном механическом воздействии (200000 ч при температуре не выше 500 - 600 С). К ним принадлежат сильхромы - Х6С, Х9С2, Х6СМ ГОСТ 5632 - 72, которые имеют высокую температуру начала заметного окисления (до 850 С) и используют для изготовления клапанов выпуска двигателей;

Аустенитные стали применяют для изготовления клапанов двигателей, лопаток газовых турбин и других “горячих” деталей реактивных двигателей - 600 - 700 С. Аустенитные стали легируют хромом, определяющим

окалиностойкость, и никелем, обеспечивающим устойчивость аустенита. Аустенитные стали разделяют на гомогенные (их чаще используют как жаропрочные и нержавеющие) и дисперсионно твердеющие. Последние проходят ТО - закалка 1050 - 1100 С и дисперсионное твердение - старение при 600 - 750 С. К первой группе принадлежат марки сталей - 09Х14Н16Б, 09Х14Н19В2БР, 08Х18Н10Т, 08Х18Н12Б, 08Х23Н18, ко второй - 37Х12Н8Г8МФБ, 09Х14Н19В2БР, 4Х14Н14В2БР, ХН35ВТЮ (ГОСТ 5632 72).

В случаях особых требований жаропрочности применяют преимущественно гомогенные (*нихромы и инконели*) и стареющие (*нимоники*) сплавы. Нимоники представляют собой четверной сплав Ni (ост.)- Cr (20%) - Ti (2 %) - Al (1%). После термообработки (закалки и старения) в сплаве образуются две когерентные фазы, лишь несколько отличающиеся параметрами из-за разного содержания алюминия (до 40%), межатомное взаимодействие которых обеспечивает высокую жаропрочность. Нихромы представляют собой гомогенный сплав никеля и хрома с различными добавками. Гомогенный твердый раствор обладает меньшей прочностью и жаростойкостью (ХН77ТЮ, ХН77ТЮР, ХН70ВМТЮ ГОСТ 5632 - 72).

Введение в сталь >12% Cr скачкообразно придает ей коррозионную стойкость.

Сплавы, содержащие более 12 % Cr, ведут себя как благородные металлы (Au, Pt и т.п.), обладая положительным потенциалом, они не ржавеют и не окисляются на воздухе, в воде, в ряде кислот, солей и щелочей.

Хромистые стали при определенных нагревах (450 и 700 С) чувствительны к охрупчиванию. Оно устранимо, если в стали менее 0.005% углерода. Такие стали называют *суперферритами*.

Введение достаточного количества никеля в 18% хромистую сталь делает ее аустенитной, что обеспечивает лучшие механические свойства, меньшую склонность к росту зерна, а также более коррозионностойкой и не

хладоломкой. Наибольшее распространение получили стали состава 18% Cr : 10% Ni.

В производстве синтетических неметаллических материалов, удобрений, других химических продуктов для деталей машин и аппаратуры применяют более легированные стали и сплавы называемые *кислотостойкими*. Увеличение стойкости в кислотах дает присадка молибдена с медью при одновременном увеличении содержания никеля (06ХН28МДТ). Наибольшей кислотостойкостью обладает сплав *хастеллой* типа 80% Ni + 20% Мо. Сплавы данного типа имеют минимальное содержание углерода, вызывающего межкристаллитную коррозию. Сплав хастеллой может работать в 30% серной кислоте. При больших концентрациях и повышенных температурах работают лишь металлы молибден, ниобий, тантал и конструкционная керамика, *элинваыр* (с постоянной упругостью), они содержат 36 % Ni, 8 % Cr, остальное - железо. Элинвары применяют в нагартованном состоянии, например, Н35ХМВ - после закалки с отпуском или закалки с последующей пластической деформацией.

6.2. Применение электрических полей для изменения износостойкости и прочностных свойств металлических поверхностей

Эти методы обработки поверхности деталей, ведущие к удалению или наращиванию части металла (и др. материалов) с использованием электрических полей и разрядов, технологически существенно различаются. Они эффективны при точной обработке.

Токи высокой частоты применяются в ремонтных предприятиях для наращивания и для увеличения износостойкости деталей.

Сущность высокочастотного индукционного нагрева заключается в использовании явлений электромагнитной индукции, поверхностного эффекта и теплового действия тока.

Если металлическую деталь поместить в магнитное поле, создаваемое индуктором, через который проходит переменных ток, то в детали возникает электродвижущая сила, равная

$$E = 4,44 fn \Phi 10^{-8} \text{ (В)},$$

где f – частота тока в индукторе; n – число витков индуктора;

Φ – магнитный поток (в максвеллах).

Под действием этой электродвижущей силы в проводнике (детали) возникает ток.

При возникновении этого тока деталь нагревается. Деталь по всей толщине нагревается неравномерно, так как плотность тока у поверхности детали больше. Объясняется это тем, что при прохождении тока по детали в ней возникают вихревые токи, которые в участках, расположенных ближе к поверхности, совпадают по направлению с направлением основного тока и увеличивают его, а в середине детали направлены в сторону, противоположную направлению основного тока, и уменьшают его.

Чем выше частота, тем больше плотность тока у поверхности детали и тем меньше нагреваемый этим током слой.

Высокочастотный нагрев применяется также и при металлизации деталей. В высокочастотном металлизационном пистолете специальный механизм непрерывно перемещает проволоку в направлении конусного отверстия концентратора вихревых токов. Попадая в конусное отверстие, проволока под действием токов высокой частоты плавится и распыляется сжатым воздухом, нагнетаемым компрессором во внутреннюю часть концентратора. Процесс ведут с помощью высокочастотного генератора, вырабатывающего ток частотой 300 килогерц. Мощность, необходимая на ведение процесса - около 12 квт.

Металлизация с помощью токов высокой частоты по сравнению с электродуговой металлизацией имеет следующие преимущества:

- так при плавлении проволоки не образуются капли, которые должны распыляться сжатым воздухом, давление последнего может быть уменьшено до 2,5-3 атм;
- изменение частоты дает возможность регулировать толщину расплавляемого слоя, а тем самым и размеров частиц;
- можно применять проволоку значительно большего диаметра (6мм);
- производительность 5...6 кг распыленной стали в час вместо 2,5...3 кг стали, распыливаемой при электродуговой металлизации;
- процесс можно вести на более близком расстоянии от пистолета до детали;
- для металлизации можно применять чугунные прутки и прутки из твердых сплавов, использовать которые невозможно или затруднительно при электродуговой металлизации.

Анодно-механическая обработка основана на снятии слоя, образующегося в электролите на поверхности металлической детали, включенной в качестве анода.

В качестве электролита применяется раствор жидкого стекла или глины. С помощью анодно-механической обработки можно получить поверхность чистотой от 2 до 9 классов чистоты. При использовании абразивных брусков в качестве инструмента, снимающего пленку анодного растворения, можно получить поверхность чистотой до 10-го класса. Качество поверхности зависит главным образом от напряжения тока и скорости перемещения инструмента относительно детали (до 25 м/с и более). Основные режимы анодно-механической обработки: ток до 100 А при U до 32 В. Анодно-механическую обработку можно применять в ремонтных предприятиях для обработки закаленных деталей, наплавленных чугуном и твердыми сплавами. С помощью анодно-механической обработки можно

выполнять резку металлов, заточку инструментов, обдирку, шлифовку и доводку деталей. Глубина нагреваемого слоя зависит от омического сопротивления, магнитной проницаемости и частоты тока.

Детали с помощью токов высокой частоты можно напаявать, наплавлять и металлизировать.

При пайке используются твердые припои и медь. Перед пайкой поверхность тщательно очищают и покрывают слоем буры. Спаиваемые детали располагают так, чтобы расплавившийся припой попадал в промежуток (зазор) величиной 0,05...0,1 мм между деталями.

При частоте тока 180000 Гц удельный расход мощности 0,4-0,5 кВт на 1 см² напаяваемой поверхности.

Детали с помощью токов высокой частоты наплавляют центробежным способом. Например, при ремонте шатунно-поршневой группы, вместо бронзовых втулок ставят биометаллические (стальные втулки, залитые внутри бронзой). Для получения такой втулки стальную заготовку устанавливают в приспособлении для центробежной заливки, устанавливаемом на токарном станке.

В стальную заготовку перед установкой в приспособление насыпают бронзовую стружку, смешанную с бурой (около 3% буры). После этого включают станок и через индуктор, охватывающий стальную заготовку, пропускают ток. Через 1,5-2 минуты бронзовая стружка начинает плавиться и наплавляется на стальную заготовку. Затем индуктор выключают и втулку охлаждают водой.

Электроэрозионный контактный способ наращивания деталей.

При включении электрода и детали в цепь тока низкого напряжения (2-6 В), дающего около 1000а, происходит интенсивный перенос металла электрода на поверхность детали. Хорошо переносятся сормайт, сталь, алюминий.

При передвижении электрода поверхность детали оказывается покрытой слоем металла электрода.

Этот способ можно применять для восстановления неподвижных сопряжений и для увеличения износостойкости деталей подвижных сопряжений. Практически можно получить слой толщиной до 1,5 мм.

Включая в качестве инструмента медную пластинку, можно снимать слой металла (электроэрозионная опилка) деталей, наплавленных твердыми сплавами. При этом деталь помещают в ванну с водой. Для проведения электроэрозионной обработки можно использовать электросварочные трансформаторы.

Способ электромеханической обработки металлов заключается в искусственном нагреве металла в зоне резания с помощью электрического тока. При обычном точении в зоне резания тепло в результате деформации металла и возникающего трения равно (кал): $Q = PV/427$, где P - усилие резания (в кг); v – скорость резания .

Если резец и деталь включить в цепь тока низкого напряжения, то в зоне резания будет выделяться тепло, количество которого может быть определено по формуле: $Q_2 = 0,24 I^2 R t$, где Q_2 - количество тепла, выделяемого в зоне резания, в калориях; I – ток (А); R – сопротивление цепи (в омах); t – время (в сек.)

Нагрев деталей за счет выделяемого тепла повышает пластические свойства металла и облегчает резание.

Электроискровая обработка металлов.

При искровом разряде между электродами, когда нет непосредственного контакта поверхностей, металл переносится с анода на катод, т.е. в направлении, обратном переносу металла при дуговой форме разряда.

В процессе обработки деталей при непосредственном контактировании поверхностей металл переносится также при переменном токе, при обратной полярности, т.е. в случае включения детали в качестве анода.

Для электроискровой обработки применяют установки, выполненные по различным схемам. Наиболее широко распространены установки с конденсаторной схемой.

Установки могут применяться без вибратора и с вибратором.

При пробое межэлектродного пространства участок металла, пораженный импульсом, мгновенно расплавляется, так как температура достигает $6000...11000^{\circ}$. Ток в участке пробоя доходит до сотен тысяч ампер. Действием динамических сил расплавленный и размягченный металл выбрасывается в окружающую среду или перебрасывается на противоположный электрод.

В зависимости от режима можно получить различную производительность и качество поверхности. Чем более жесткий режим, тем больше производительность и тем хуже чистота поверхности. Основные режимы электроискровой обработки приведены в таблице.

Таблица 6.1

Наименование режима	Ток в разрядном контуре (А)	Напряжен. к началу пробоя (В)	Емкость конденсатора (в мкф)	Глубина лунок (в мк)
Жесткий.....	100 и более	Более 100	Более 100	150-300
Средний	10-100	50-100	10-100	25-150
Мягкий.....	Менее 10	Менее 50	Менее 10	10-25

Электроискровую обработку можно применять в следующих случаях:

- для прошивки отверстий в деталях любой твердости
- для образования углублений - для разрезания деталей любой твердости;

- для срезания изношенных участков закаленных деталей;
- для обдирки деталей после наварки сплавами любой твердости;
- для шлифовки деталей любой твердости.

При обработке электродом, включенным в электроискровую установку, благодаря высоким температурам и хорошему теплоотводу из участка нагрева происходит закалка поверхностных слоев. На поверхности детали создается твердый износостойкий слой. Кроме закалки, происходит диффузия элементов электрода инструмента в металл детали. Установлено, что глубина слоя диффузии легирующих элементов твердых сплавов в стальные детали зависит от продолжительности электроискровой обработки.

Электромеханическое сглаживание и электролитические покрытия. Если во время обработки детали описанным выше способом заменить острый резец резцом с закругленной вершиной, можно сгладить предварительно проточенную поверхность. При электромеханическом сглаживании повышается твердость поверхности, а диаметр детали уменьшается на 0,02-0,03 мм. Электромеханическое сглаживание может во многих случаях заменить шлифование.

Используются следующие электролитические процессы: хромирование, осталивание, никелирование, меднение, цинкование и лужение. Особенно распространено в ремонтных предприятиях хромирование, что объясняется прежде всего свойствами самого хрома.

Хром обладает высокой температурой плавления (1615°), высокой твердостью, хорошей отражательной способностью и, что особенно важно, высокой износостойкостью.

Электролитическое отложение металлов основано на распаде электролитов под действием постоянного электрического тока на электрически заряженные частицы – ионы.

Процесс хромирования происходит с бурным выделением кислорода на аноде и водорода на катоде.

Процесс электролиза достаточно хорошо описан в соответствующей литературе.

В последние десятилетия наряду с дальнейшим развитием и совершенствованием технологии и оборудования для реализации различных методов классической механической обработки все больший упор делается на создании новейших высоких технологий и оборудования, основанных на самых лучших достижениях физики, химии, биологии и других фундаментальных наук. Методы обработки, основанные на этих достижениях до недавнего времени были объединены общим названием. «Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов» и получили широкое распространение в России и особенно в зарубежных странах.

Лазерная обработка развивается особенно динамично в Японии [17].

Созданы АИГ-лазеры с накачкой мощностью излучения до 10 кВт.

На заводах фирмы «Мицубиси Электрик» выпускаются технологические системы для сварки материалов АИГ лазерами с диодной накачкой мощностью 1 кВт. На этих же заводах выпускаются технологические системы для сварки материалов и упрочнения деталей излучением СО – лазеров мощностью 1-5 кВт. Основными потребителями этого оборудования для выполнения операций раскроя материалов являются автомобильная промышленность (24%), малые предприятия машиностроительного профиля (14%), электротехническая промышленность (12%), общее машиностроение (12%).

Для обработки серий микроотверстий микронных диаметров с производительностью до 70 отв./с в элементах интегральных микросхем микропроцессоров на этих же заводах выпускается специальная установка ML605GTX на базе СО₂ -лазера, пользующаяся в настоящее время повышенным спросом.

Фирма Фанук разработала оборудование на базе CO₂-лазера мощностью 3,5кВт, оснащенное цифровым сервоприводом с линейными двигателями, для сверхскоростной резки материала. На этом оборудовании вырезка отверстий (путем трепанации) диаметром 10 мм в стальном листе толщиной 1 мм может производиться со скоростью до 500 отв./мин при расстоянии между осями отверстий 25,4 мм. Такая скорость резки значительно превышает производительность вырубки отверстий пуансоном на револьверном автомате.

Ведутся уникальные исследования по применению ультрафиолетового лазерного излучения для суперфинишной обработки поверхности. Эти исследования базируются на огромном накопленном опыте создания методов суперфинишной обработки оптических поверхностей и ответственных элементов оптоэлектроники абразивными нанопорошками, а также многокристаллическим алмазным инструментом.

Лазерная поверхностная обработка позволяет управлять параметрами микрорельефа (вернее нанорельефа) поверхности в пределах от нескольких нанометров до долей нанометра. Так, при суперфинишной лазерной обработке поверхностей монокристалла кремния съем материала составляет 0,32 А за импульс. Таких уровней точности управления качеством поверхности путем прецизионного удаления материала при обработке никакими другими методами пока достигнуть не удалось.

Ряд интересных исследований по сварке, нанесению покрытий, упрочнению и наплавке материалов проводится с использованием широкой гаммы уникального высокоэнергетического оборудования – плазменной установки гибридного типа мощностью 100 кВт, гиротронной системы для спекания материалов мощностью 10 кВт и частотой 28 ГГц, электрорядной установки для точечной сварки с током разряда до 5000А, электроннолучевой установки сверхвысокого напряжения (600кВ, 300 кВт),

мощностью CO₂ лазера (15 кВт), матричного полупроводникового лазера с мощностью излучения до 100 Вт, эксимерного лазера для модификации поверхностей материала, энергетической установки импульсного излучения миллиметрового диапазона (60ГГц, 200 кВт), ионнолучевой установки для обработки композиционных материалов и др.

Станки для прецизионной прошивки отверстий позволяют получать отверстия диаметром 0,3-3,0 мм, в твердом сплаве толщиной 20 мм отверстие прошивается за 20с. Для получения качественных отверстий применяются трубчатые электроды из композита CuW, которые при обработке твердых сплавов обеспечивают минимальный износ.

Технология поверхности модификации материала при электроразрядной обработке в другом варианте предложена в Лаборатории нетрадиционных методов обработки проф. Е.Уно (Университет Окаяма). Согласно предложенной технологии для формирования карбидов титана электроразрядная обработка ведется титановым электродом, а в диэлектрическую среду (керосин) добавляется порошковый углерод, что позволяет значительно увеличить толщину легированного слоя (до 25-30 мкм) и повысить износостойкость обработанной поверхности.

Электроразрядное и другие типы нетрадиционного оборудования используются для изготовления штампов, пресс-форм, сложнопрофильных деталей аэрокосмической техники и т.п.

6.3. Порошковые полимерные покрытия

6.3.1. Технология нанесения

Технологический процесс производства порошковых покрытий состоит из следующих операций:

- 1) подготовка поверхностей под напыление;
- 2) изоляция мест, не подлежащих покрытию;
- 3) грунтование;
- 4) предварительный нагрев деталей;
- 5) нанесение порошкового материала;
- 6) оплавление покрытия;
- 7) отверждение покрытия;
- 8) охлаждение деталей с покрытием;
- 9) контроль качества покрытий.

Подготовка поверхностей под напыление. Перед нанесением с поверхностей изделия следует удалить загрязнения (жир, ржавчину и др.). Если изделие имеет сварные швы, то перед нанесением порошковых композиций должен быть удален шлак, брызги металла от сварки. Острые грани следует скруглить.

Забоины, вмятины на деталях, неровно обрезанные и острые кромки, острые выпуклости и углы в местах перехода от одного сечения к другому, а также следы влаги на поверхностях деталей - не допускаются. В случае нанесения порошковых композиций на отливки, они должны быть предварительно очищены от формовочной земли, ржавчины, окалины, старой краски и т. д.

Различают механические и химические методы подготовки поверхностей под покрытие.

К механическим методам относятся: очистка с помощью щеток, шарожек, наждачных кругов, гидроабразивная, дробеструйная, дробеметная обработка, а также галтование и шлифование. Преимущества механических методов - возможность получения поверхности с различной шероховатостью, отсутствие солей на очищенной поверхности, исключение операций промывки и сушки. Существенные недостатки методов - наклеп

обрабатываемой поверхности, малая производительность и высокая стоимость обработки.

Из химических методов подготовки основными являются: обезжиривание в водных щелочных растворах и в органических растворителях, травление и одновременное обезжиривание и травление, одновременное обезжиривание и пассивирование, очистка моющими средствами, а также фосфатирование и пассивирование. Эти методы наиболее распространены. Наиболее перспективна очистка поверхностей трихлорэтиленом (ТХЭ), который характеризуется высокой растворяющей способностью по отношению к трудносмываемым загрязнениям, высокой летучестью (большой скоростью высыхания), хорошей смачиваемостью очищаемой поверхности и негорючестью (невоспламеняемостью). При использовании ТХЭ обезжиривание ведут в парах растворителей.

Чистоту подготовленных поверхностей контролируют: весовым методом (взвешивают изделие до и после очистки); по загрязнению фильтровальной бумаги или белой ткани, после протирки ими изделий; по смачиванию поверхности водой (на хорошо очищенных поверхностях пленка воды сплошная, на не полностью очищенных прерывистая) и др.

