



Раздел I. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ

Тема 3.3. Пластмассы, герметики и клеи.

Занятие №1.

Учебные вопросы:

1. Общие сведения о пластмассах. Классификация пластмасс
2. Компоненты пластмасс
3. Конструкционные пластмассы: волокнит, текстолит, стеклотекстолит, гетинакс. Свойства, способы изготовления, применение
4. Фрикционные пластмассы

1. Общие сведения о пластмассах. Классификация пластмасс

Пластмассами называют вещества обычно органической природы, способные при определенных условиях, под влиянием нагревания и давления переходить в пластическое состояние и принимать желаемую внешнюю форму.

Основой авиационных пластмасс являются синтетические смолы (связующее вещество); кроме того, в их композицию могут входить наполнители (ткани, волокнистые вещества, минеральные порошки), пластификаторы (смягчители), красители и другие вещества.

Целью введения наполнителей является повышение механических свойств (прочности, жесткости, твердости, теплостойкости), улучшение антифрикционных и фрикционных характеристик и в ряде случаев — снижение стоимости пластмасс.

Синтетические смолы представляют собой высокомолекулярные продукты (полимеры), получаемые путем реакций полимеризации или поликонденсации. К числу важнейших преимуществ пластмасс необходимо отнести следующие, типичные для большинства из них.

1. Малую плотность (1,4—2,0, а в некоторых случаях — значительно меньше, порядка 0,02—0,05 г/см³).

2. Легкость обработки давлением, что дает возможность серийного производства совершенно одинаковых деталей. Отпадает необходимость обработки резанием, внешней отделки, окраски и других трудоемких операций.

3. Хорошие технологические качества — обрабатываемость резанием, склеиваемость, свариваемость.

4. Высокая коррозионная стойкость и устойчивость против загнивания.

5. Малая теплопроводность; многие пластики являются хорошими теплоизоляционными материалами и успешно используются для защиты от солнца и действия высоких температур, развивающихся в условиях эксплуатации.

6. Высокие механические качества; по значению удельной прочности многие пластмассы стоят выше высокопрочных авиационных сплавов. Используя принцип направленности волокон наполнителя, удалось, например, получить пластмассы по значениям прочности ($\sigma_b \sim 90$ кг/мм²), не уступающие сталям, но в 4 раза более легкие.

7. Большая, по сравнению с металлами, стабильность свойств при нагревании.

8. Наличие специальных свойств — свето- и радиопрозрачности, эластичности, электроизоляционных, фрикционных, антифрикционных и других.

К числу недостатков пластмасс как конструкционных материалов следует отнести их низкую динамическую сопротивляемость, сравнительно малый модуль упругости, недостаточную теплостойкость, а также склонность к старению, выражающемуся в повышении хрупкости под влиянием тепла, солнечных лучей и других факторов.

Пластмассы можно классифицировать по различным признакам.

1. По отношению к нагреванию их делят на термореактивные и термопластичные.



2. По типу связующей смолы; в настоящее время известно большое количество разнообразных синтетических смол с различными свойствами.

К числу важнейших термореактивных смол, помимо фенольно-формальдегидных, относятся мочевино-формальдегидные и меламино-формальдегидные, а также разработанные в последнее время эпоксидные, полисилоксановые и полиэфирные смолы.

Число термопластичных смол значительно больше. К ним относятся полиакриловые, поливинилхлоридные, полистироловые, полиэтиленовые и тому подобные смолы. Термопластичными свойствами обладают также эфиры целлюлозы (нитроцеллюлоза, ацетилцеллюлоза), производные фторэтилена (фторопласты) и полиамидные смолы.

3. По типу наполнителя различают пластмассы с наполнителями:

- **слоистым** (стеклоткань, хлопчатобумажная ткань, бумага, асбестовая ткань);
 - **волокнуистым** (древесная мука, хлопковые очесы — линтер, стеклянная пряжа, асбестовое волокно);
 - **крошкообразным** (обрезки ткани, древесного шпона, лепестки слюды);
 - **порошкообразным**, обычно минеральным (гипс, слюда, кварц, каолин).
- Существуют пластмассы и без наполнителя.

4. По применению можно различать следующие группы пластмасс:

- **конструкционные** (в основном слоистые) — для силовых деталей летательных аппаратов;
- **пластмассы на основе пресспорошков и волокнуистых наполнителей** — для несилловых деталей;
- **светопрозрачные** — для остекления летательных аппаратов;
- **электроизоляционные и радиопрозрачные;**
- **прокладочные и уплотнительные;**
- **теплоизоляционные;**
- **фрикционные;**
- **кислотоупорные, химостойкие;**
- **облицовочно-декоративные.**

Часто одна и та же пластмасса обладает свойствами, характерными для различных групп. Например, слоистый пластик — текстолит — может служить одновременно конструкционным, электроизоляционным и прокладочным материалом.