Подготовка поверхности выполняется одним из методов, перечисленных ранее. При выборе метода и технологического режима подготовки поверхности следует руководствоваться ОМТРМ 7312-010-70.

Изоляция мест, не подлежащих покрытию. Места изделий, не подлежащих покрытию, обработанные и трущиеся части, отверстия и углубления, изолируют с помощью шаблонов, металлической фольги или наносят тонкий слой кремнийорганической высокотемпературной смазки. Шаблоны изготавливают из фторопласта или металла. В случае распыления в электрическом поле шаблоны рекомендуется снимать до поступления изделия в печь оплавления, что существенно облегчает очистку шаблонов от порошка.

Грунтование. Грунтование необходимо в тех случаях, когда пленкообразующий полимер имеет плохую адгезию к металлу. К таким полимерам следует отнести: полиолефины (например, полиэтилен, полипропилен), полиамиды, фторопласты, поливинилхлорид.

В настоящее время ведутся разработки по подбору грунтов для порошковых покрытий на основе указанных полимеров. Промышленный выпуск грунтовки марки КФГ освоен только для поливинилхлоридных покрытий. Грунтовку наносят на предварительно очищенную поверхность методом окунания или облива. Рабочая вязкость грунтовки по вискозиметру ВЗ-4 составляет 30 с. Продолжительность сушки грунта при 20 °С - 7 мин и при 240 °С – 4 мин. Достаточная толщина грунта 30...50 мкм.

В случае применения порошковых композиций на основе поливинилбутираля, эпоксидных смол и других полимеров, обладающих высокой адгезией, грунтование не проводится.

Предварительный нагрев изделий. Предварительный нагрев необходим в случае нанесения композиций методом вихревого напыления, а также когда требуется получить покрытия повышенной толщины (более 150 мкм) при использовании электростатического метода.

Помещая изделия в печь для предварительного нагрева, стремятся нагреть его выше температуры плавления полимера – при толщине стенок изделия до 3 мм на 100...150 °С и при толщине стенок выше 3 мм на 50...100 °С.

Абсолютная величина температуры нагрева определяется природой напыляемого материала, продолжительностью нахождения изделия в ванне напыления, теплоемкостью изделия и другими факторами.

Температура предварительного нагрева непосредственно зависит от отношения массы изделия m к его поверхности S , так масса влияет на количество аккумулированного тепла, а величина поверхности - на расход тепла, необходимого для оплавления полимера, и на потери в окружающую

среду. С увеличением отношения m/S уменьшается температура предварительного нагрева изделия, а также сокращается продолжительность нагрева перед напылением, что связано с большим количеством тепла, аккумулированного изделием.

Если считать, что изделие по всей массе имеет одинаковую температуру, то продолжительность нагрева изделия τ (в мин) численно равна утроенному значению его толщины δ (в мм).

На практике часто нагревают не всю массу изделия, а только его поверхность. Это приводит к резкому сокращению времени выдержки в печи. Так, при увеличении температуры с 500 до 800 °С, продолжительность нагрева стальной пластины толщиной 3 мм сокращается с 4 до 1 мин.

Технологические режимы операции предварительного нагрева при получении покрытий на основе различных полимеров приведены в таблицах.

Табл. 6.3.1 Технологические режимы получения порошковых покрытий на основе термопластичных полимеров

Полимерная композиция	Температура предварительного нагрева, °С	Время выдержки детали в кипящем слое, с	Температура оплавления, °С	Продолжительность оплавления, мин
Полиэтилен высокой плотности.....	250-340	3-20	200-220	2-7
Полипропилен.....	220-280	3-15	100-250	5-6
Полиамид П-54, П-68	230-300	1-15	220-250	2-3
Сухая краска СХВ-71	230-280	3-5	230-250	1-3
Сухая краска ПВЛ-212..	210-250	2-15	200-210	2-5
Этилцеллюлоза.....	240-260	3-8	180-190	1-5
Пентапласт.....	280-330	5-25	230-240	3-20
Поливинилбутираль	230-360	3-20	220-230	2-7

Табл. 6.3.2 Технологические режимы получения порошковых покрытий на основе термореактивных полимеров

Полимерная композиция	Температура предварительного нагрева, °С	Время выдержки детали в кипящем слое, с	Температура оплавления, °С	Продолжительность оплавления, мин
Краска П-ЭП-177 (серая)	150-200	4-10	150	3
			180	1
Краска П-ЭП-177 (зеленая, красная)	150-200	5-20	180	1
			200	0,5
Компаунд ЭП-49А, ЭП-49Д	160-190	5-20	150	6
			170	2
			200	3
Компаунд ЭВН-1, ЭВН-2	130-190	5-15	150	4
			190	2
Краска П-ЭП-967 . . .	120-150	3-10	190	4
			150	8

В таблицах представлены обобщенные данные о режимах получения порошковых покрытий на изделиях различной конфигурации с толщиной стенок от 1 до 10 мм методами вихревого и вибровихревого напыления.

Нанесение порошкового материала. Установлено, что при вибровихревом и вихревом напылениях в случае многократного (двух-, трехразового) окунания горячей детали в кипящий слой порошка удается получить пленки более равномерные по толщине и лучшие по сплошности, чем при однократном окунании. Промежуточная выдержка детали на воздухе составляет 1-3 с.

При нанесении покрытий на основе термореактивных полимеров рекомендуется наносить материал в два приема. Технологический процесс

получения покрытий в этом случае включает многократное окунание изделия в кипящий слой с промежуточной выдержкой на воздухе, отверждение покрытия в печи нагрева в течение 10-15 мин, повторное многократное окунание в кипящий слой с промежуточной выдержкой на воздухе и отверждение покрытия по режимам, указанным в табл.

В случае нанесения порошковых композиций в электрическом поле толщина покрытия зависит от напряженности электрического поля, времени выдержки детали в слое и физических свойств порошка (гранулометрического состава, электрических показателей и др.).

Так, при изменении продолжительности выдержки детали в ионизированном кипящем слое от 1 до 5 с количество осаждаемого порошка увеличивается в 7 раз при постоянном напряжении на электродах 45 кВ.

Возрастание напряженности электрического поля также способствует увеличению веса осаждаемого на изделиях порошка. Например, увеличение напряжения высоковольтного источника с 30 до 50 кВ приводит к изменению количества осаждаемого порошка в 10 раз (время электроосаждения 5 с).

При получении покрытий в электрическом поле напряжение составляет 20-60 кВ, время выдержки детали (время электроосаждения порошка) 5...20 с.

Оплавление покрытия. Режим оплавления покрытий зависит от природы полимера, способа нагрева, теплоемкости изделия, толщины пленки и других факторов. (см. табл. 6.3.1 и 6.3.2).

Отверждение покрытий. Отверждение покрытий осуществляется при нанесении порошковых композиций на основе терморезактивных полимеров, например на основе эпоксидных смол. Температура и продолжительность отверждения взаимосвязаны: увеличение температуры в определенном интервале позволяет уменьшить продолжительность отверждения.

Степень отверждения покрытий контролируется следующим образом: проверяется устойчивость покрытия к ацетону, для чего изделие помещают в

растворитель и выдерживают несколько часов, при этом покрытие не должно терять блеск и растворяться.

Процесс охлаждения определяется в основном его скоростью. Установлено, что изменение режима охлаждения приводит к изменению структуры полимерного покрытия. Это, в свою очередь, сразу же отражается на свойствах пленок.

Для покрытий на основе полиэтилена, полипропилена, полиамидов, пентапласта и поливинилхлорида желательны высокие (скорости охлаждения (100-150°С/мин). Для поливинилбутираля более приемлемы малые скорости охлаждения (0,5-1°С/мин).

6.4. Свойства и контроль качества покрытий

Широкое распространение в промышленности порошковые покрытия получили благодаря своим высоким физико-механическим свойствам. Свойства порошковых покрытий определяются многими факторами: свойствами исходных веществ, главным образом полимеров, качеством подготовленной поверхности, технологией напыления. Решающим фактором несомненно является природа пленкообразующего полимера.

Основные свойства порошковых покрытий на основе различных полимеров представлены в табл. 6.4.3

6.4.3. Свойства порошковых покрытий на основе различных полимеров

Показатели	Композиции на основе				
	полиэти ленса	поливин илбутир аля	поливин илхлори да	полиами дов	эпоксиды меров
Эластичность при изгибе *, мм	10-20	15-20	1-3	20-30	20-50
Ударная прочность, кгс/см ²	20-25	10-20	50	20-35	30-50

Твердость по ПМТ-3, кгс/см ²	5-6	15-17	5-12	9-10	14-15
Диэлектрическая проницаемость:					
при 50 Гц	2,0-2,5	2,5-3	-		
при 1000 Гц	-	-	6,6	4	-
Тангенс угла диэлектрических потерь:					
при 50 Гц	0,003- 0,004	0,005- 0,001	-	0,02- 0,03	-
при 1000 Гц	-	-	0,1	-	0,003- 0,004
Удельное объемное сопротивление, Ом·см	10 ¹⁸	10 ¹⁶	10 ¹¹	10 ¹⁵	10 ¹⁵
Электрическая прочность при 20°С, кВ/мм	45-70	40-55	30-35	30-35	40-70

*Гибкость по шкале ШГ-1.

Существенным фактором прочности покрытий является их адгезия к покрываемой поверхности. Величина адгезии существенно зависит от материала окрашиваемого изделия и от качества подготовки поверхности. Например, сцепление полимерных покрытий со сталью значительно лучше, чем с цветными металлами. Наибольшая адгезия получается после дробеструйной обработки поверхности деталей. Наличие на поверхностях жировых пленок, пыли ухудшает адгезию и приводит к отслаиванию покрытия.

Имеются данные, что покрытие, содержащее ингибирующий грунт и нанесенное на загрязненную поверхность, разрушается через год; нанесенное на поверхность, очищенную проволочными щетками, - через 3 года и покрытие, нанесенное на предварительно опескоструенную поверхность, - через 8-10 лет.

Современные порошковые полимерные покрытия выдерживают длительную нагрузку при любых условиях эксплуатации и температурах не выше 130⁰С.

Контролируют качество порошковых покрытий по следующим основным показателям: сплошности, толщине, прочности на удар, твердости, прочности на изгиб и диэлектрическим характеристикам.

Сплошность покрытий можно проверить тремя методами: электраметрическим, электрохимическим и химическим.

Электрометрический метод основан на фиксировании тока, возникающего между подложкой и щеткой дефектоскопа в порах покрытия. Испытания проводят на дефектоскопах ЭД-4 и ЛКД-1. При использовании прибора ЭД-4 так фиксируется по проскакиванию электрической искры на несплошных участках. Дефекты в покрытии с помощью прибора ЛКД-1 определяются по изменению звукового сигнала и показанию гальванометра.

При определении сплошности покрытий гальванохимическим методом изделие с покрытием помещают в ванну с 3 % раствором хлористого натрия, туда же помещают один электрод. В качестве второго электрода используют изделие. Электроды подключают, источнику тока и по отклонению стрелки гальванометра или по величине сопротивления цепи судят о сплошности покрытия.

Химический метод заключается в том, что при наложении поверхности изделия фильтровальной бумаги, смоченной в водном растворе железистосинеродистого калия (40 г/л) и хлористого натрия (15 г/л), в случае нарушений сплошности бумага окрашивается в синий цвет.

Толщина полимерного покрытия может быть измерена с помощью бетатолщиномера БТП-1, электромагнитных толщиномеров ИТП-1, МТ-2, электронным толщиномером ЭМГ-2М и др.

Ударная прочность пленки определяется на приборе У-1 по ГОСТ 4765-59. Испытания заключаются в нанесении удара по пластине с покрытием свободно падающим грузом. За величину ударной прочности пленок принимают минимальную работу (в кгс · см), не вызывающую появления трещин, сколов, отслоений и других дефектов в месте удара. Испытуемое покрытие следует наносить на пластины из конструкционной углеродистой стали марки 08КП (ГОСТ 914-56) толщиной 0,8-0,9 мм.

Твердость покрытий (в кгс/мм²) определяется на приборе ПМТ-3 по вдавливанию алмазной пирамиды в покрытие при статической нагрузке.

Эластичность пленок при изгибе определяется по ГОСТ 6805-53 по шкале гибкости, имеющей набор стержней диаметром 60, 30, 20; 10; 5; 3; и 1 мм. Испытание заключается в изгибании пластины с покрытием вокруг стержней разного диаметра. Минимальный диаметр стержня, не вызывающий разрушения покрытия, принимают за величину эластичности пленки при изгибе.

При этом испытуемый материал должен быть нанесен на пластины из жести толщиной 0,2...0,3 мм размером 20X(100...150) мм.

Испытание проводят на приборе ШГ-1.

Деэлектрические характеристики покрытий определяются по ГОСТ 6433-65 (электрическая прочность и удельное объемное сопротивление) и по ГОСТ 13671-68 (диэлектрическая проницаемость и тангенс угла диэлектрических потерь).

Технологический процесс напыления порошковых полимерных композиций является новым высокопроизводительным и экономичным способом нанесения покрытий.

Порошковые покрытия в настоящее время используются вместо лакокрасочных и гальванических покрытий, а также с успехом заменяют слоистую изоляцию деталей электрических машин и аппаратов, теле- и радиоустройств.

По сравнению с гальванопокрытиями использование порошковых полимерных композиций позволяет получить экономию за счет уменьшения расхода дорогостоящих и дефицитных материалов: хрома, никеля и др. Уменьшаются расходы на оборудование, электроэнергию. Полностью исключаются затраты на воду, пар.

Использование порошковых полимерных композиций при получении покрытий уменьшает загрязнение воздушного бассейна летучими органическими веществами и улучшает условия труда работающих в окрасочных и изолировочных цехах.

7. СНИЖЕНИЕ ТРЕНИЯ И АДГЕЗИИ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ВЛАЖНЫХ ДИСПЕРСНЫХ МАСС

Принципиальные методы снижения трения и адгезии можно разделить на три группы. Методы первой группы сводятся к созданию на границе контакта промежуточного слоя, который может служить экраном для молекулярного взаимодействия фаз и должен обладать малым когезионным или адгезионным взаимодействием (прилипанием).

Ко второй группе относятся методы, способствующие ослаблению адгезионных связей вследствие внешнего воздействия и приводящие к изменению свойств поверхностных слоев фаз. К третьей группе относятся конструктивно-технологические и механические способы.

Силы адгезии (прилипания) и трения можно уменьшить следующими методами (применительно к процессам почвообработки, копания, транспортировки влажных масс и выгрузки сыпучих тел):

1. Образованием промежуточного слоя на границе раздела фаз системы рабочая поверхность - дисперсная масса. Этот слой должен играть роль

экрана для сил межмолекулярного взаимодействия фаз, иметь малое адгезионное и когезионное взаимодействие и обладать "смазочным" действием, т.е. обеспечивать легкость относительного перемещения фазовых поверхностей. Слой может быть жидким, твердым и газообразным. Толщина слоя должна быть достаточной для проявления его объемных свойств.

2. Применением внешнего воздействия (теплого, вибрационного, электромагнитного, радиационного) для ослабления адгезионных связей.

3. Изменением адгезионно-когезионных свойств разрабатываемых масс благодаря незначительным различным добавкам. Например, добавкой некоторых поверхностно-активных веществ (ПДВ, веществ, связывающих воду (окись кальция, гидросиликата) или придающих массе гидрофобные свойства (например, кремнийорганические соединения).

4. Подбором технологического режима, неблагоприятного для развития адгезионно-когезионных сил. Адгезия существенно уменьшается при увеличении скорости относительного перемещения и снижения времени контакта и давления.

5. Использованием значительной разницы таких физико-механических свойств рабочей поверхности и дисперсной массы, как модуль упругости, коэффициент линейного и объемного расширения, способность к набуханию и ряда других, что при определенных условиях приводит к разрушению адгезионных связей.

6. Рациональным выбором конструктивных факторов (оптимальные радиусы кривизны рабочих поверхностей, уменьшение площади контакта, выбор угла давления на грунт, обеспечивающего возможность самоочищения, изменение шероховатости и структуры поверхности или ее насыщение материалами типа бор, сера, хром, способствующими снижению адгезии).

7. Применением комбинированных методов: например, одновременное действие вибрации и теплового воздействия, вибрации и электроосмоса и т.п.

8. Механическими способами. Для очистки залипших рабочих поверхностей применяются скребки, ножи, щетки, подвижные стенки, лопасти и т.п.

Широко применяемые методы включают некоторые полимерные покрытия, электроосмос, тепловое и вибрационное воздействие, газовую и жидкостную смазку, некоторые комбинированные методы (вибротепловой, вибрация и покрытие, а также некоторые др.).

Перспективные методы включают электромагнитное воздействие, специфичные методы (с использованием ПАВ, кислот, солей и веществ, химически реагирующих с грунтовой влагой), комбинированные покрытия (с жесткой основой, пропитанной гидрофобными веществами с низкой поверхностной энергией), большинство возможных комбинированных методов и методы, связанные с модифицированием рабочих поверхностей (нанопокрyтия, изменение структуры, насыщение веществами, снижающими адгезию и т.п.).

Одной из главных оценок эффективности методов является возможность снижения силы прилипания $P_{л}$ (и трения) в n раз.

Так как $P_{л}$ определяется главным образом дисперсностью, влажностью, временем контакта и давлением, возможно установление связи этих факторов с типами рабочих органов и видами технологических процессов.

Залипание поверхностей происходит в соответствии с распределением по ней давления и времени контакта. В настоящее время отсутствуют достаточные данные по зависимости $N = f(N, t_k)$ для основных типов рабочих органов в различных их точках. Давление N зависит от предела прочности грунтов и типа рабочего органа. Сила прилипания возрастает с увеличением t_k и N . Отсюда следует, что $P_{л}$ пропорциональна импульсу силы, затрачиваемой рабочим органом. Обычно величина $N t_k$ (для периода заполнения или перемещения) колеблется в пределах 20...200 Па·с.

Соответственно этому распределяются интенсивность и прочность адгезионных связей. Для грунтов с показателем текучести $J_L > 0.8 + 0.9$ давление не имеет существенного значения при выборе метода (кроме грунтов повышенной абразивности), а значение времени взаимодействия с грунтом важно в основном для методов внешнего воздействия (электроосмоса, подогрева, вибрации).

При $t_k > 30$ с давление имеет малое значение при выборе к этим методам.

Большинство полимерных покрытий склонно к довольно быстрому старению, связанному с потерей ими противoadгезионных свойств. Поэтому нанесение толстого слоя покрытия, рассчитанного на большой срок эксплуатации, нерационально. По опытным данным достаточная толщина покрытия 0,5...1,0 мм.

В связи с низкой износостойкостью полимерных материалов предпринимались многочисленные попытки найти новые материалы и различные полимерные композиции.

Повышение износостойкости путем введения наполнителей, как правило, увеличивает трение и прилипание.

Гидрофобные поверхности менее склонны к залипанию.

Из термодинамических соображений следует, что увеличение твердости и износостойкости материалов должно приводить к снижению их гидрофобности. Повышение давления и времени контакта улучшает смачиваемость.

Вместе с тем характеристика материалов с учетом прочности поверхностей и угла смачивания недостаточна. Износостойкость полимеров не имеет закономерной связи с поверхностным натяжением, твердостью поверхности. Это можно объяснить тем, что трение и износостойкость полимеров зависят от их деформации и эластичных свойств, а принятое определение "износостойкости по трению" в сухом кварцевом песке не

может достаточно характеризовать износ в действительных условиях на влажных почвогрунтах со значительным количеством глинистых частиц. Установлено, что в глинистой вочве износостойкость полиметилакрилата и эпоксидных композиций выше, чем фторопласта и полиэтилена. При этом износостойкость последних примерно в 10 раз ниже, чем СтЗ.

При малом давлении такие материалы, как резина и полиуретан, имеют относительно наибольшие значения силы прилипания, но значительные коэффициенты трения. Это связано с высокой эластичностью и деформацией таких материалов, когда при взаимодействии с ними происходят переменные сдвиги, приводящие к разрушению адгезионных связей.

В качестве антифрикции антикоррозионных покрытий могут быть использованы: 1) эпоксидные смолы с введением небольшого количества модификаторов, склонных к поверхностному диффузному насыщению (для этой цели перспективно использование кремнийорганических соединений); 2) электролитические покрытия хромом, никелем, кадмием; 3) полимерные покрытия и композиции: фторопласт, полиэтилен НД, полиуретан, резина, хлоркаучук, полипропилен.

Типовой состав (в массовых частях) эпоксидного покрытия: эпоксидная смола ЭД-5 (ЭД-6, ЭД-20) - 100; дибутилфталат (касторовое масло) – 12...16; кремнийорганическая жидкость (ПМС-200, ПЭС-5) – 5...8; наполнитель (сухой мелкозернистый песок, окись алюминия или цемент) - до 30; полиэтиленполиамин (отвердитель) 10...12.

Увеличение содержания дибутилфталата (пластификатора) может быть рекомендовано для поверхностей, имеющих малую жесткость.

Окись алюминия и песок увеличивают износостойкость поверхностей. Однако увеличение содержания наполнителя снижает противадгезионные свойства покрытия. Для транспортных средств и в других случаях статических нагрузок (например, бункеры) следует применять минимальное

количество наполнителя при максимальном содержании модификатора (кремнийорганической жидкости).

Качество покрытия в значительной мере зависит от тщательности подготовки поверхности и соблюдения технологии нанесения.

Подготовка рабочей поверхности заключается в очистке ее от ржавчины, окалины и жировых загрязнений. Можно применять механическую или химическую очистку.

Механическая очистка заключается в снятии ржавчины.

Химический способ подготовки поверхности включает травление в кислотах, обработку в щелочных растворах, органических растворителях или эмульсиях.

Выбор способа зависит от местных условий, вида загрязнения, типа поверхностей. Наиболее эффективным способом является пескоструйная или дробеструйная очистка, которая придает поверхности некоторую шероховатость, благоприятную для повышения адгезии покрытия к металлу. Ручная очистка щетками или механизированным инструментом более трудоемка и дает худший эффект. Для очистки могут использоваться металлические щетки с электрическим или пневматическим приводом. Кроме того, для очистки могут быть приспособлены переносные машины типа ИЭ-8201, ИЭ-2004, ИП-2001 и ИП-2009.

Очистку поверхности с помощью стальных щеток рекомендуется сочетать с предварительной обработкой поверхности химическим или термическим способом. Предварительная термическая обработка повышает производительность очистки в 1,5-2 раза. Термическая обработка заключается в обработке поверхности пламенем. Однако вследствие неодинаковой степени расширения металла и окалины с ржавчиной покрытия растрескиваются и отслаиваются. Кроме того, при обжиге удаляются жировые масляные загрязнения. Для быстрого нагрева можно

использовать газовые горелки типа ГАО-55 или ГАО-58. Возможно использование индукционных высококачественных установок.

При химической очистке сильно загрязненная поверхность подвергается обработке водным раствором, содержащим следующие компоненты (г/л): тринатрийфосфат – 30...40, едкий натрий - 80, жидкое стекло – 15, кальцинированная сода - 75.

После обработки производится травление поверхности (2-3 мин) смесью концентрированной соляной кислоты и поваренной соли (75...100 г/л). Затем в течение 5 мин поверхность обрабатывается составом, удаляющим ржавчину и содержащим следующие компоненты (г/л): ортофосфорная кислота – 98...100, тринатрийфосфат – 50, реактив ОП-7 - 30, теомочевина - 5.

Указанные компоненты растворяются в дистиллированной воде. Наносить указанные составы можно кистью из синтетических волокон.

После этого производится нейтрализация поверхности содовым раствором (100-150 г/л) и подсушивание.

Эпоксидное покрытие наносится следующим образом. В подогретую до температуры 40...50 °С эпоксидную смолу (расход ее - 500 г/м² поверхности) вводят и тщательно перемешивают указанные ниже компоненты в следующем порядке: пластификатор, кремнийорганическая жидкость, наполнитель, отвердитель. Перед вводом отвердителя температура должна быть 30...35 °С, так как время загустевания смеси резко уменьшается. Для маловязкой эпоксидной смолы нагрев не требуется.

При затруднении в перемешивании и последующем нанесении можно разбавить смесь ацетоном или растворителем типа № 646 из расчета 40-50 массовых частей на 100 частей смеси. Время приготовления смеси составляет при заранее подготовленных компонентах 10-12 мин.

Смесь рекомендуется наносить сразу после приготовления на предварительно очищенную поверхность. Эпоксидное покрытие наносится равномерно резиновым шпателем (оптимальная толщина покрытия 0.6...0.8 мм).

Полимеризация покрытия после нанесения продолжается 100-120 ч при температуре +20 °С или 2-3 ч при температуре 100...120 °С. В последнем случае изделие помещают в термокамеру, в которой температура поддерживается с помощью горелок или других средств. Рекомендуется плавно повышать температуру нагрева и плавно охлаждать изделие после полимеризации (желательно вместе с термокамерой). Горячее отверждение покрытия в значительной мере повышает его качество. Общий расход полимерного покрытия составляет 0,5-0,7 кг/м² поверхности.

Полиэтиленовые листы можно приклеивать обычными эпоксидными, мочевино- и фенолформальдегидными и резиновыми клеями после предварительной обработки поверхности. Эта обработка включает обезжиривание и травление раствором, состоящим из следующих компонентов (в массовых частях): бихромат натрия - 15, концентрированная серная кислота - 250, дистиллированная вода - 25. Время обработки 2...3 мин при температуре 60...70 °С. После этого следует просушить поверхность. Другим способом обработки является обработка пламенем кислородно-ацетиленовой горелки до появления глянца.

Без обработки приклеивать полиэтилен к металлу и другим материалам можно лишь специальными клеями. Фторопласты склеивают полиуретановыми, эпоксидными и полиэфирными клеями после обработки поверхности раствором металлического натрия в смеси нафталина и тетрагидрофурана.

Для приклеивания листов можно использовать серийные эпоксидные и полиуретановые клеи. Большие листы можно приклеивать в отдельных местах. Оптимальная толщина слоя клея 0,05-0,1 мм, расход 200...300 г/м². После соединения склеиваемых поверхностей их необходимо выдерживать под давлением в течение суток при комнатной температуре (или 4-5 ч при температуре от +120 до -140 °С).

На передней кромке ковшей скеперов, погрузчиков и т.п. (на стыке с ножом) рекомендуется приварить стальную кромку (из проволоки с диаметром, соответствующим толщине пластмассового листа).

Листы полиэтилена (4-5 мм) предварительно выгибают по форме ковша с подогревом до размягчения (температура 100...130 С).

Существенный эффект дают так называемые твердые смазочные материалы: графит, сульфид молибдена, тальк. Графит и тальк пригодны для длительного контакта. Технология закрепления талька на поверхности не разработана. Угольные гидрофобные отложения можно образовать при обработке рабочей поверхности коптящим пламенем.

Высокая эффективность высокоэластичных покрытий (хлоркаучук, микропористая резина) при намерзании объясняется в основном их высокой деформацией под воздействием давления разрабатываемой массы и значительного объемного расширения при льдообразовании. Создающиеся при отрыве неоднородные деформации и напряжения снижают адгезию.

Для облицовки емкостей могут быть использованы различные композиционные материалы. Например, порошок полиамида ПМ-67 можно смешивать с графитом или сульфидом молибдена и затем прессовать в виде листов или вкладышей необходимой формы. Этот материал термостойкий до температуры 400 °С, влагоустойчив, имеет пониженный коэффициент трения. Облицовки полиэтиленом и фторопластом снижают налипание минеральных удобрений. Например, силы трения и отрыва суперфосфата влажностью 15 % для стальных поверхностей составили 0,6 и 2,4, полиэтилена 0,3 и 1,7 и резины 0,5 и 1,1 кПа. Силы прилипания суперфосфата при времени контакта 3...5 мин и давлении 0,04...0,06 МПа к стальной поверхности составили 2,5...3, полиэтилену 1,8...2,2 и фторопласту до 1кПа. Электролитические покрытия изготовляют в заводских условиях. Для больших поверхностей целесообразно изготовление отдельных листов.

Сравнительные силы адгезии суглинка к некоторым шлифованным металлам и электролитическим покрытиям при $N = 2 \cdot 10^4$ Н/м и $t = 30$ с приведены в табл. 18.

Табл. 7.1. Силы адгезии суглинка к различным покрытиям

Материал покрытия	$P_d \cdot 10^2$ Н/м ² , при температуре 20°C и влажности, %	
	15	25
Ст3 (шлифованная)	13	32
Бронза	15	35
Алюминий	13	35

Принципиальные методы снижения трения и адгезии можно разделить на три группы.

Методы первой группы сводятся к созданию на границе контакта промежуточного слоя, который может служить экраном для молекулярного взаимодействия фаз и должен обладать малым когезионным или адгезионным взаимодействием (прилипанием).

Ко второй группе относятся методы, способствующие ослаблению адгезионных связей вследствие внешнего воздействия и приводящие к изменению свойств поверхностных слоев фаз.

К третьей группе относятся конструктивно-технологические и механические способы.

В общем случае для рабочих органов сельскохозяйственных машин силы прилипания и трения можно уменьшить следующими методами (применительно к процессам почвообработки, транспортировки влажных масс и выгрузки сыпучих тел):

1. Образованием промежуточного слоя на границе раздела фаз системы рабочая поверхность - дисперсная масса. Этот слой должен играть роль

экрана для сил межмолекулярного взаимодействия фаз, иметь малое адгезионное и когезионное взаимодействие и обладать "смазочным" действием, т.е. обеспечивать легкость относительного перемещения фазовых поверхностей. Слой может быть жидким, твердым и газообразным. Толщина слоя должна быть достаточной для проявления его объемных свойств.

2. Применением внешнего воздействия (теплого, вибрационного, электромагнитного, радиационного) для ослабления адгезионных связей.

3. Изменением адгезионно-когезионных свойств разрабатываемых масс благодаря незначительным различным добавкам. Например, добавкой некоторых поверхностно-активных веществ (ПДВ, веществ, связывающих воду (окись кальция, гидросиликата) или придающих массе гидрофобные свойства (например, кремнийорганические соединения).

4. Подбором технологического режима, неблагоприятного для развития адгезионно-когезионных сил. Адгезия существенно уменьшается при увеличении скорости относительного перемещения и снижения времени контакта и давления.

5. Использованием значительной разницы таких физико-механических свойств рабочей поверхности и дисперсной массы, как модуль упругости, коэффициент линейного и объемного расширения, способность к набуханию и ряда других, что при определенных условиях приводит к разрушению адгезионных связей.

6. Рациональным выбором конструктивных факторов (оптимальные радиусы кривизны рабочих поверхностей, уменьшение площади контакта, выбор угла давления на грунт, обеспечивающего возможность самоочищения, изменение шероховатости и структуры поверхности или ее насыщение материалами типа бор, сера, хром, способствующими снижению адгезии).

7. Применением комбинированных методов: например, одновременное действие вибрации и теплового воздействия, вибрации и электроосмоса и т.п.

8. Механическими способами. Для очистки залипших рабочих поверхностей применяются скребки, ножи, щетки, подвижные стенки, лопасти и т.п.

Широко применяемые методы включают некоторые полимерные покрытия, электроосмос, тепловое и вибрационное воздействие, газовую и жидкостную смазку, некоторые комбинированные методы (вибротепловой, вибрация и покрытие, а также некоторые др.).

Перспективные методы включают электромагнитное воздействие, специфичные методы (с использованием ПАВ, кислот, солей и веществ, химически реагирующих с грунтовой влагой), комбинированные покрытия (с жесткой основой, пропитанной гидрофобными веществами с низкой поверхностной энергией), большинство возможных комбинированных методов и методы, связанные с модифицированием рабочих поверхностей (нанопокрyтия, изменение структуры, насыщение веществами, снижающими адгезию и т.п.).

Одной из главных оценок эффективности методов является возможность снижения силы прилипания P_d (и трения) в n раз.

Так как P_d определяется главным образом дисперсностью, влажностью, временем контакта и давлением, возможно установление связи этих факторов с типами рабочих органов и видами технологических процессов.

Залипание поверхностей происходит в соответствии с распределением по ней давления и времени контакта. В настоящее время отсутствуют достаточные данные по зависимости $N = f(N, t_k)$ для основных типов рабочих органов в различных их точках. Давление N зависит от предела прочности грунтов и типа рабочего органа. Сила прилипания возрастает с увеличением t_k и N . Отсюда следует, что P_d пропорциональна импульсу

силы, затрачиваемой рабочим органом. Обычно величина $N t_k$ (для периода заполнения или перемещения) колеблется в пределах 20...200 Па·с. Соответственно этому распределяются интенсивность и прочность адгезионных связей. Для грунтов с показателем текучести $J_L > 0.8 + 0.9$ давление не имеет существенного значения при выборе метода (кроме грунтов повышенной абразивности), а значение времени взаимодействия с грунтом важно в основном для методов внешнего воздействия (электроосмоса, подогрева, вибрации).

При $t_k > 30$ с давление имеет малое значение при выборе к этим методов.

Большинство полимерных покрытий склонно к довольно быстрому старению, связанному с потерей ими противoadгезионных свойств. Поэтому нанесение толстого слоя покрытия, рассчитанного на большой срок эксплуатации, нерационально. По опытным данным достаточная толщина покрытия 0,5...1,0 мм.

В связи с низкой износостойкостью полимерных материалов предпринимались многочисленные попытки найти новые материалы и различные полимерные композиции.

Повышение износостойкости путем введения наполнителей, как правило, увеличивает трение и прилипание.

Гидрофобные поверхности менее склонны к залипанию.

Из термодинамических соображений следует, что увеличение твердости и износостойкости материалов должно приводить к снижению их гидрофобности. Повышение давления и времени контакта улучшает смачиваемость.

Вместе с тем характеристика материалов с учетом прочности поверхностей и угла смачивания недостаточна. Износостойкость полимеров не имеет закономерной связи с поверхностным натяжением, твердостью поверхности. Это можно объяснить тем, что трение и износостойкость

полимеров зависят от их деформации и эластичных свойств, а принятое определение "износостойкости по трению" в сухом кварцевом песке не может достаточно характеризовать износ в действительных условиях на влажных почвогрунтах со значительным количеством глинистых частиц. Установлено, что в глинистой вочве износостойкость полиметилакрилата и эпоксидных композиций выше, чем фторопласта и полиэтилена. При этом износостойкость последних примерно в 10 раз ниже, чем СтЗ.

При малом давлении такие материалы, как резина и полиуретан, имеют относительно наибольшие значения силы прилипания, но значительные коэффициенты трения. Это связано с высокой эластичностью и деформацией таких материалов, когда при взаимодействии с ними происходят переменные сдвиги, приводящие к разрушению адгезионных связей.

В качестве антифрикции антикоррозионных покрытий могут быть использованы: 1) эпоксидные смолы с введением небольшого количества модификаторов, склонных к поверхностному диффузному насыщению (для этой цели перспективно использование кремнийорганических соединений); 2) электролитические покрытия хромом, никелем, кадмием; 3) полимерные покрытия и композиции: фторопласт, полиэтилен НД, полиуретан, резина, хлоркаучук, полипропилен.

Типовой состав (в массовых частях) эпоксидного покрытия: эпоксидная смола ЭД-5 (ЭД-6, ЭД-20) - 100; дибутилфталат (касторовое масло) – 12...16; кремнийорганическая жидкость (ПМС-200, ПЭС-5) – 5...8; наполнитель (сухой мелкозернистый песок, окись алюминия или цемент) - до 30; полиэтиленполиамин (отвердитель) 10...12.

Увеличение содержания дибутилфталата (пластификатора) может быть рекомендовано для поверхностей, имеющих малую жесткость.

Окись алюминия и песок увеличивают износостойкость поверхностей. Однако увеличение содержания наполнителя снижает противадгезионные

свойства покрытия. Для транспортных средств и в других случаях статических нагрузок (например, бункеры) следует применять минимальное количество наполнителя при максимальном содержании модификатора (кремнийорганической жидкости).

Качество покрытия в значительной мере зависит от тщательности подготовки поверхности и соблюдения технологии нанесения.

Подготовка рабочей поверхности заключается в очистке ее от ржавчины, окалина и жировых загрязнений. Можно применять механическую или химическую очистку.

Механическая очистка заключается в снятии ржавчины.

Химический способ подготовки поверхности включает травление в кислотах, обработку в щелочных растворах, органических растворителях или эмульсиях.

Выбор способа зависит от местных условий, вида загрязнения, типа поверхностей. Наиболее эффективным способом является пескоструйная или дробеструйная очистка, которая придает поверхности некоторую шероховатость, благоприятную для повышения адгезии покрытия к металлу. Ручная очистка щетками или механизированным инструментом более трудоемка и дает худший эффект. Для очистки могут использоваться металлические щетки с электрическим или пневматическим приводом. Кроме того, для очистки могут быть приспособлены переносные машины типа ИЭ-8201, ИЭ-2004, ИП-2001 и ИП-2009.

Очистку поверхности с помощью стальных щеток рекомендуется сочетать с предварительной обработкой поверхности химическим или термическим способом. Предварительная термическая обработка повышает производительность очистки в 1,5-2 раза. Термическая обработка заключается в обработке поверхности пламенем. Однако вследствие неодинаковой степени расширения металла и окалины с ржавчиной

покрытия растрескиваются и отслаиваются. Кроме того, при обжиге удаляются жировые масляные загрязнения. Для быстрого нагрева можно использовать газовые горелки типа ГАО-55 или ГАО-58. Возможно использование индукционных высококачественных установок.

При химической очистке сильно загрязненная поверхность подвергается обработке водным раствором, содержащим следующие компоненты (г/л): тринатрийфосфат – 30...40, едкий натрий - 80, жидкое стекло – 15, кальцинированная сода - 75.

После обработки производится травление поверхности (2-3 мин) смесью концентрированной соляной кислоты и поваренной соли (75...100 г/л). Затем в течение 5 мин поверхность обрабатывается составом, удаляющим ржавчину и содержащим следующие компоненты (г/л): ортофосфорная кислота – 98...100, тринатрийфосфат – 50, реактив ОП-7 - 30, теомочевина - 5.

Указанные компоненты растворяются в дистиллированной воде. Наносить указанные составы можно кистью из синтетических волокон.

После этого производится нейтрализация поверхности содовым раствором (100-150 г/л) и подсушивание.

Эпоксидное покрытие наносится следующим образом. В подогретую до температуры 40...50 °С эпоксидную смолу (расход ее - 500 г/м² поверхности) вводят и тщательно перемешивают указанные ниже компоненты в следующем порядке: пластификатор, кремнийорганическая жидкость, наполнитель, отвердитель. Перед вводом отвердителя температура должна быть 30...35 °С, так как время загустевания смеси резко уменьшается. Для маловязкой эпоксидной смолы нагрев не требуется.

При затруднении в перемешивании и последующем нанесении можно разбавить смесь ацетоном или растворителем типа № 646 из расчета 40-50 массовых частей на 100 частей смеси. Время приготовления смеси составляет при заранее подготовленных компонентах 10-12 мин.

Смесь рекомендуется наносить сразу после приготовления на предварительно очищенную поверхность. Эпоксидное покрытие наносится равномерно резиновым шпателем (оптимальная толщина покрытия 0,6...0,8 мм).

Полимеризация покрытия после нанесения продолжается 100-120 ч при температуре +20 °С или 2-3 ч при температуре 100...120 °С. В последнем случае изделие помещают в термокамеру, в которой температура поддерживается с помощью горелок или других средств. Рекомендуется плавно повышать температуру нагрева и плавно охлаждать изделие после полимеризации (желательно вместе с термокамерой). Горячее отверждение покрытия в значительной мере повышает его качество. Общий расход полимерного покрытия составляет 0,5-0,7 кг/м² поверхности.

Полиэтиленовые листы можно приклеивать обычными эпоксидными, мочевино- и фенолформальдегидными и резиновыми клеями после предварительной обработки поверхности. Эта обработка включает обезжиривание и травление раствором, состоящим из следующих компонентов (в массовых частях): бихромат натрия - 15, концентрированная серная кислота - 250, дистиллированная вода - 25. Время обработки 2...3 мин при температуре 60...70 °С. После этого следует просушить поверхность. Другим способом обработки является обработка пламенем кислородно-ацетиленовой горелки до появления глянца.

Без обработки приклеивать полиэтилен к металлу и другим материалам можно лишь специальными клеями. Фторопласты склеивают полиуретановыми, эпоксидными и полиэфирными клеями после обработки поверхности раствором металлического натрия в смеси нафталина и тетрагидрофурана.

Для приклеивания листов можно использовать серийные эпоксидные и полиуретановые клеи. Большие листы можно приклеивать в отдельных местах. Оптимальная толщина слоя клея 0,05-0,1 мм, расход 200...300 г/м².

После соединения склеиваемых поверхностей их необходимо выдерживать под давлением в течение суток при комнатной температуре (или 4-5 ч при температуре от +120 до -140 °С).

На передней кромке ковшей скеперов, погрузчиков и т.п. (на стыке с ножом) рекомендуется приварить стальную кромку (из проволоки с диаметром, соответствующим толщине пластмассового листа).

Листы полиэтилена (4-5 мм) предварительно выгибают по форме ковша с подогревом до размягчения (температура 100...130 С).

Существенный эффект дают так называемые твердые смазочные материалы: графит, сульфид молибдена, тальк. Графит и тальк пригодны для длительного контакта. Технология закрепления талька на поверхности не разработана. Угольные гидрофобные отложения можно образовать при обработке рабочей поверхности коптящим пламенем.

Высокая эффективность высокоэластичных покрытий (хлоркаучук, микропористая резина) при намерзании объясняется в основном их высокой деформацией под воздействием давления разрабатываемой массы и значительного объемного расширения при льдообразовании. Создающиеся при отрыве неоднородные деформации и напряжения снижают адгезию.

Для облицовки емкостей могут быть использованы различные композиционные материалы. Например, порошок полиамида ПМ-67 можно смешивать с графитом или сульфидом молибдена и затем прессовать в виде листов или вкладышей необходимой формы. Этот материал термостойкий до температуры 400 °С, влагоустойчив, имеет пониженный коэффициент трения. Облицовки полиэтиленом и фторопластом снижают налипание минеральных удобрений. Например, силы трения и отрыва суперфосфата влажностью 15 % для стальных поверхностей составили 0,6 и 2,4, полиэтилена 0,3 и 1,7 и резины 0,5 и 1,1 кПа. Силы прилипания суперфосфата при времени контакта 3...5 мин и давлении 0,04...0,06 МПа к

стальной поверхности составили 2,5...3, полиэтилену 1,8...2,2 и фторопласту до 1кПа. Электролитические покрытия изготавливают в заводских условиях. Для больших поверхностей целесообразно изготовление отдельных листов. Сравнительные силы адгезии суглинка к некоторым шлифованным металлам и электролитическим покрытиям при $N = 2 \cdot 10^4$ Н/м и $t = 30$ с приведены в табл. 7.1.

Табл. 7.1. Силы адгезии суглинка к различным покрытиям

Материал покрытия	$P_d \cdot 10^2$ Н/м ² , при температуре 20°C и влажности, %	
	15	25
Ст3 (шлифованная)	13	32
Бронза	15	35
Алюминий	13	35
Серый чугун	12	30
Титан	7	36
Электрические покрытия:		
Хром		
блестящий	5	25
матовый	11	30
блестящий никель	6	23
кадмий	10	28
Сульфидированная сталь	7	28

8. ПОНЯТИЕ О НАНОМАТЕРИАЛАХ И НАНОТЕХНОЛОГИЯХ

Нано- означает миллиардную часть чего-либо. Отсюда названия: *наночастицы*- частицы материала близкие к 10^{-9} м и частицы отличающиеся от этого размера, как правило не более чем на один порядок. Наноматериалы

получаются при специальных технологиях, где манипулируют частицами атомно-молекулярных размеров. При этом могут конструироваться и технические устройства с размерами близкими к указанным..

В природе, в результате длительных эволюционных процессов также имеются наночастицы, особенно в биообъектах живого мира. По существу, *нанотехнологии* – это технологии получения нанообъектов, которые, человек пытается получить быстро, минуя долгий эволюционный путь, с помощью новейших достижений физики и химии.

Яркий пример такой эволюционного перехода – современная электроника, где происходит переход от микроэлектроники к нанoeлектронике при постепенным уменьшением размеров элементов устройств. Известны и широко применяются процессы нанофикации материалов путем добавления в них или нанесения наночастиц на поверхность материалов и изделий для улучшения их свойств. Революционное изменение в получении наноструктурированных материалов произойдет, когда научатся создавать такие материалы с уникальными свойствами за счет процессов «самосборки наночастиц» из атомов и молекул (как это делается в природе) на основе принципов иерархии энергетических уровней и структур. Для этого нужно знать и владеть законами управления атомно-молекулярного микромира.

Наноматериалы нельзя получить простым смешиванием одного вещества в другом. Нанотехнологии требуют знания и умения владения тонкими методами разделения наночастиц, точного дозирования энергетического воздействия и состава, умения создавать иерархические структуры нужной степени устойчивости. Уникальные свойства наноматериалов (сверхпрочность и жаростойкость, биосовместимость, сверхустойчивость к коррозии, возможность создания сверхмалых источников энергии и т.п.) требуют умения создавать сложнейшие

архитектурные наноконструкции с использованием принципов самоорганизации частиц. В настоящее время уже используются нанотехнологии для получения порошков и суспензий улучшающих работу двигателей, покрытий резко снижающих износ, повышающих коррозионную стойкость, немнущихся и несмачивающихся тканей, упаковок, для получения сверхтвердых материалов на основе углеродных нанотрубок, новых более эффективных лекарственных препаратов и др. По существу, современная электроника в большой степени и есть наноэлектроника на основе нанотехнологий. Основными направлениями нанотехнологий в ближайшее время будут: получение материалов заменяющих металлы и пластмассы, изделий бытовой и электронной техники, композитные материалы совмещающие сверхпрочность со сверхмалой плотностью, медицинские препараты и миниатюрные устройства. Следует отметить, что в большинстве твердых отходов различных производств содержится значительное количество уже сформировавшихся наночастиц.

Поэтому извлечь их из огромных запасов таких отходов и использовать для массового получения уникальных материалов – одна из важнейших задач нанотехнологий.

Встает вопрос о воздействии наночастиц на человека и окружающую среду: например, как утилизировать сверхпрочные, сверхтвердые материалы? Забвение таких вопросов может привести к большим проблемам в будущем человечества.

8.1. Об использовании наноразмерных добавок в строительных технологиях

Можно отметить два основных направления использования активных микродобавок для повышения качества эксплуатационных показателей

строительных изделий на основе минеральных вяжущих: для улучшения поверхностных свойств (защита от электро-магнитных излучений, шумов, агрессивного влияния внешней среды, для повышения долговечности) и для улучшения объемных свойств (повышение прочности и долговечности , в первую очередь, несущих строительных конструкций).

Наибольший прогресс достигнут в первом направлении, поскольку создание нано- и микропокрытий значительно проще и эффективнее в технологическом смысле, дает высокий экономический эффект, а нанопокртия имеют уникальные свойства и востребованы почти во всех отраслях промышленности. Во втором направлении, несмотря на некоторые успехи, имеются значительные трудности в создании промышленных технологий. В частности, большое затруднение вызывает равномерное распределение углеродных нанодобавок в объеме исходной строительной смеси. Наиболее простой способ – предварительное растворение в воде затворения широко используется для ввода в смесь растворимых микродобавок, улучшающих технологические свойства бетонного теста и конечных изделий. Углеродные добавки в воде нерастворимы, что создает значительные технологические затруднения. Принципиальная эффективность использования углеродных нанодобавок с их низкой концентрацией в объеме строительных смесей в достаточной мере доказана

Ниже рассмотрены некоторые проблемы и эффективность использования наноуглеродных микродобавок для объемных строительных материалов с использованием разработок автора и других исследователей. Нерастворимость в воде, весьма низкие концентрации и некоторые другие оригинальные свойства наноуглерода создают еще не до конца решенную проблему их равномерного распределения в больших объемах.

Эффективность распределения микродобавок в жидкой среде можно повысить за счет высокочастотных акустических колебаний и регулируемых процессов микропереноса веществ в дисперсно-пористой среде (электрофорез, электроосмос) . В практике смешивания освоено использование ультразвука. Однако сам ультразвук является одним из источников активации жидкой среды и на этом фоне не всегда правильно идентифицируются результаты эффекта от введения микродобавок.

Отмечены

определенные трудности однородного смешивания ультрамалых нерастворимых добавок. Поскольку ультразвуковое воздействие само по себе активизирует воду и бетонное тесто , повышение прочности за счет ультрамалой добавки нонотрубчатого углерода является, повидимому, суммарным синергетическим эффектом.

Наиболее известными наноуглеродными материалами являются фуллерены, тубулены (нанотрубки), графен, фуллериты. В промышленном масштабе освоено производство наноуглеродных материалов на основе фуллерена и тубулена.

Фуллерен – высокосимметричная с внутренней сферической полостью молекула C_{60} размером около 0,5 нм. Его плотность составляет около 2 г/см^3 . Структура молекулы образует 12 правильных пятиугольников и 20 шестиугольников. Кристаллические ассоциаты фуллеренов (фуллериты) малореакционноспособны, их молекулы могут быть связаны , в основном, слабыми молекулярными силами Ван-де- Ваальса. В полости фуллеритов могут быть внедрены примесные атомы и ионы , что позволяет значительно изменять ряд физических свойств , например, К- фуллерит имеет сверхпроводящие свойства. В настоящее время известны десятки тысяч различных фуллеритов. Фуллероидные частицы обладают высокой

химической и термодинамической устойчивостью и способностью к поляризационному взаимодействию.

Отмечена возможность изменения интенсивности внутренних связей молекулы фуллерена за счет внешней энергии (при воздействии света, радиации, высокого давления). Отмечается высокая способность фуллеренов как фрактальных структур в самоорганизации новых структур отличающихся по своему строению. Графен представляет структуру из монослойных атомов углерода с хорошей проводимостью. Особенностью его электронно-энергетического спектра является отсутствие энергетической щели между валентной зоной и зоной проводимости, а при определенных условиях, например, при действии поперечного постоянного электрического поля, появляется запрещенная зона. Углеродные нанотрубки (моно и полислойные) имеют поперечный размер около 1 нм при длине в несколько десятков микрон. Структура тубуленов образована свернутыми графитовыми листами с различным сочетанием 5, 6 и 7 –ми угольных ячеек. Бездефектные нанотрубки в 50-100 раз прочнее и в 3-4 раза легче сталей. Они обладают аномально высокой удельной поверхностью – около 1300 м²/г, что определяет их большую поверхностную энергию и высокую адсорбционную способность (особенно газов). Эффект резкого увеличения прочности (но в гораздо меньшем масштабе) характерен для многих волокнистых композитов. Адсорбция происходит как на внешней, так и на внутренней поверхности нанотрубок.

Известны тонкодисперсные материалы на основе графита. Так называемый термо-расширенный графит имеет удельную поверхность около 80 м²/г, что почти в 10 раз выше удельной поверхности цемента. Такой графит (расширяющийся при нагреве) представляет собой хлопья с толщиной близкой наноразмерной, имеет очень низкую объемную плотность –около

0,05 г/см³ и высокую адсорбционную способность к гидрофобным примесям (например, нефтяные примеси адсорбируются в количестве превышающем массу частиц графита) [18-19].

Значительный практический интерес представляет использование наноуглеродных частиц из природных минералов (шунгит и другие углесодержащие породы) и отходов промышленного производства.(зола, шлаки, некоторые виды сточных вод). Проблема разработки достаточно дешевых технологий извлечения наночастиц из указанных материалов находится в зачаточном состоянии. В зольных отходах после сжигания угля содержится до 10% несгоревшего углерода. Удельная поверхность частиц золы в 1,5 – 2 раза выше частиц цемента при содержании фракции менее одного микрона –около 2-3%.

При использовании логарифмического закона нормального распределения частиц , теоретически, такая зола может содержать 0,03-0,2% наноразмерных углеродных частиц. Шунгит – аморфный углесодержащий минерал (20-30 % углерода со значительным содержанием фуллереноподобных наночастиц) . Он имеет прочность на сжатие около 120 МПа , обладает значительной электропроводностью и поглощающей способностью по отношению к высокочастотным излучениям. Бетонные плиты с добавкой шунгита (до 40%) используются как основной и облицовочный материал для защиты от электромагнитных излучений в диапазоне 0,1 –1000 МГц. Добавка шунгита в состав тротуарных плит может решить вопрос создания не подверженных обледенению пешеходных дорожек.

Наличие существенной разности энергетических потенциалов на границе жидкость - твердое тело позволяет объяснить переход наноуглеродных частиц шунгита в воду затворения. Это создает предпосылки практического

использования подобных наноструктурированных микросуспензий. По специальным опытам автора при длительном настаивании в воде порошка шунгита концентрация в жидкости наночастиц составляет до 0,1- 0,15 %. В жидкости частицы менее 500 нм подчиняются законам броуновского движения и не осаждаются. Вариантом метода объемного насыщения активными наночастицами является выдержка наполнителя в воде с активными наночастицами.

. Равномерное объемное распределение нанодобавок, составляющих доли процента, является труднодостижимой задачей массового производства. Вследствие чего относительный эффект повышения прочности в лабораторных и производственных условиях может значительно различаться.

Значимость наночастиц (как добавок к строительным смесям) велика лишь в том случае, если одно или несколько физических свойств резко зависят от размера, а нанотехнологические энергозатраты окупаются. Следует отметить, что повышение величины S цемента снижает его расход (до 25% при сопоставимых прочностных свойствах) и значительно сокращает сроки твердения (до 2-3 раз). Но при тонкодисперсном помоле с дисперсностью менее 10 мкм затраты на помол в 5-7 раз выше, чем при дисперсности на порядок выше. Вопрос о практически целесообразном пределе измельчения остается открытым.:

. Ориентировочное количество активной наноразмерной фракции, как показано в [20], при начальной удельной поверхности $S_0 \geq S_n$ где S_n – удельная поверхность нанодисперсии, определяется формулой, где δ – необходимый относительный объем этой фракции (в %)

$$\delta = 100 \frac{(1 - \beta)}{\epsilon^{n-1} \frac{S_0}{S_n}} \quad (8.1)$$

При шаговом коэффициенте (учитывающем отступление от глобулярности частиц $v=5$, $n=5-8$ и осредненном относительном объеме пор $\beta=0,5$, получаем по этой зависимости: $\delta \approx 0,01-0,001\%$ (при соотношении $S_0/S_H = 0,01 - 0,001$), а при $n=3-4$, величина нанодобавки равна $0,6 - 6\%$. Имеются данные [1,10 -12] о существенном влиянии на конечные физические свойства строительных материалов нанодобавок (в частности, ультрачастиц кремнезема и фуллерена) в количествах близких к расчетным .

Эффективное количество микро – и нанодобавок резко возрастает для малофракционных смесей с большой разницей размеров частиц фракций. Минимальное содержание наиболее дорогостоящей нанодобавки зависит от числа последовательно убывающих фракций с выбранным шаговым коэффициентом, величина которого является размерным параметром измельчения фракции (при их относительном средневероятностном размере частиц). При этом чрезвычайно важно создать минимальный размер поровидных пустот, когда ионномолекулярное взаимодействие сопоставимо с величиной, обеспечивающей конечную прочность связей

Критические размеры частиц, выше которых эффективность микродисперсных добавок мала близка к одному микрону. Можно полагать, что число фракций $n= 8-10$ близко к оптимуму. Структура смеси теоретически строится по принципу объемной матрешки: каждая последующая фракция размером d_i укладывается максимально плотно в предыдущую размером $d_{i+1} \cdot c$ наибольшим координационным числом. Практическое создание смесей близких к этому требует тщательного разделения исходных компонентов на однородные фракции.

В естественных дисперсиях (типа глинистых пород) и зольных и других тонко дисперсных отходах производства ориентировочное содержание частиц наноразмерного порядка можно оценить на основе логарифмического нормального закона распределения размерных фракций. Если известна

среднестатистическая величина удельной поверхности данной дисперсии – S ,
то приближенная величина содержания данной фракции - S_u

$$\varepsilon = D (S/S_u) \exp (- \ln (0,4 S_u/S)) \quad (8.2)$$

При $D= 0,25-0,5$ и $S/S_u = 0,1 - 10$ расчетное содержание фракций, соответственно, на порядок выше и ниже средней удельной поверхности частиц равной 100 нм и составляет, в среднем, $\varepsilon = 17$ и $0,12$ %.. Анализ гранулометрических кривых дисперсных порошков показывает, что при наличии фракций с размером частиц менее микрона на кривых зависимости количества частиц различных фракций от их размеров характерно наличие как минимум двух экстремальных фракций. Так например на суглинках максимальное количество частиц содержится во фракциях с диапазонами менее микрона и диапазоном 50 – 100 мкм. В молотом кварце отмечена двухэкстремальная зависимость числа частиц с содержанием частиц 30% (30-40 мкм) и 92% (менее 50мкм), а минимум (12%) составляли частицы размером 60мкм. В тоже время весовое содержание фракций прогрессирующе убывало с уменьшением их размера. В ряде случаев (например, для глин) на кривых зависимости параметра однородности распределения пор и частиц от их эквивалентных размеров кроме явно выраженных двух экстремумов (фракции 1-5 мкм и 10-50мкм) с ростом размера имелось еще несколько слабо выраженных экстремумов затухающего характера. Можно говорить о наличии в тонкодисперсных материалах 2-3 наиболее устойчивых фракций. При этом основную долю средней удельной поверхности частиц составляют фракции менее нескольких микрон. Так, в глинах (с удельной поверхностью 100-400 м²/г) эта доля составляет около 30-60% для диапазона менее 3мкм, а для тонкой фракции молотого кварца –80% за счет фракции менее 0,5мкм, составляющей около 5% объема. Уместно отметить, что в минеральных дисперсиях дальнедействующие силы взаимодействия могут быть на два порядка

меньше ближнедействующих. В сложных полидисперсных и полиминеральных системах функции фрактальных кривых (отражающих размерные характеристики и самоорганизацию объемного пространства вокруг наиболее активных наночастиц) неинтегральны, поскольку при взаимодействии частиц электромагнитного характера на микро- и наноуровне возникают резонансные явления, приводящие к значительной недетерминированности процесса.

Минимальное количество влаги (V) твердеющей смеси определяется удельной поверхностью частиц вяжущего $-S$ и, теоретически, составляет $V\% = Sh100$. Тогда при $S = 700 \text{ м}^2/\text{кг}$ и принимая 5-10 молекулярных слоев воды (при размере молекулы воды 3 нм) получаем толщину слоя $h = 15\text{-}30\text{ нм}$, а величина $V = 10\text{-}20\%$. Такого количества жидкой фазы достаточно для использования прессования для получения конечного изделия, но недостаточно для кладочных растворов достаточно низкой вязкости и решения проблемы равномерного распределения микроколичеств нанодобавок.

Ниже представлены результаты опытов автора (табл.1) по относительной прочности на сжатие цементно-песчаных и гипсовых смесей с нанокремнекислотными микродобавками, содержащимися в жидкой фазе смеси. Использовались низкомарочный цемент и полуводный гипс при объемном содержании воды 30 и 50% от вяжущего и соотношением смеси цемент-песок равном 1:1. Жидкая фаза с наночастицами фуллероидного типа получалась при настояе порошкообразного шунгита в водопроводной воде в течение 3-30 суток и дальнейшем длительном отстое. В зависимости от срока отстоя и качества шунгита содержание нанокремнекислота в воде составляло 0,07 – 0,17%.

Часть опытов проделана с дополнительной обработкой воды (или тестообразной смеси) в постоянном магнитном поле (напряженностью 5-

7кА/м в течении 10-20с). Режим омагничивания включал два варианта : перемешивание теста(а) или взбалтывание жидкости (б). Число оборотов перемешивания или взбалтывания существенно влияет на качество магнитной обработки

Таблица 8.1. Относительное изменение прочности на сжатие образцов цементно-песчаных и гипсовых смесей при микроуглеродных добавках в воде затворения настоенной на шунгите

Характеристика смеси	Наименование водной суспензии					
	СШ	СШО	ВШ	ВШО	НШ	НШО
Концентрация микроуглерода в воде затворения , %	0,17	0,17	0,7	0,7	0,15	0,15
Относительное повышение прочности (по сравнению с контрольным образцом без добавки) ,%	Цемент,песок, вода (ЦПВ) в соотношении 1 : 1 : 0,5					
	80- 250	90 –110	70-100	-	60-180	90-105
	ЦПВ в соотношении 1 : 1 : 0,3					
	10-20	75- 250	-	-	80-90	25-60
	Гипс , вода в соотношении 1:1					
	30-50	15-20	5-10	15-25	15-20	-
	(тесто)					

Примечания к таблице. Обозначения смесей: СШ- настой воды на порошке шунгита в течении 3 недель и дальнейший отстой воды (без порошка) более 3 месяцев;;НШ - 4-х дневный настой без дальнейшего отстоя; ВШ – месячный вторичный отстой (в порошке после первичного настоя). Буква О обозначает дополнительное омагничивание жидкой фазы. Меньшие значения прироста прочности соответствуют появлению микротрещин.

Использование наночастиц углерода в качестве модифицирующих добавок в строительные материалы получены, в ряде случаев, разноречивые данные их эффективности. Полученные данные повышения прочности бетона на цементной основе до 30-40% объясняется изменением структуры и фазового состава продуктов гидратации цемента. Введение наночастиц углерода без пластификаторов практически не изменяет реологических свойств бетонных смесей. Отмечено значительное ускорение твердения вяжущих смесей и их прочность при 0,05 % концентрации нанотрубок, а эффект объясняется активацией образования центров кристаллизации. Концентрация наночастиц углерода в воде около 10^{-7} мольных долей считается достаточной для агрегативной устойчивости и управления кинетикой взаимодействия цемента с водой. Достигнуто снижение вязкости цементного теста в 2-4 раза с повышением твердости и долговечности цементного камня. Однако существенного прироста объемной прочности не было. По данным Пономарева А.Н. (2007г) при использовании воды затворения с содержанием около 0,0035 % фуллероидных частиц получен прирост прочности бетона с крупным заполнителем на 12-16%, для низкомарочных бетонов – почти в 2 раза, для высокомарочных – до 30%, а для композиционных бетонов на основе волокнистых наполнителей – около 5%-10%. При этом наночастицы углерода более 1 % не дают эффекта

На основании опытов можно сделать предварительные выводы:

- прирост прочности смесей на быстротвердеющих вяжущих (типа гипс) значительно меньше, чем на медленно твердеющем вяжущем при одинаковых микроконцентрациях наночастиц углерода,
- дополнительное влияние магнитного поля (в комплексе с нанодобавками) может дать неоднозначный эффект в зависимости от режима намагничивания и водных примесей,
- при малой влажности смеси повышение неоднородности распределения нанодобавки значительно влияло на конечный результат упрочнения,

Сварка – технологический процесс соединения (или разъединения) исходных элементов за счет оплавления мест стыка (или разъема). Наиболее широкое применение получила электродуговая и газовая сварка. Источником тепловой энергии в этом случае являются: электрическая дуга или теплота реакции горения газа (ацетилена) в среде кислорода. Электрическая дуга – это электрический разряд, возникающий между двумя электродами (свариваемое изделие и специального пруткового электрода) при их сближении до расстояния необходимого для появления электрического плазменного разряда. Подробное описание теории методов сварки и сварочного оборудования для металлов дано в специальной литературе [1,14,18].

Кроме плазменно-дуговой сварки применяются сварочные технологии с использованием электромагнитных излучений (лазерное, индукционное и др.), и взрыва. Для улучшения механических свойств сварочных швов используются защитные атмосферы (сварка в среде азота, углекислого газа и т.п.) или специальные защитные расплавы (шлаки).

Ниже рассматривается сварка пластмасс, ввиду ряда особенностей технологического процесса с учетом особых свойств пластмасс и меньшей освещенности этого вопроса в учебной литературе.

Сварка изделий из пластмасс. Соединение деталей из пластмасс осуществляется механическим методом (например, болтами, заклепками), склеиванием и сваркой.

По сравнению с другими методами соединения пластмасс сварка имеет ряд существенных преимуществ, важнейшими из которых являются экономия материала и плотность швов (по сравнению с клепкой), меньшая трудоемкость и большая прочность сварных соединений (по сравнению со склеиванием). Все это приводит к тому, что внимание к процессам сварки пластмасс непрерывно возрастает.

Существуют различные методы сварки пластмасс. Их можно условно разделить на три группы: сварка с помощью внешних источников тепла (нагретые газ, инструмент или присадочный материал, трение), сварка с помощью внутренних источников тепла (токами высокой частоты, ультразвуком) и так называемая химическая сварка.

Следует при этом отметить, что нередко применяют и различные комбинации этих методов.

Первые две группы методов используют для соединения термопластичных материалов. Химическая сварка является одним из перспективных методов сварки термореактивных пластмасс на основе фенолоформальдегидных, кремнийорганических, эпоксидных и полиэфирных смол.

Выбор метода сварки зависит от свойств полимера, толщины, серийности выпуска и вида изделий, типа конструкций, предъявляемых к ним требований и т. д. Каждый метод сварки имеет свои определенные преимущества и недостатки. Однако к наиболее распространенным методам можно отнести сварку нагретым газом и нагретым инструментом, как наиболее экономичным и доступным методам, сварку токами высокой частоты, отличающуюся большой производительностью.

Сварка нагретым газом Этот вид сварки получил широкое распространение благодаря простоте оборудования, относительной несложности технологического процесса и возможности соединения изделий практически любых размеров и конфигураций. Например, этот метод используют при изготовлении ванн, корыт, бункеров и других емкостей квадратной и прямоугольной форм.

Свариваемые изделия (а при сварке с присадочным материалом и сварочный пруток) нагревают подогретыми газами (например, воздухом, азотом, аргоном) или непосредственно продуктами сгорания горючего газа (ацетилен, водород) в воздухе (до температуры перехода полимера в

вязкотекучее состояние). Вследствие малой теплопроводности полимерных материалов до этой температуры нагревается лишь поверхностный слой, что достигается небольшими затратами тепла и времени.

Сварку нагретым газом можно, в принципе, свести к двум схемам - с применением присадочного материала и без него.

Сварка с применением присадочного материала. При сварке с применением присадочного материала в виде специального прутка (рис.9.1) нагретый газ, поступающий из мундштука горелки 1, размягчает кромки свариваемого материала 5 и конец прутка 2. Сварной шов 3 образуется путем надавливания на пруток к размягченным кромкам.

Механическая прочность сварной конструкции существенно зависит от выбора формы сварного шва.

При сварке непленочного материала газовыми теплоносителями наиболее рациональны стыковые соединения всех видов, угловые тавровые, торцовые и швы внахлестку.

При сварке встык относительно тонких листов или труб толщиной до 2 мм кромки не разделяются, а для обеспечения полного провара между

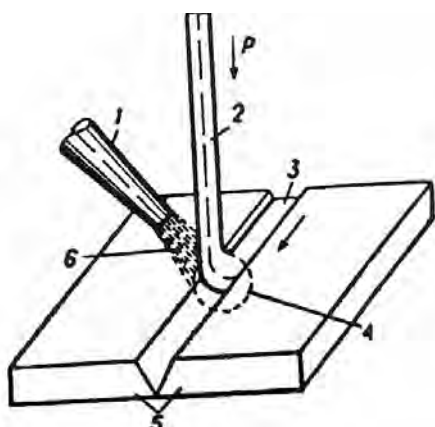


Рис. 9.1. Схема сварки пластмасс с применением присадочного материала:
1 - горелка; 2 - присадочный материал; 3 - сварной шов; 4 - околошовная зона; 5 - свариваемый материал; б - струя нагретого газа.

листами оставляется зазор, равный 1,0...1,5 мм. При сварке встык листов толщиной 2...6 мм выполняют V-образную и X-образную разделку кромок (рис. 14). Угол разделки кромки 55...60°. При больших толщинах рекомендуется увеличить его до 70...90°.

В стыковых соединениях листов толщиной свыше 5 мм осуществляют X-образную разделку кромок, как более экономичную и требующую почти в два раза меньше присадочного материала, чем V-образная разделка, и следовательно, сварка осуществляется за более короткий промежуток времени. Швы внахлестку при сварке нагретым газом применяют редко, так как прочность таких соединений при растягивающих и изгибающих нагрузках почти в 5 раз меньше прочности стыковых.

Сварка изделий с присадочным прутком при нагреве газовыми теплоносителями имеет следующие недостатки: низкая прочность и пластичность в сварном шве; низкая производительность, но при сварке изделий больших толщин; зависимость качества сварки от квалификации сварщика; возможность перегрева материала при сварке, что приводит к разложению полимера; потеря прозрачности полимерного материала, например органического стекла, в месте сварки; сложность автоматизации процесса.

Однако этот метод вследствие своей простоты широко применяется при изготовлении химической и другой аппаратуры из толстолистового винипласта, фасонных деталей и фитингов, при футеровке электролизных и травильных ванн и т.д.

Сварка без присадочного материала. Этот вид сварки дает возможность значительно повысить прочность соединения по сравнению с прочностью, достигаемой при сварке с присадочным материалом.

Для того чтобы изделие имело одинаковую толщину во всех сечениях, кромки листов перед сваркой срезают под углом 20°, затем листы

складывают по кромкам, которые равномерно нагревают подогретым воздухом. Непосредственно за струей нагретого воздуха следуют ролики, которые и создают необходимое давление, сами оставаясь при этом холодными. В зависимости от толщины листов скорость сварки составляет 12-20 м/ч, т. е. в 10...15 раз выше, чем при сварке с присадочным материалом.

Прочность сварных соединений достигает 89...90% от прочности основного материала, а ударная вязкость материала почти не изменяется. Перед сваркой необходима тщательная подготовка кромок. В настоящее время сварку без присадочного материала применяют только для листов.

Замена воздушного теплоносителя инертным газом (например, аргоном) предотвращает термоокислительную деструкцию полимера, что способствует достижению максимальной прочности шва (93...94%), но скорость сварки аргоном несколько ниже скорости сварки воздухом.

Оборудование для сварки нагретым газом. Сварку нагретым газом обычно осуществляют при помощи ручного нагревателя с газовым теплоносителем.

В зависимости от способа подогрева газа при сварке используют специальные специальные горелки: электрические и газовые. В электрических горелках нагрев газа осуществляется электрическими нагревательными элементами; в газовых - газовым пламенем. Нагрев может быть прямым или косвенным. В первом случае газ-теплоноситель смешивается с продуктами сгорания горючего газа, во втором передача тепла от продуктов сгорания к газу-теплоносителю происходит через стенку, разделяющую газовые потоки.

К достоинствам электрических горелок следует отнести простоту изготовления и отсутствие открытого пламени, что позволяет вести работы в помещениях, где воздух содержит пары легко воспламеняющихся веществ.

Недостаток горелок – наличие камеры для нагрева газа, которая утяжеляет горелку, увеличивает ее габариты и затрудняет работу в труднодоступных местах.

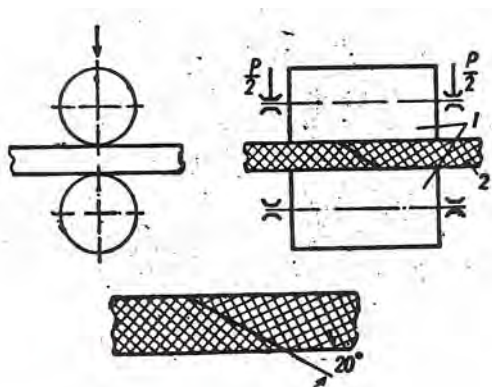


Рис. 9.3. Схема сварки без присадочного материала: 1 - ролики; 2 - изделие

При использовании электрической горелки сварочное оборудование состоит из горелки, компрессорной установки или баллонов со сжатым воздухом и источника питания электрическим током.

В монтажных условиях могут быть применены сварочные установки, в которых спираль электрической горелки питается током от аккумулятора, а воздух подается от автомобильного компрессора.

Газовые горелки косвенного нагрева получили довольно широкое распространение, несмотря на присущие им недостатки. В этих горелках нагревание воздуха осуществляется горючим газом (водородом, светильным газом, ацетиленом и др.)

По сравнению с электрическими газовые горелки более производительны, легче по весу и долговечнее. Срок службы газовых горелок при ежедневной восьмичасовой работе составляет полтора-два года. Недостатком газовых горелок является огне- и взрывоопасность применяемых газов. Это усложняет процесс сварки на месте монтажа и в закрытых сосудах.

В качестве горючего газа в ней используют ацетилен или водород при давлении 0,5...1 кгс/см². Возможность работы горелки в столь широком диапазоне давлений обеспечивается применением сменных инжекторов с различными диаметрами отверстия для истечения газа. Инжектор выбирают в зависимости от давления применяемого газа.

Горелка ГПП-1-56 дает возможность получать до 2,5...3 м³/ч и более нагретого до 250...300°С газа при избыточном давлении на входе в горелку не ниже 1 кгс/см². При этом расход ацетилена составляет 30...35 л/ч, а водорода 150...200 л/ч. Коэффициент использования тепла в горелке ГПП-1-56 достигает 92% и более при избыточном давлении газа-теплоносителя не ниже 1 кгс/см², но во всех случаях он примерно в 1,5 раза выше, чем у газовых горелок косвенным нагревом и у электрических горелок.

Кроме более высокой производительности и экономичности, горелка ГПП-1-56 обладает еще рядом преимуществ. Так, в процессе работы при нормальном режиме она не нагревается благодаря тому, что продукты сгорания и нагретый газ-теплоноситель не соприкасаются непосредственно с деталями горелки, а также вследствие того, что горелка охлаждается током холодного газа-теплоносителя.

Для сварки крупногабаритных изделий из полиэтилена разработана и выпущена машина МСП-2 - полуавтомат, который позволяет сваривать внахлестку прямолинейные и криволинейные (с большим радиусом кривизны) швы. Сварку производят без прокладок. Машину устанавливают на направляющей, и она движется вдоль стола по свариваемому материалу. Обогрев осуществляется газом-теплоносителем от специальной многосопловой электрической горелки, которая имеет 18 отверстий, расположенных на одной линии.

Технология сварки нагретым газом. Технология и режим сварки для каждого материала различаются в зависимости от состава полимерного

материала, его жесткости, температуры размягчения. Особенно широко сварка нагретым газом применяется при изготовлении сварных конструкций из винипласта.

Сварка винипласта. Винипласт не имеет определенной точки плавления. При температуре выше 80°C он размягчается, в интервале 200...220°C он переходит в вязкотекучее состояние. Температура сварки винипласта (200...220°C) находится вблизи критической точки, при которой начинается разложение материала. Поэтому в участках, нагретых до этой температуры, процесс разрушения прогрессирует из-за выделения хлора, действующего как катализатор. Химическая стойкость винипласта после сварки почти не изменяется.

Несмотря на кажущуюся простоту процесса сварки винипласта, получение качественного, высокопрочного и плотного сварного шва зависит от многих условий.

Оптимальная температура горячего воздуха в зоне сварки должна быть 200...220°C. Для получения ее воздух в горелке следует нагревать до 230...270°C, так как нагретый воздух несколько остывает, пока проходит между наконечником и свариваемой поверхностью. С повышением температуры воздуха увеличивается скорость сварки, а сварной шов становится более прочным. Температура газа-теплоносителя, °С -210 – 270, скорость сварки одностороннего шва, м/ч - 4,8 - 15,0

Разрушающее напряжение при растяжении X-образного шва, кгс/см² 140 - 170 Отношение прочности соединения к прочности основного материала, % 25 -30 . Нагревание воздуха выше 270°C приводит к разложению материала, но с другой стороны, сварка при температуре воздуха ниже 230°C не обеспечивает достаточной прочности сварного соединения. Следовательно, оптимальная температура горячего воздуха 230...270 °С.

Прочность и плотность сварного соединения зависят от формы шва. Сварные соединения, применяемые при изготовлении аппаратуры и изделий из винипласта, можно разделить на четыре основных вида (рис. 9.4). Для сварки встык применяют X и V-образную разделки кромок. Шов встык обладает наивысшей механической прочностью и наилучшей плотностью. Шов встык нашел широкое применение для сварки винипластовой аппаратуры, к которой предъявляются высокие эксплуатационные требования: герметичность, работа под давлением или вакуумом и т.д.

Шов внахлестку применяют с односторонней или двухсторонней приваркой. Он обладает по сравнению со швом встык гораздо меньшей механической прочностью: шов внахлестку нагружается изгибающим моментом, возникающим в результате того, что свариваемые листы не лежат в одной плоскости. Поэтому такой вид соединения допускается лишь в отдельных случаях, в частности при раструбном соединении труб на клею.

Соединение впритык выполняется однорядным или двухрядным швом. Для усиления механической прочности шва на одном из листов снимают фаски с одной или двух сторон. При соединении впритык свариваемые листы

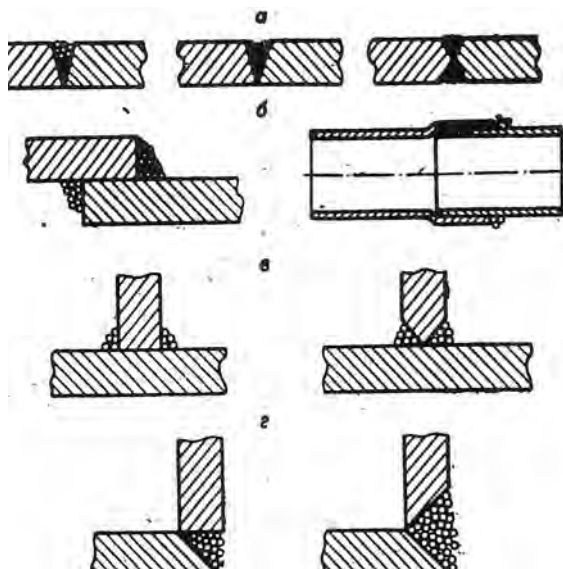


Рис. 9.4. Типы сварных пластмассовых соединений:

а - встык; б - внахлестку; в - тавровое (впритык); г - угловое.

винипласта должны плотно прилегать один к другому. Этот вид соединения применяют для перегородок, диафрагм, полок, устанавливаемых внутри баков, направляющих реек на плоскостях.

Соединить сваркой твердый винипласт горячим воздухом без подготовки швов практически нельзя. Разделка свариваемых кромок необходима и при сварке материалов небольшой толщины, например пленки толщиной до 1 мм. При сварке ни основной, ни вспомогательный материалы не становятся тянучими. Как уже отмечалось, они переходят лишь в размягченное тестообразное состояние. Таким образом, свариваемые кромки не оплавляются и не могут служить вспомогательным материалом, как это бывает при сварке тонких металлических листов.

При сварке твердого винипласта соединения внахлестку являются вообще крайне нежелательными. При растяжении в таких соединениях возникают большие усилия, так что прочность соединений становится очень незначительной.

У сварщиков существует правило: «Соединения, которые можно клепать, нельзя сваривать». Подготовка поверхности при сварке твердого винипласта осуществляется только механическим путем, т. е. отпиливанием, строганием, шлифованием или фрезерованием. Очень удобно использовать для подготовки граней дисковую пилу. Следует обращать особое внимание при подготовке свариваемых поверхностей на следующее:

- 1) необходимо со всей тщательностью следить за тем, чтобы свариваемые поверхности плотно прилегали друг к другу;
- 2) грани не должны быть надорванными или выкрошенными;
- 3) не должны использоваться замасленные инструменты.

Практика показала, что средняя скорость укладки сварочного прутка диаметром 3 мм при сварке электрической горелкой составляет 12...15 м/ч. При меньшей скорости сварки время нагрева увеличивается и может

произойти перегрев прутка и свариваемого материала. При большой скорости сварочный пруток и материал не успевают нагреться до температуры сварки, в результате чего снижается прочность сварочного соединения. В обоих случаях резко снижается прочность сцепления прутка с основным материалом.

Слабым местом в сварном соединении является корень шва. Поэтому при выполнении особо ответственных швов проводится подварка корня шва, что значительно улучшает качество сварного соединения. После окончания сварки шов должен медленно охлаждаться. Быстрое искусственное охлаждение шва, особенно при сварке листов толщиной более 10 мм, может привести к растрескиванию. После охлаждения и зачистки сварные швы проверяют на плотность.

Сварка полиметилметакрилата. Полиметилметакрилат сваривают струей нагретого воздуха при 200...220°C. Продолжительность нагрева до температуры сварки больше, чем у винипласта, поэтому скорость сварки почти в 2 раза ниже. В качестве присадочного материала используют нарезанные из листа прутки с поперечным сечением 7...12 мм². Для сварки плексигласа применяют также винипластовые прутки, которые лучше сцепляются с поверхностью изделия, чем прутки из плексигласа. Для лучшего сцепления присадочного материала с основным свариваемые поверхности рекомендуется предварительно протереть растворителем (ацетоном или дихлорэтаном). Прочность на разрыв сварных швов из плексигласа составляет в среднем 30...45% от прочности основного материала.

Сварка полиамидов. Полиамиды, в отличие от других полимеров, имеют четко выраженную температуру плавления. Введение пластификатора расширяет температурные пределы, в которых полиамиды размягчаются, поэтому пластифицированные полиамиды свариваются лучше, чем не

пластифицированные. Вследствие легкой окисляемости сварку полиамидов следует вести с применением азота в качестве газа-теплоносителя. В процессе сварки полиамидов нельзя перегревать материал из-за опасности термической деструкции, поэтому температура газа-теплоносителя должна быть не более чем на 30...50°C выше температуры плавления полимера.

Сварка полиэтилена. Листовой полиэтилен сваривают внахлестку (листы в месте размягчения плотно прижимают друг к другу с помощью ролика).

При использовании в качестве газа-теплоносителя воздуха прочность полиэтиленового сварного шва очень низка и составляет лишь около 15% от прочности основного материала, что обуславливается окислением полиэтилена в месте сварки кислородом воздуха.

Поэтому полиэтилен рекомендуется сваривать сжатым азотом при 200...220°C. Расстояние от наконечника горелки до свариваемой поверхности должно составлять 5...7 мм. Листы толщиной более 3 мм можно сваривать, применяя присадочный материал - сварочные прутки из полиэтилена. Оптимальный диаметр прутки для сварки полиэтиленовых пластин толщиной от 3 до 10 мм равен 3,5...4 мм.

Сварка полиизобутилена. Полиизобутилен получил наиболее широкое применение в технике как обкладочный материал для защиты аппаратуры от воздействия агрессивных сред.

Сварка чистого полиизобутилена крайне затруднительна. Это объясняется весьма низкой теплопроводностью материала: прежде чем он достигает необходимой пластичности, происходит его поверхностный перегрев. При введении же таких наполнителей, как графит и сажа, теплопроводность материала резко увеличивается. При смешении с наполнителями полиизобутилен обволакивает тонкой пленкой частицы наполнителя, в результате увеличивается поверхность нагрева.

Полиизобутилен сваривают так же, как и полиэтилен, т.е. разогревают свариваемые поверхности и одновременно прикатывают роликом. Его можно также сваривать с применением клея (№ 8 и 88), который предварительно наносят тонким слоем на свариваемые кромки. Сварку следует начинать после 2...3-часовой выдержки промазанных кромок (для набухания поверхности).

Сварка нагретым инструментом. Сварка нагретым инструментом - наиболее универсальный метод соединения изделий из полимерных материалов (полиэтилена, полистирола, полиизобутилена и др.). Метод заключается в том, что свариваемые изделия, соприкасаясь со специальным нагретым инструментом, разогреваются в местах соединения спрессовываются чаще всего под давлением того же инструмента.

В зависимости от применяемой оснастки сварка осуществляется различными нагревательными элементами: пластиной, электропаяльником, электроутюгом, нагретыми роликами и т. д.

Сварка горячей пластиной и электропаяльником. При этом методе сварки теплоносителем является нагретая металлическая пластина, помещенная между свариваемыми плоскостями, которая размягчает их. Затем металлическую пластину быстро удаляют, а поверхности соединяют и сдавливают. Чтобы исключить охлаждение разогретых поверхностей, время с момента удаления нагревателя до сдавливания поверхностей должно быть минимальным. Таким образом, сваривается встык или внахлестку одновременно вся поверхность соединения.

Для соединения эластичных при обычной температуре материалов применяют нагрев электропаяльником с последующей прикаткой роликом. Так можно сваривать тонкие заготовки жесткого материала или приваривать накладки толщиной до 4...5 мм к более толстому материалу.

За рубежом для сварки пленок используют машины с обжимными холодными роликами, которые расположены сверху и снизу свариваемых пленок.

Сварка нагретым роликом, лентой и утюгом. Пленочные материалы сваривают путем перемещения горячего инструмента - ролика, ленты или утюга - по поверхности соединения с одновременным сдавливанием пленок. Указанный метод требует строгого соблюдения режима сварки, так как при его нарушении возможен перегрев пленок.

Для полуавтоматической сварки крупногабаритных изделий из полиэтиленовой пленки толщиной 25...100 мкм разработана машина МСП-1 для сварки прямолинейных швов внахлестку. На машине установлены четыре сварочных ролика, закрепленные попарно и нагреваемые электрической спиралью из нихромовой проволоки. На роликах вращается лента, которая, нагреваясь, передает тепло через прокладку (целлофан или фторопласт) свариваемой полиэтиленовой пленке. Постоянный температурный режим поддерживается автоматически.

Для полуавтоматической сварки изделий из фторопластовых пленок толщиной до 500 мкм разработана машина МСП-4. Она позволяет сваривать прямо- и криволинейные швы внахлестку с большим радиусом кривизны. Сварка проводится при непосредственном контакте пленки с лентами, которые получают тепло от нагревательных элементов. Подача материала осуществляется этими же лентами, расположенными снизу и сверху.

10. СКЛЕИВАНИЕ

10.1. Механизм процессов адгезии при склеивании

Образования адгезионной связи имеет две стадии. На первой (транспортной стадии) происходит перемещение молекул адгезива (клеющего вещества, связующего) к поверхности субстрата (тело, на которое

наносится адгезив) и их ориентирование в межфазном слое, в результате чего обеспечивается тесный контакт между молекулами и функциональными группами молекул адгезива и субстрата. Протеканию первой стадии процесса адгезии способствует повышение температуры и давления, а также перевод одной из фаз (обычно адгезива) в жидкое состояние растворением или плавлением. Более тесный контакт между адгезивом и субстратом достигается после тщательной очистки взаимодействующих поверхностей.

Вторая стадия состоит в непосредственном взаимодействии адгезива и субстрата, обусловленное различными молекулярными силами. Силы ковалентных связей начинают действовать на расстояниях между атомами и молекулами, не превышающих 0,5 нм. Действие ионных и Ван-дер-ваальсовых сил проявляется на более дальних расстояниях – приблизительно от 1 до 100 нм. Межмолекулярным взаимодействием контактирующих фаз завершается процесс адгезии, что соответствует минимальной межфазной (поверхностной) энергии. При склеивании твердых тел на этой стадии происходит затвердевание адгезива. Затвердевание наиболее трудно поддается количественному описанию.

Максимальная адгезия твердых тел практически недостижима из-за неровности их поверхностей, соприкосновение которых происходит только в отдельных точках.

При контакте происходит затекание в поры и трещины поверхности твердого тела жидкого адгезива, который затем затвердевает, обеспечивая механическое зацепление тел или поверхностное смачивание. Согласно молекулярному (адсорбционному) механизму, адгезия возникает под действием межмолекулярных ван-дер-ваальсовых сил и водородных связей. Для такой адгезии приложимо известное правило сходства веществ по полярности: чем ближе по полярности адгезив и субстрат, тем более прочен контакт между ними. Электрическая теория связывает адгезию с

возникновением двойного электрического слоя на границе раздела между адгезивом и субстратом подобно электроконденсатору. Отслаивание, как и раздвижение обкладок конденсатора, вызывает увеличение разности электрических потенциалов, которое обуславливает прочность адгезионного контакта. Диффузионный механизм адгезии предусматривает взаимное проникновение молекул и атомов в поверхностные слои взаимодействующих фаз. Процесс диффузии приводит как бы к размыванию границы раздела фаз, взаимному их растворению в местах контакта. Отдельно выделяется механизм, обусловленный химическим взаимодействием при адгезии. В конкретных условиях один из механизмов может преобладать, чаще же механизм адгезии является смешанным.

Теоретическая оценка адгезии еще очень приближена, что объясняется несовершенством уравнений, по которым рассчитываются силы межмолекулярных связей, невозможностью оценить реальное число связей, приходящееся на единицу площади (оно всегда меньше теоретического, что говорит о возможности уравнения прочности соединения) и истинную площадь контакта фаз, которая может быть намного больше визуальной наблюдаемой благодаря наличию шероховатостей в поверхностном слое. Для обеспечения прочности соединения шероховатость часто увеличивают путем специальной обработки поверхностей материалов.

Адгезионную прочность экспериментально определяют при непосредственном разрушении соединения. Прочность адгезионного контакта зависит от смачивания. Смачивание – это поверхностное явление, заключающееся во взаимодействии жидкости с твердым или другим жидким телом при наличии одновременного контакта трех несмешивающихся фаз, одна из которых обычно является газом (воздухом). Степень смачивания количественно характеризуется краевым углом (углом смачивания). При нанесении небольшого количества жидкости, например капли, на

поверхность другой жидкости, имеющей большую плотность, или на поверхность твердого тела можно наблюдать два процесса, если приводимые в контакт вещества взаимно нерастворимы. В одном случае нанесенная жидкость остается на поверхности другой фазы в виде капли, принявшей при установившемся равновесии определенную форму. В другом случае капля растекается по поверхности.

Поверхностная энергия твердого тела, стремясь уменьшиться, вызывает растяжение капли по поверхности. Эта энергия равна поверхностному натяжению твердого тела на границе с воздухом σ . Межфазная энергия на границе твердого тела с жидкостью стремится, наоборот, сжать каплю и поверхностная энергия уменьшается за счет снижения плотности поверхности. Растеканию препятствуют когезионные силы, действующие внутри капли. Действие когезионных сил направлено от границы между твердой, жидкой и газообразной фазами по касательной сферической поверхности капли (силы гравитации не учитываются). Угол Θ , который образован касательными к межфазным поверхностям, ограничивающим смачивающую жидкость, имеющий вершину на линии раздела трех фаз, называется *краевым углом*, или *углом смачивания*.

10.2. Клеящие вещества, герметики и технологии склеивания

10.2.1. Синтетические клеи

В настоящее время в промышленности для соединения материалов широко применяют различные клеи, что объясняется существенными преимуществами клеевых соединений во многих случаях по сравнению с заклепочными, болтовыми, сварными и другими видами креплений.

Склеиванием можно соединять между собой разнородные материалы, при этом не увеличивается масса изделий, исключаются операции изготовления отверстий, внешняя поверхность получается гладкой, обеспечивается герметичность швов, напряжения в соединениях распределены более равномерно.

Различают следующие клеи: специального назначения, проявляющие избирательную адгезию к каким-либо определенным материалам; универсальные, характеризующиеся хорошей адгезией к различным материалам; клеи-растворители, осуществляющие процесс склеивания за счет растворения поверхности склеиваемых материалов.

Современные клеи в большинстве случаев представляют собой композиции из высокомолекулярных веществ.

В зависимости от области применения клеи можно разделить на следующие группы:

1) для склеивания металлов и пластмасс, а также металлов с неметаллическими материалами - универсальные клеи БФ-2, БФ-4, карбинольный клей, а также клеи марок ПУ-2, . ПК-5, ВК-32-2000, ВК-32-ЭН., Л-4, ВС-10Т;

2) для склеивания резины и резины с металлом - клеи лейкопат, термопрен, БФ-10, 88-Н, 4508 и др.;

3) для склеивания слоистых пластиков (текстолита, гетинакса), пенопластов, а также древесных материалов-смоляные клеи ВИАМ-Б-3, КБ-3, УНИПС-2, К-1?, казеиновый авиационный В-1 05 и др.;

4) для приклеивания тканей к дереву - нитроклей АК-20, тканей к дереву и металлу - перхлорвиниловый клей КВК-2а, теплозвукоизоляционных материалов к металлу, алюминиевой фольги к прорезиненной ткани - клей глифталевый АМК;

5) для склеивания органического стекла и приклеивания к нему других материалов - клей ВК-32-70, В-31-Ф9 и др.

К недостаткам клеевых соединений относятся: ограниченная теплостойкость шва (до 400 градусов), которая зависит главным образом от органической природы клеев и склеиваемых материалов; относительно низкая прочность при неравномерном отрыве; необходимость нагрева изделий при склеивании большинством клеев; старение клеевых соединений.

Следует отметить, что прочное клеевое соединение можно получить лишь при тщательной подготовке поверхностей перед склеиванием.

Широко применяются клеи на основе вязких и твердых эпоксидных смол. **Эпоксидные смолы** отличаются высокой адгезией к металлам, пластмассам, стеклам, керамике и другим материалам. Кроме того, эпоксидным смолам и клеям характерна малая объемная усадка при отвердевании, что повышает прочность клеевого шва. Эпоксидные клеи могут отвердевать при 20°C и выше (120...170°C) - клеи горячего отвердевания.

Эпоксидные жидкие смолы необходимо перед склеиванием смешивать с отвердителями. Из эпоксидных клеев широко применяют клеи на основе смол ЭД-15, ЭД-16, ЭД-20, представляющих собой жидкие сиропообразные массы, в которые вводят 15...20 % отвердителя - полиэтиленполиамина.

Полиэтиленполиамин - жидкость, хорошо смешивающаяся с жидкой эпоксидной смолой. Приготовленный клей пригоден к применению в течение 2..3 ч, по истечении этого времени он начинает сильно загустевать и постепенно превращается в твердое вещество. Поэтому отвердитель (полиэтиленполиамин) следует вводить в смолу непосредственно перед работой. На предварительно приготовленные и очищенные поверхности наносят один слой клея, которому дают подсохнуть на воздухе в течение 10...30 мин. Затем склеиваемые поверхности соединяют под давлением

0,1...0,2 МПа. Отвердевание клеевого шва происходит при +20 градусов в течение 18 ч. Для обеспечения более крепкого шва необходима

С целью повышения теплостойкости и снижения остаточных напряжений в клеевых швах в клеи вводят наполнители: пылевидный кварц, цемент и металлические порошки (серебра, меди и др.). Клеи с введенными в них меташщескими порошками называют контактолами. Введенные порошки позволяют поаучить клеевые швы с большой проводимостью. Это необходимо при склеивании токопроводящих металлических деталей в электрических аппаратах и приборах.

Эпоксидные клеи могут быть в виде порошка. Порошкообразный клей наносят тонким слоем на предварительно нагретые (100...120°C) поверхности склеиваемых металлических или пластмассовых деталей. При применении клея в виде прутка им натирают нагретые поверхности. В остальном технология склеивания не отличается от описанной ранее для жидких эпоксидных клеев.

Эпоксидные клеевые швы выдерживают температуры от - 60 до +100 градусов.

Следует отметить, что отвержденные эпоксидные клеевые швы и клеи БФ обладают хорошими электрическими характеристиками.

Отвержденные швы эпоксидных клеев стойки к влаге, бензину и смазочным маслам

Резиновые клеи. Резиновыми клеями называют растворы различных каучуков и (или) резиновых смесей в органических растворителях (бензин «Галоша», этиладетат и др.) с добавлением или без добавления легирующих компонентов. По температуре отверждения подразделяют клеи горячей вулканизации (100...150 °С) и холодного отверждения (15....20 °С).

Резиновые клеи предназначены для склеивания резины с резиной, резины с металлами, древесиной, стеклом и другими материалами.

Применяют их также в качестве адгезионной (склеивающей) прослойки при нанесении резиновых герметиков, гуммировании металлов и ремонте резиновых и резинокомбинированных изделий.

Например, клей 4508 - раствор резиновой смеси на основе натурального каучука в бензине- предназначен для склеивания изделий на основе каучуков общего назначения с последующей вулканизацией; клей 88-Н - раствор резиновой смеси на основе наирита и бутилфенолоформальдегидной или другой смолы в смеси этилацетата и бензина, -применяется для приклеивания холодным способом резины к металлам, стеклу и другим материалам, а также для склеивания резины с резиной.

Термопрен - продукт обработки натурального каучука. Поставляется в виде твердых листов от темно-коричневого до черного цвета, толщиной до 6 мм. Для образования клея растворяют термопрен (при 15...20°С) в бензине «Галоша» или авиационном (марки Б-70 или Б-78) в соотношении 1:2 -по массе. Предназначен для приклеивания невулканизированной и вулканизированной резины (на основе натурального и натрий-бутадиенового каучуков) к стали, алюминиевым сплавам, латуни с последующей вулканизацией. Клей Г И П К-214 - смесь наирита, хлорнаирита и фенолоформаль-дегидной смолы в толуоле. Основное назначение - приклеивание деревозаменителя к вакуумметаллизированным изделиям в автомобилях. Клей .NQ 200, .NQ 3051 и .NQ 4010 - растворы резиновых смесей на основе натурального каучука и регенерата в бензине «Галоша» - предназначены для автомобильной промышленности.

Клеи N2 200 и N2 3051 применяют при склеивании вулканизированной резины с картоном, металлом, дерматином, сукном, бязью, кожей и ковровой тканью без последующей вулканизации. Клей N2 4010 - при склеивании вулканизированных резин (на основе каучуков общего назначения), текстиля,

картона с неокрашенными и окрашенными металлами при нормальной температуре и для герметизации оконных проемов.

Герметики - материалы и изделия, обеспечивающие влаго- и воздухонепроницаемость стыковых сопряжений деталей и сборочных единиц машин.

Герметизирующие составы на резиновой основе подразделяют на вулканизирующиеся и невулканизирующиеся, невысыхающие и высыхающие.

Вулканизирующиеся герметики представляют собой жидкие или вязкотекучие пасты, поставляемые комплектно с отвердителями (вулканизаторами), переходящие в процессе вулканизации в эластичные Газо- и гидронепроницаемые резиноподобные тела, хорошо заполняющие уплотняемые ими соединения.

Наиболее универсальными и распространенными являются тиколовые герметики.

У-30М - герметик. Поставляют комплектно в виде пасты черного цвета и ускорителя вулканизации (дифенилгуаанидин), смешиваемые непосредственно перед употреблением. Применяют с клеевым подслоем. Предназначен для герметизации металлических (кроме латунных, медных, серебряных) и других соединений, эксплуатируемых в среде разбавленных кислот и щелочей, жидкого топлива при температурах от -60 до +130 во всех климатических зонах. *И1-30МЭС-5* и *И1-30МЭС-10* - комплект: паста черного цвета *У-30Э-5* и *У-30Э-10*, вулканизатор и ускоритель вулканизации. Применяют без подслоя. Предназначен для герметизации болтовых, заклепочных и других металлических соединений. *УТ-32* -используется без подслоя для герметизации болтовых, заклепочных и других металлических соединений. *ВИТ ЭТ -2* - светло-серая вязкотекучая паста ТФ-2, вулканизатор В-2 и ускоритель вулканизации. Эти и другие марки герметиков

предназначены для герметизации соединений, находящихся в среде жидкого топлива или воздуха.

Герметики на основе силоксанового каучука (ВИКСИНТ-у-1-18, ВИКСИНТ-у-2-28, ВИКСИНТ-у-4-21, К-18 и др.) характеризуются высокой эластичностью, гибкостью в широком диапазоне температур от -60 до 250 °С, стабильностью свойств при длительной эксплуатации в условиях резкого перепада температур, колебаний погодных условий, гидрофобностью и газонепроницаемостью.

К невулканизирующимся герметикам относятся 51-Г-10 и 51-Т-П. Их используют для гуммирования металлических поверхностей и в качестве подслоя под футеровку. Технология их применения такова. На защищаемую поверхность наносят грунтовочный слой. Для получения грунта герметики растворяют до вязкости 30 с по вискозиметру 83-4. Толщина грунтовочного слоя составляет 90... 100 мкм. Грунт высушивают в течение 40...60 мин при температуре 20 С.

На грунтованную поверхность наносят покрытие толщиной 1,0...1,5 мм. Время сушки каждого слоя - 1,5...2,0 ч при температуре +20 градусов.

Невысыхающие герметики - термопластичные невулканизируемые замазки, пасты, мастики - предназначены для уплотнения соединений, периодически разбираемых. При герметизации, а также при разборке их нагревают до 30...50 ос, но не выше 70° С.

Высыхающие герметики имеют в своем составе органические растворители, при испарении которых образуется пластичная пленка, которая может быть повторно растворена. Предназначены для герметизации неразбираемых сопряжений.

11. ЛАКОКРАСОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Лакокрасочные защитные и декоративные материалы - многокомпонентные составы, способные при нанесении тонким слоем на поверхность изделий высыхать с образованием тонкой пленки, удерживаемой силами адгезии. От других видов защитных покрытий они выгодно отличаются, простотой нанесения и надежностью. В настоящее время ими защищают от коррозии более 80 % всех металлических изделий. Вместе с тем после окраски изделия приобретают некоторые специальные свойства: электроизоляционные, теплозащитные и др.

Главные составные части каждого лакокрасочного покрытия - пленкообразующее вещество и пигмент.

Пленкообразующее вещество - основной компонент лакокрасочного материала, который определяет консистенцию состава, прочность, твердость и долговечность образующейся пленки. В качестве пленкообразующего вещества используют синтетические и натуральные полимеры, растительные масла.

Пигменты - цветные высокодисперсные порошки, нерастворимые в воде, пленкообразующем веществе и растворителе. От них зависит цвет покрытия и его долговечность.

В высококачественном лакокрасочном покрытии размер частиц пигмента не должен превышать толщины высохшей пленки.

К основным свойствам лакокрасочных материалов относятся: цвет, вязкость, скорость высыхания, укрывистость, токсичность, пожароопасность и срок службы покрытий.

Цвет определяется пигментом и тоном пленкообразующего вещества.

- Вязкость лакокрасочного материала имеет большое значение при выборе способа нанесения его на покрываемую поверхность и существенно влияет на качество покрытия.

Каждый материал имеет соответствующую рабочую вязкость. При пониженной вязкости качество покрытия улучшается, хотя повышается его пористость и уменьшается кроющая способность. При повышенной вязкости увеличивается толщина покрытия, не обеспечивается равномерность слоя.

Быстрое высыхание - одно из важнейших свойств лакокрасочного покрытия. *Укрывистость* лакокрасочных материалов зависит от степени перетирания пигмента и наполнителей и вязкости материала. Чем тоньше перетерта краска, тем лучше кроющая способность. Токсичность и пожароопасность являются отрицательными свойствами большинства лакокрасочных материалов и определяются огнеопасностью и токсичностью летучих паров применяемых растворителей и отвердителей.

Срок службы лакокрасочных покрытий зависит от вида окрашиваемого изделия, адгезионной способности, состояния поверхности, качества лакокрасочного материала, правильного его выбора и соблюдения технологии нанесения.

По признаку убывающей адгезионной способности металлы, например, располагаются в следующем порядке: никель, сталь, медь, латунь, алюминий (не анодированный), олово, свинец.

По составу и назначению лакокрасочные материалы подразделяют на лаки, эмали, краски, грунтовки и шпатлевки.

Лак - раствор твердого натурального пленкообразующего вещества (канифоль, шеллак, асфальт) и искусственных смол.

При добавлении в лак от 50 до 100 % пигмента (красителя) получают эмали.

Краски - продукт смешивания (перетирания) в различных пропорциях сухих красителей и наполнителей с жидким пленкообразующим веществом.

Грунтовка - смесь красителей (50...70 %) и наполнителей (тальк, мел) в масляных или синтетических пленкообразующих веществах. Применяется в качестве первого слоя для создания прочного сцепления покрытия с окрашиваемой поверхностью, должна заполнять все неровности и поры материала.

Шпатлевки готовят из лаков с добавлением большого количества пигмента и наполнителя (обычно мел)- до 400 % массы пленкообразующего вещества. Отличаются высокой вязкостью. Наносят на грунтованную поверхность для ее выравнивания.

По виду пленкообразующего вещества лакокрасочные материалы классифицируют и обозначают следующим образом: АС - алкидно-акриловые, АУ - алкидноуретановые, АЦ - ацетилцеллюлозные, АБ - ацетобутиратцеллюлозные, БТ - битумные, ВН - винил- и дивинил - ацетиленовые, ГФ - глифталевые, КФ - канифольные, КЧ - каучуковые, КО - кремнийорганические, КТ - ксифталевые, МА - масляные, МЧ - мочевиновые, НЦ - нитроцеллюлозные, ПФ - пентафталевые, ХФ - перхлорвиниловые и поливинилхлоридные, АК - полиакриловые, АД - полиамидные, ВА - поливинилацетатные, -винилхлоридные, ВС - сополимеро-винилацетатные, ФА - фенолоалкидные, ФЛ - фенольные, ФП - фторопластовые, ЭП - эпоксидные, ЭФ - эпоксиэфирные и др.

По применению лакокрасочные материалы делятся на группы в зависимости от условий работы (атмосферостойкие, водостойкие, термостойкие и др.).

Отнесение лакокрасочного материала к одной из групп не исключает возможности его применения для других целей. Как правило, рассматриваемые материалы имеют обозначение из пяти букв и цифр.

Например: лак ВТ-783, ВТ - битумный, 7 - химически стойкий, 83 - порядковый номер. Эмаль ХВ-113 голубая, ХВ - перхлорвиниловая, 1 - атмосферостойкая, 13 - порядковый номер, голубая - цвет эмали;

Краска МА-25 зеленая, МА - масляная, 2 - ограниченно атмосферостойкая, 5 - комбинированная олифа, зеленая - цвет краски.

Грунтовка ГФ-020: ГФ - глифталевая, 0-грунтовка, 20 - порядковый номер, красно-коричневая - цвет грунтовки;

Шпатлевка ЭП-001: О - красно-коричневая, ЭП - эпоксидная, 00 - шпатлевка, 1 О - порядковый номер, красно-коричневая - цвет шпатлевки.

12. НЕРАЗРУШАЮЩИЕ ИСПЫТАНИЯ МАТЕРИАЛОВ

Классические методы механических испытаний весьма далеки от совершенства . Задача, которую они решали, - выявление характеристик деформационных процессов и измерение ряда физических, точнее квазифизических (их обычно именуют механическими), констант и параметров. Все эти «константы» и «параметры» довольно условны, а потому не только не универсальны, но и мало сопоставимы. Например, «твердость» стали, измеренную методом Бринелля, нельзя сравнивать с «твердостью» другого материала, измеренной на том же прессе Бринелля, измерение твердости по методу Роквелла фактически отображает предельное напряжение сдвигу при пластической деформации.

Физические методы неразрушающих испытаний и контроля (ФМНК) имеют отличительную особенность. Методология классических испытаний состоит в том, чтобы исследовать один параметр, однопараметровую функцию, т.е. стремятся задачу свести к «черному ящику» с одним входом и с одним выходом. При использовании ФМНК, наоборот, стремятся получить как можно больше выходных сигналов при одном (редко двух) воздействиях на испытуемый объект, а затем отыскивают однозначное соответствие между

актуальным свойством и видом сигнала. Поэтому даже при одном испытании можно получить информацию о множестве свойств испытуемого объекта. Так, имеются автоматические установки, сортирующие трубы сразу по шести параметрам.

Основная идея ФМНК металлов - сбор информации о свойствах «внутренней области» исследуемого объекта. В терминах кибернетики исследуемое изделие можно рассматривать как черный ящик, как правило, с одним воздействием и множеством видов откликов. Импульсы воздействия воспринимаются черным ящиком, он формирует многоголосый отклик который поступает в блок обработки и анализа сигналов. С помощью анализатора мы можем получить данные о множестве свойств испытуемого объекта.

Принципиальная блок-схема ФМНК содержит следующие элементы: генератор импульса и датчик воздействия на испытуемый объект, датчик восприятия откликов, блок их обработки и анализа и систему индикаторов, самописцев и датчиков сигналов в цепи обратной связи, их учета и автоматизации.

В кибернетической схеме ФМНК воздействия на испытуемый объект в целях получения информации о его структуре и состоянии представляют собой зондирующие материальные «потoki» элементарных частиц, физических полей, конденсированных сред (атомно-молекулярных структур) - они не изменяют химическую структуру испытуемого объекта.

Воздействия реализуются при помощи технических средств генерации того или иного зондирующего потока.

Они классифицированы, промышленность выпускает соответствующие приборы. Все эти приборы гарантируют стопроцентный контроль качества изделий, позволяют заменить разрушающие механические испытания на физические, неразрушающие.

Каждый ФМНК имеет определенные области рационального применения, возможности, ограничения и недостатки.

Потоки частиц проникают в вещество неглубоко и поэтому используются для, измерения толщины бумаги, картона, кожи, резины, металлической фольги и т. п. Измерители, работающие с этими потоками, хотя и выпускаются серийно и устанавливаются на поточных линиях, тем не менее требуют строгих мер предосторожности при эксплуатации.

Рентгеноскопия жесткими лучами, пригодна при выявлении внутренних дефектов в толстых слитках, поковках, слябах, блюмах толщиной в 200...500 мм. Методы чрезвычайно опасны, требуют особых мер предосторожности (специальные помещения, защитные стены, ширмы, служба охраны). Отсюда ограниченность их возможностей - металлургические заводы, заводы тяжелого машиностроения.

Рентгеновские установки, вырабатывающие потоки меньшей проникающей способности, широко используются для контроля качества сварных соединений, стальных листов толщиной до 100 мм. С их помощью выявляют рыхлоты шва и неметаллические включения в поперечнике более 1 мм. Рентгеновские установки могут быть стационарными и переносными. Метод высокопроизводителен, хотя и не особо эффективен: не удается обнаружить многих дефектов в сварном шве и примыкающем к нему металле (остаточные - сварочные - напряжения, непровар, нераскрытые трещины и пр.).

Еще более мягкие рентгеновские лучи - также используют для анализа металлических структур; в подшипниковой промышленности. С их помощью, например, оценивали аустенитные структуры. Они удобны и для локального анализа остаточных напряжений.

В технике ультракоротких волн преобладают волноводы различного профиля. Распространение, затухание, отражение радиоволн сантиметрового диапазона зависят от чистоты обработки внутренней поверхности волновода,

нарушений сплошности и структурных неоднородностей в окрестности поверхности, что пытаются использовать при контроле различных объектов. Метод малопроизводителен, ограничен в возможностях и почти не применяется.

Магнотриксционный метод удобен при выявлении поперечных трещин в стальных штангах и прутках. Но таких трещин в 20...30 раз меньше, чем продольных, и, естественно, что в практике он не применяется.

Контактные электрические измерения используют, когда необходимо «выловить» приповерхностные трещины, отверстия в тонких листах или определить электропроводность полупроводниковых материалов. Созданы устройства с несколькими электродами: на материал подается напряжение, измеряется или протекающий ток, или омическое сопротивление. Для надежности контакта электроды делают острыми, или локально испытуемый объект заливают электролитом, в который электроды и помещают. Метод малоэффективен, диапазон его применения невелик.

Магнитно-порошковый способ выявления трещин известен с начала нашего века, прост в исполнении, нагляден, но недостаточно достоверен. Его достоверность - 67%. Это значит, что 33 % от общего количества дефектов пропускается.

Магнитная дефектоскопия использует два физических явления: образование неоднородности магнитного поля в окрестности дефекта; сохранение дипольности магнита. Ферромагнитные частицы притягиваются к дефектам металла как к полюсам магнитов именно из-за этих явлений.

При любых надрезах в ферромагнетике образуются полюса. Поле возле трещин или острых вершин называется полем рассеивания (ПР). Если намагниченное тело имеет трещину, неоднородность структуры, большой градиент остаточных напряжений, то в их окрестности обязательно имеется ПР. Магнитные силовые линии всегда замкнуты. Ферромагнитные частицы в

окрестности ПР становятся магнитными и притягиваются к краям трещины как к полюсам магнита.

Магнитно-порошковый метод позволяет обнаружить и подповерхностные дефекты, если они находятся на глубине 2...3 мм, в этом одно из его преимуществ.

Напряженность тела внутри детали (индукция) обусловлена, как известно, не только внешним полем, но и магнитной проницаемостью, и геометрией самой детали.

При повышении температуры тела и внутренних механических напряжений магнитная проницаемость уменьшается. При температуре стали 1071 К ферромагнитные свойства полностью исчезают - это точка Кюри. Если деталь имеет концентратор реологических напряжений (при волочении прутков, теплой прокатке труб, в ходе косоволоковой правки и т. д.) или неоднородное поле температур, то возможны явления взаимной компенсации магнитных ПР от нарушения сплошности и ПР от реологических напряжений. Обнаружить дефект в этом случае невозможно - основной недостаток магнитно-порошкового метода.

Магнитно-порошковая дефектоскопия проходит пооперационно. Прежде всего, очищают поверхность испытуемого образца, затем его намагничивают, посыпают магнитным порошком или поливают ферромагнитной эмульсией, выявляют дефекты, очищают поверхность и, наконец, размагничивают.

Наиболее употребительны при эксплуатации и ремонте установки, работающие на переменном токе. Они просты и безопасны, основное в них - понижающий трансформатор. Чем выше ток, который можно получить от установки, тем выше ее эксплуатационные достоинства. С помощью переменного тока можно реализовать намагничивание трех типов: продольное, поперечное и циркуляционное. Циркуляционное поле

эффективно при анализе на продольные трещины, способ этот наиболее распространен. Значения мощности и плотности тока при намагничивании детали должны быть большими. Чтобы уменьшить габарит намагничивающих установок и их электрических устройств, нужно использовать импульсный режим.

Магнитно-порошковый метод отличает ряд достоинств: простота эксплуатации (как методика контроля, так и уход за оборудованием), дешевизна, эффективность выявления нарушений сплошности по всей поверхности несложной детали, причем за одну операцию, иными словами, высокая производительность, безопасность использования и т. д. Но есть и недостатки - об одном мы уже сказали, остальные - постоянный расход порошка и эмульсии, неоднозначность показаний - не всегда можно определить вид дефекта, (а, следовательно, и степень его опасности), а зачастую и сам дефект в деталях сложной формы. И, тем не менее, с его помощью с успехом проверяют изделия из электропроводящих и ферромагнитных материалов сравнительно простой формы - стержни, полосы, листы, участки резервуаров и трубопроводов, валы и т. д. - как видим, область применения весьма широка.

Магнитно-графический метод контроля. Индикация трещин как полюсов магнита с помощью намагниченных частиц, прочно закрепленных связующими на неферромагнитных материалах (пластмассы, резина). Чем меньше размер ферромагнитных частиц, тем лучше качество ферромагнитной пленки. Качество частиц определяется двумя магнитными параметрами: коэрцитивной (задерживающей) силой и максимальной индукцией намагничивания.

Чтобы приготовить пленки, нужен порошок с малой площадью петли гистерезиса и малой энергией намагничивания, но со сравнительно большой коэрцитивной силой. Магнитная пленка должна быть эластичной (с незначительным модулем упругости), чрезвычайно прочной.

Выявить поля рассеивания можно и иными способами, например, используя отклонение электронного луча (эффект Холла), взаимодействие магнитных и электрических полей - последнее широко используется в промышленности. Датчики при этом методе - феррозонды, т. е. соленоиды с ферромагнитным сердечником, работающие на переменном токе. Феррозонд весьма чувствителен, поэтому его применение многообразно - для технических целей, обнаружения затонувших предметов, аэроразведки месторождений и пр. Но при дефектоскопии стальных штанг, труб, рельсов во время эксплуатации он показал себя недостаточно эффективным.

Самый древний и самый популярный способ дефектоскопии - *звуковой, акустический*. Даже в век электроники, лазерной техники, атомно- и магнитно-резонансных измерений рабочие на железной дороге судят о состоянии колес по звуку от удара молотком с длинной ручкой по ободу. На одном из европейских автомобильных заводов термическую обработку до сих пор оценивают на слух, по звуку удара детали о стальную плиту. Как ни странно, это качественно лучше, чем испытания методами Роквелла или Бринелля (не создается концентраторов напряжений). Однако метод субъективен, не поддается аппаратурному оформлению, малопроизводителен и архаичен.

Ультразвуковая дефектоскопия - изобретение советского ученого С. Я. Соколова. Она широко используется в промышленности для определения нарушений сплошности (трещины, раковины, расслоения и т. п.), измерения толщины стенок резервуаров, труб, оценки величины зерна жаропрочных сталей, фона неметаллических включений в сердцевинной части штанг и в сварных швах, модулей упругости или плотности исследуемых изделий. Объектами же исследования могут быть крупные поковки, стальные отливки, слябы, блюмы, слитки, валы, трубы, штанги, прутки, проволока, рельсы, листы, т.е. изделия сравнительно простой формы.

Ультразвуковой метод основан на исследовании распространения механических колебаний ультразвукового диапазона от 20 кГц до 200 МГц. Для ультразвуковых колебаний справедливы многие законы геометрической оптики. Поэтому для характеристики их распространения привлекается понятие луча. Этот луч отличается следующим: малый угол распространения, свойства, близкие к свойствам оптического луча (например, он также отражается от стен и - дефекта).

Ультразвуковой луч преломляется на инородных включениях и рассеивается, т. е. ослабляется его интенсивность. Оценивая изменения энергии, можно получить информацию о мелких дефектах - порах, рыхлотах, неметаллических включениях и т. д. Чем незначительнее эти дефекты, тем выше должна быть частота ультразвука.

В основу устройств, излучающих ультразвук, положены два физических явления: прямой и обратный пьезоэлектрический эффект, или электрострикция. *Пьезоэлектрический эффект* наиболее контрастно проявляется у некоторых веществ (кварц, пьезокерамика и т. д.) асимметричной структуры кристаллов. Датчик, вырабатывающий ультразвуковые колебания, питается током ультразвуковой частоты. Пьезокварцевая пластинка должна колебаться с резонансной частотой, что прямо зависит от величины ее диаметра и толщины. Чем выше частота ультразвука, тем меньше должны быть диаметр и толщина. При обратном пьезоэлектрическом эффекте силовое воздействие на пьезокристалл ведет к появлению на его торцах электрических зарядов: образуется разность потенциалов, и при замыкании цепи в ней появляется ток. Частота его соответствует частоте внешнего силового воздействия. Такое устройство является индикатором (датчиком, щупом, искательной головкой), преобразующим механические колебания любой частоты в электрический ток частоты поступающих импульсов. В качестве измерительного прибора используется элеэронно-лучевая трубка.

Отечественная промышленность выпускает около 40 различных ультразвуковых дефектоскопов. Качество контакта при этом зависит от шероховатости и загрязненности образца, перекоса головки относительно поверхности и т. д. Кроме того, ультразвуковой контроль не позволяет выявить мелкие дефекты (несколько миллиметров) или дефекты, расположенные вдоль луча; не всегда ясна геометрия дефекта, очень трудно обследовать сложные поверхности (резьбовые, шлицевые, шпоночные соединения, маломодульные зубчатые шестерни, галтели и т. д.), определять расстояние между параллельными плоскостями. Ультразвуковой контроль возможен только тогда, когда ультразвуковой луч возвращается к индикатору.

На автомобильных, тракторных, подшипниковых, станкостроительных, метизных, моторостроительных и других заводах массового и серийного производства, а также в энергетике, на транспорте, строительстве успешно применяются *электромагнитные токовихревые методы* контроля. Это объясняется их разнообразными достоинствами.

При анализе откликов вихревого тока в испытуемом объекте используются «вредные» для многих электротехнических устройств токи Фуко. С их помощью находят нарушения сплошности, оценивают химический состав металла, т. е. рассортировывают его по маркам, устанавливают металлографическую структуру основного металла, определяют величины зерна, структурных включений, химико-термического воздействия на приповерхностные слои сталей, измеряют упругие константы, твердость, прочность, различного вида внутренние напряжения, в том числе остаточные.

Кроме того, метод позволяет анализировать: кинетику потери устойчивости стальных стержней произвольной формы, усталостных процессов в образцах, нагруженных циклически; измерять усилия и крутящие моменты в стержнях; выявлять остаточные напряжения в стальных

листах после их сварки и интеркристаллитную коррозию; оценивать вязкостное (внутреннее) трение в сталях; измерять толщину покрытий - неметаллических на металле, металлических на не металле, металлических на металле и определять толщину стенки бесконтактным способом, измерять размеры (например, диаметр трубы) и контактными - линейными и угловыми размерами в весьма широком интервале; оценивать шероховатость поверхности: «высоту» электролита или металла за металлической или неметаллической стенкой; прогнозировать потерю устойчивости стержней - элементов металлических конструкций; долговечность (усталостные разрушения) и многое другое.

Как видим, метод весьма универсален. Эта универсальность обусловлена тем, что все реологические, магнитные и электрические свойства - производные электродинамических полей. Электроны вихревого потока, «блуждая» по этим полям, воспринимают информацию о них. Они пересекают кристаллические и металлографические структуры, дислокационные и доменные поля, спонтанно образующиеся замкнутые области реологических структур (реомены), огибают нарушения сплошности и пр. Однако имеются и определенные ограничения. Прежде всего, при настройке приборов требуется высокая квалификация обслуживающего персонала. Приходится также учитывать (или компенсировать) влияние зазора между поверхностью исследуемого объекта и рабочим торцом датчика. Имеется и такой факт, как сравнительно небольшая глубина проникновения вихревых токов. И, наконец, необходимо строго координировать расположение деталей внутри датчика.

Достоинства же метода очевидны: это необычайно широкая область применения, «бесконтактность» испытаний, высокая производительность при массовом контроле и объективность такого контроля, его непрерывность и всеобщность.

Следует отметить высокую надежность и «неизнашиваемость» элементов токовихревой аппаратуры (приборы-автоматы в цехах непрерывно работают более 10 лет). На результаты измерений или оценок в подавляющем большинстве случаев не влияют шероховатость, загрязнения, окраска, отклонения от геометрической формы, колебания температурного режима. При современном уровне развития техники контроль проводят даже при температуре 1450 К, тогда как, скажем, ультразвуковые головки эксплуатируют при температуре не выше 320 К.

Вихревой ток в физическом смысле - это циркуляция электронов, индуктивно возбужденная внешним электромагнитным полем в сплошных массивах электропроводящего вещества. Напомним в связи с этим некоторые понятия электродинамики. Вихревые токи всегда замкнуты, всегда направлены так, что их электромагнитное поле «противоположно» электромагнитному полю, возбудившему их. Плотность этих токов неравномерна по сечению испытуемого объекта: максимальная - всегда в приповерхностном слое, минимальная - в центре детали (это явление называется скин-эффектом). Между поверхностью и центром плотность вихревых токов изменяется монотонно.

Эффективная глубина проникновения вихревых токов-условное понятие, удобное для сопоставлений: это глубина, при которой максимальная плотность (плотность тока на поверхности) убывает в 2,72 раза. Чем выше частота электромагнитного поля, а, следовательно, и вихревого тока, тем ее величина меньше. Эффективная глубина проникновения тока частотой 50 Гц - 2...3 мм, а глубина выявления дефектов может быть равна 8 мм. Глубина выявления дефектов - функция не только скин-эффекта, но и тока, и чувствительности измерительной системы.

Обычно в комплект токовихревого прибора входит: источник питания, датчик, анализатор импульсов, усилитель импульсов, индикаторная система,

сигнальные автоматические устройства; при наличии электронно-лучевого индикатора-генератор развертки. Вихретоковые преобразователи, можно классифицировать на охватывающие или проходные (испытуемый объект полностью или частично находится внутри датчика), накладные. (приставные) располагаются рядом с испытуемым объектом, внутренние (их помещают внутрь детали, изделия), разъемные (охватывающие).

Датчики - это по сути две катушки: полесоздающая и индикаторная. В зависимости от целей исследования датчики могут работать в двух основных режимах: оценки структуры (или ее состояния), выявления трещин (трещины и другие нарушения сплошности увеличивают омическое сопротивление). Конструкционные стали в основном ферромагнетики (за исключением жаропрочных и некоторых нержавеющей), их ферромагнитные свойства обусловлены как химическим составом, так и структурой кристаллической решетки, т. е. зависят от термической обработки, внутренних (остаточных) напряжений, температуры, интеркристаллитной коррозии и др. Следовательно, по изменениям магнитной проницаемости можно рассортировывать металл по маркам, оценивать эффективность термической обработки, измерять твердость, прочность и анализировать внутренние напряжения и другие реологические параметры.

Чтобы оценить многие параметры, характеризующие структуру, целесообразно пользоваться таким токовым режимом работы датчика, при котором магнитная проницаемость изменяется в самых широких пределах. Этот прием эффективен в слабых и средних магнитных полях.

Регулируя питание полесоздающей катушки, можно получить такую напряженность внутри нее и такую индукцию в испытуемом образце, что магнитная проницаемость станет незначительной. Поэтому структура образца и ее состояние не скажутся на ЭДС индикаторной катушки. Стало быть, изменение амплитуды тока индикаторной катушки отобразит нарушения сплошности, (например, трещины).

Охватывающие датчики весьма эффективны. Они очень чувствительны, не контактируют с деталью, т. е. величина зазора может колебаться в широких пределах.

Кроме того, они не реагируют на изменение размеров деталей в пределах 5...7-го класса точности, на несоосное расположение деталей; скорость перемещения детали внутри датчика может достигать 3...6 м/с.

Наладные датчики применяют для определения качества ферромагнитных, электропроводящих материалов, толщины покрытия электропроводности цветных металлов и их сплавов.

Накладные датчики, несмотря на их малые размеры и массу, универсальны - для них не значимы форма, габарит испытуемых образцов. Но, они очень чувствительны к величине зазора, точность измерения зависит от состояния поверхности, а глубина проникновения вихревых токов на порядок ниже, чем охватывающих датчиков.

При работе с током в 50 Гц, т. е. когда датчик непосредственно присоединен к сети, к последней предъявляются повышенные требования: частота тока, напряжение должны строго соответствовать ГОСТу. В общем случае индикаторная катушка токовихревого датчика дает сложный сигнал, который целесообразно представить как суммы простых, для чего служит анализатор импульсов.

Дефектоскопы с накладным датчиком измеряют всего один параметр и потому индикаторами в них служат стрелочные приборы (милливольтметры разных классов чувствительности). В дефектоскопах же с охватывающими датчиками в качестве индикаторных устройств используют электронно-лучевые трубки. Первая развертка - сигнал в виде синусоид разной сложности, сумма ряда синусоид (количество измеряемых параметров информации - максимальное), вторая - фигуры Лиссажу, третья - реализация метода точки (2 параметра).

Анализ с помощью синусоид наиболее универсален и употребителен. Фигуры Лиссажу удобны при контроле качества цветных металлов и нержавеющей сталей с хорошей электропроводностью, но со слабо выраженными магнитными свойствами. Наконец, метод точки применяется при работе с изделиями низкой электропроводности и слабо выраженными магнитными свойствами.

Магнитные свойства материала определяются не только магнитной проницаемостью, но и другими магнитными параметрами, геометрией детали. Чем выше размагничивающий фактор, тем хуже интегральные (общие) магнитные свойства детали. Чем длиннее деталь, тем меньше размагничивающий фактор. При отношении диаметра к длине 1 к 20 он близок к нулю. Чем деталь ближе к форме диска, тем труднее ее намагнитить. Если деталь имеет сферическую форму и малую длину, то для ее исследования с помощью ФМНК нужны сильные магнитные поля или высокая частота тока (то же и для материалов с плохой магнитной проницаемостью и электропроводностью). Известны дефектоскопы марок: БИЭП, ПМП-4, ЭНИИП-59, а также серия автоматов ЭМИД-6, АСК -102, -103, -104, -105, -106, -201, -202), с помощью которых контролируют в лабораторных и цеховых условиях качество прутков, труб, штанг, деталей различных форм и размеров с поперечником от 3 до 500 ММ почти по всем параметрам. Принцип действия приборов типа ЭМИД-4 - сравнение электродинамических свойств испытуемого объекта и эталона.

При определении степени интеркристаллитной коррозии, обезуглероживания, химико-термических воздействий и в ряде других случаев одну деталь разрезают, чтобы получить опорную точку для количественной оценки перечисленных параметров. Во многих современных лабораториях испытания материалов уделяется большое внимание статистическим методам оценки их прочностных параметров. Они полез,

особенно при испытаниях сталей, так как разброс результатов нередко велик (несмотря на то, что образцы берутся из прутков в данной партии.). Однако физические методы могут значительно повысить культуру и точность испытаний металлов как неразрушающих, так и разрушающих на три-четыре порядка.

Под дефектом понимается технически недопустимое отклонение свойств испытуемого объекта от норм предусмотренных ГОСТом или ТУ на изготовление или ремонт изделия. Все виды дефектов классифицируются следующим образом:

- отклонение номинальных размеров и правильной геометрической формы - недостаточная толщина стенки, малая толщина покрытия, занижение размеров сечения,
- отклонение от рациональной микрогеометрии поверхности - большая шероховатость, зазубрины, или другого рода изъяны на поверхности,
- нарушение сплошности, т. е. трещины, расслоения, рыхлоты, раковины и т. д.,
- интеркристаллитная коррозия и коррозия других видов,
- нежелательная металлографическая структура неблагоприятная величина зерна или форма его, не та кристаллическая решетка, которая необходима для технологии или эксплуатации (например, соответственно сфероидальный перлит вместо пластинчатого перлита или троостит вместо мартенсита),
- некачественная химико-термическая обработка, т. е. обезуглероживание поверхности, недостаточная глубина цементации).

Дефекты в металле заготовок необходимо выявить в первую очередь. Дефекты, которые обнаруживаются при механической обработке и сборке с точки зрения применения физических методов неразрушающего контроля, также целесообразно рассматривать в физическом аспекте. Соответствующие

метод и средства контроля выбираются в зависимости от физических свойств и размеров детали, характера выявляемого брака, локальности дефекта и его расположения. Разновидности технологических процессов существенно не влияют на выбор ФМНК. Поэтому изложенные выше сведения общего характера одинаково справедливы для широкого класса форм и размеров испытательных образцов, деталей машин и транспортных средств, а также для подавляющего большинства методов и целей испытания.

К числу свойств, важных при выборе ФМНК. относятся: электропроводность; магнитные особенности (ферро-, пара- или диамагнитные); габарит; форма; толщина; проницаемость для потоков физических полей, элементарных частиц и вещества; структура (например, волокнистый или монолитный пластик, пористость и пр.); упругость и плотность; состояние контролируемой поверхности и ее микро- и макрогеометрия и т. д.

Прежде чем приступить к испытаниям на прочность разрушающим или неразрушающим, - необходимо, как уже говорилось, проконтролировать образцы по ряду параметров. И, прежде всего на соответствие их химического состава заданным техническим условиям.

Чтобы рассортировать металл по маркам, необходимо провести методические исследования – отыскать оптимальный режим настройки приборов ЭМИД-3, .4, -8 или их полупроводниковых модификаций _ автоматического структуроскопа ВС-ЮП или ВС-20П.

Оптимальные режимы (когда контролируемые образцы резко отличны по внешнему виду осциллографических картин и когда они имеют несущественные отличия в этих картинах) определяются лишь экспериментальным путем. Как правило, всегда удается рассортировать таким методом образцы даже стыкующихся марок сталей.

Метод эффективен для определения тех марок сталей, для работы с которыми цеховые приборы (например, стилоскоп) и методы заводской химической лаборатории требуют значительных временных затрат или недостаточно точны. Например, определение количества углерода в заводской практике классическими методами занимает 4-8 ч, а при наличии ЭМИДа - 2 с. Причем точность результатов в заводской лаборатории $+0,05\%$, методом вихревого тока - $+0,02\%$.

Оптическая спектроскопия - это анализ электромагнитных коротковолновых излучений с длинами волн в интервале 3000...8000 А. Метод анализа откликов токов Фуко, по сути, тоже анализ электромагнитных спектров, но не в оптическом, а в низкочастотном диапазоне (101...105 Гц). Выявлять основные металлографические структуры и контролировать качество химико-термической обработки целесообразно с помощью ФМНК. Например, количество остаточного аустенита определяют, сравнивая значения магнитного насыщения эталонного образца со 100% содержанием ферромагнитной фазы и насыщением испытуемых образцов с различным содержанием остаточного аустенита. За эталон берут нормально захалеванный образец, отпущенный при 523 К в течение 3 ч: за это время остаточный аустенит полностью распадается. Условно принимают, что в эталоне содержится 100% мартенсита: (разница в содержании и составе карбидной фазы не учитывается).

Для массового контроля стальных деталей на остаточный аустенит был разработан и внедрен прибор ЭНИИПП-58. С его помощью проверяется качество термической обработки одновременным измерением магнитного насыщения и коэрцитивной силы. Это позволяет с одного установка отобрать детали с перегревом, с нарушением режима охлаждения в процессе закалки (с повышенным содержанием остаточного аустенита), детали, недогретые перед закалкой.

Определение величины зерна и текстуры металла и его контроль можно осуществить при помощи ультразвукового дефектоскопа ДСК-1. Принцип – анализ диссипации энергии ультразвукового луча высокой частоты 10...11 кГц. Для выявления мелких зерен и неметаллических включений удобна частота 19,5 кГц (прибор «Кретц-1000», Австрия).

Трудно выявлять стыкующиеся структуры, например, образцы, имеющие мартенсит и троостит. Для этих случаев прибор ЭМИД-4 однозначно выявляет ее в объеме и не на «подожженной» поверхности образца, что подтверждено практикой. ФМНК выполняют оценку степени полноценности химических процессов (степени науглероженности, барирования, нитрирования, цианирования и т. д.), глубины насыщения. Сходные приборы широко применяются для этих целей и за рубежом (во Франции, ФРГ, Англии, США, ЧССР и др.).

Трудности определения режимов настройки и подбора эталонов искупаются большой экономией материалов и труда, а также скоростью контроля – 2...3 с на деталь против 4...8 ч при определении, например, глубины цементации классическими металлургическими методами.

Если химико-термическая обработка осуществлена во внутренних полостях, для контроля качества материала целесообразно воспользоваться прибором БИЭК-59. Он анализирует внутренний скин-эффект, т. е. возбуждение вихревого тока в приповерхностном слое ферромагнитного и электропроводящего материала.

Прибор БИЭК-59 предназначен для определения качества термообработки (структуры) деталей из ферромагнитных сталей - в кольцах, кольцеобразных поковках и подобных изделиях. Это электромагнит с развернутым магнитопроводом. В центре магнитопровода помещена первичная обмотка, через которую питаются индикаторные катушки, размещенные на его концах. Испытуемое кольцо помещают между

первичной и одной из индикаторных катушек, вторую индикаторную катушку при помощи специального устройства перемещают по магнитопроводу в ту или другую сторону до тех пор, пока указатель прибора не окажется на нуле. Кольца различной структуры имеют различное сопротивление и потому по-разному воздействуют на магнитопровод и индикаторную катушку.

Серийно выпускаются приборы микротвердомеры, локально и точно определяющие твердость.

Библиографический список

1. *Фетисов Г.П., М.Г. Карпман.* Материаловедение и технология металлов. М.: Высшая школа, 2002, 637 с.
2. *Общий курс строительных материалов* П/ред. *Рыбьева И.А.*. М.: Высшая школа, 1987. 583 с.
3. *Амитан Г.А.* Электрофизические и электрохимические методы обработки. М.: Машиностроение, 1988. 717 с.
4. *Лахтин Ю.М.* Материаловедение. М.: Машиностроение, 1993. 528с
5. *Заднепровский Р.П.* Рабочие органы землеройных и мелиоративных машин и оборудование для разработки грунтов в условиях повышенной влажности . М: Машиностроение, 1992. 180с
6. *Заднепровский Р.П.* О трении скольжения и физическом состоянии тел // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2006. № 6. С. 60-66

7. *Бодяко М.Н., Астапчик С.А* Сверхтвердые материалы в технике. М.: Знание, 1971. 51 с.
8. *Карпов В.С.* Влияние видов смазки и условий испытаний на трение различных материалов // Актуальные вопросы трибологии: сб. науч. тр. т.1, Самара, СамГУ, 2007. С. 210-214.
9. *Анциупов А.В.* Оценка и повышение износо-стойкости поверхностей трения фрикционных сопряжений // Актуальные вопросы трибологии: сб. науч. тр. т.1, Самара, СамГУ, 2007. С. 20-27.
10. *Ковшов А.Г.* Физическая модель разрушения поверхности трения // Актуальные вопросы трибологии: сб. науч. тр. т.1, Самара, СамГУ
11. *Михайлов И.Г.* Основы молекулярной акустики. М.: Наука, 1964. С. 115-163
12. *Крагельский И.В.* Трение и износ. М.: Машиностроение, 1968. 479 с.
13. *Применение пластмасс: Справочник / Сост. Е.И. Каменев* М.: Химия, 1985. 445 с.
14. *Миличенко С.С. и др.* Сварка и свариваемые материалы: Справочник в 2-х т./ М.: МВТУ им. Н.Э.Баумана, 1996. 368 с.
15. *Заднепровский Р.П.* Об эффективности и перспективах использования нанокремниевых микродобавок для строительных смесей// *Строительные материалы* ,2011,№8. С.22-25
16. *Лебедев Г.А.* Напыление, сварка, склеивание. М.: Химия, 1973. 102 с
17. *Никифоров Г.Д.* Технология сварки. М.: Машиностроение, 1978
18. *Шестаков С.А.* Конструкционная сварка взрывом / ВолГАСУ, Волгоград. 2007. 159 с.
19. *Нанонаука и наноматериалы с позиций химии, физики, материаловедения.* П/ред Р.П.Заднепровского, Л.М. Семеновой, А.О. Литинского. Волгоград: ВолГУ, 2008, 180с.

20. Заднепровский Р.П. О рациональном фракционном составе многокомпонентных смесей с учетом дисперсности и энергоактивности микро- и наночастиц// Строительные материалы, 2010, №2(ч.1) С.33-35: №6 (ч.2). С.18-42

21. Гораздовский Т.Я. Неразрушающий контроль. М: Знание,1972, 53с

Учебное издание

**Заднепровский Рэм Петрович,
Дяшкин Андрей Владимирович**

**МАТЕРИАЛЫ:
ФИЗИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА
И ИХ РЕГУЛИРОВАНИЕ**

Учебное пособие

В 2-х частях

Часть 2

Публикуется в авторской редакции

Подписано в свет 04.07.2012. Гарнитура «Таймс».

Уч.-изд. л. 11,3. Объем данных 1,9 Кбайт.

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего профессионального образования
«Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет»
<http://www.vgasu.ru>, info@vgasu.ru