В дальнейшем изложении пластмассы группируются по наиболее характерным признакам с учетом их эксплуатационных, технологических и других наиболее отличительных особенностей.

2. Компоненты пластмасс

Пластмассы получают из связующего вещества, наполнителя, вводя в состав исходной массы специальные добавки — пластификаторы, отвердители, стабилизаторы и красители.

Связующим веществом в пластмассах служат различные полимеры — синтетические смолы и каучуки, производные целлюлозы. Выбор связующего вещества в значительной мере определяет технические свойства изделий из пластмасс: теплостойкость, способность сопротивляться воздействию растворов кислот, щелочей и других агрессивных веществ, а также характеристики прочности и деформативности. Связующее вещество — это обычно самый дорогой компонент пластмассы. Исходный материал для получения полимера — природный газ и так называемый «попутный» газ, сопровождающий выходы нефти.

Наполнители представляют собой разнообразные неорганические и органические порошки и волокна. Наполнители значительно уменьшает потребность в дорогом полимере и тем



самым многим удешевляют изделия из пластмасс. Кроме того, наполнители улучшают ряд свойств изделий — повышают теплостойкость, а волокна ткани и листовые материалы сильно повышают сопротивление растяжению и изгибу, действуя подобно арматуре в железобетоне.

Пластификаторы — это вещества, добавляемые к полимеру для повышения его высокоэластичности и уменьшения хрупкости. В виде пластификаторов могут использоваться некоторые низкомолекулярные высококипящие жидкости.

Отвердители — ускоряют процесс отверждения пластмасс.

Стабилизаторы — способствуют сохранению структуры и свойств пластмасс во времени, предотвращая их раннее старение при воздействии солнечного света, кислорода воздуха, нагрева и других неблагоприятных условий.

Красители — в качестве красителей пластмасс применяют как органические (нигрозин, хризоидин и др.), так и минеральные пигменты — охру, мумие, сурик, ультрамарин, белила и др. Придают цвет.

Для производства пористых пластмасс в полимеры вводят специальные вещества — **порообразователи (порофоры)**, обеспечивающие создание в материале пор.

3. Конструкционные пластмассы: волокнит, текстолит, стеклотекстолит, гетинакс. Свойства, способы изготовления, применение

Слоистые термореактивные пластмассы

В слоистых пластиках наполнителями служат различные слоистые материалы, преимущественно ткани. К их числу относятся:

- **стеклотекстолит** — стеклянная ткань, пропитанная смолой;
- **стеклопластики с ориентированным стекловолокном**, пропитанным смолой;
- **текстолит** — хлопчатобумажная ткань, пропитанная смолой;
- **гетинакс** — плотная бумага, пропитанная смолой;
- **асботекстолит** — асбестовая ткань, пропитанная смолой.

В качестве связующего вещества широко применяются термореактивные фенольно-формальдегидные смолы.

Стеклопластики

К слоистым стеклопластикам относятся стеклотекстолит и СВМ (стекловолокнистый анизотропный материал).

В настоящее время наиболее распространенным слоистым авиационным пластиком является стеклотекстолит.

Необходимое для изготовления стеклопластиков стеклянное волокно получают путем вытягивания расплавленного бесщелочного стекла при 1200—1400° через тонкие отверстия (фильеры) с большими скоростями.

Тонкие стеклянные волокна обладают очень большой прочностью; так, волокно диаметра 2—3 мк имеет предел прочности при растяжении 500—600 кг/мм².

С увеличением диаметра изолированных стеклянных волокон их прочность падает. Однако, в сочетании со смолой наибольшая прочность волокон отвечает некоторому оптимальному значению диаметра. Поэтому практически применяют стеклянное волокно диаметром 5—15 мк.

Для изготовления стеклотекстолита стеклянную ткань, полученную из стекловолокна, подвергают пропитке связующей смолой в условиях горячего прессования.



Таким же методом получают другие слоистые пластики (текстолит, гетинакс и т. п.).

Общие свойства стеклотекстолита

Плотность стеклотекстолита разных марок колеблется от 1,5 до 1,9 г/см³. Стеклотекстолит значительно прочнее текстолита и гетинакса и принадлежит к числу наиболее прочных авиационных пластиков; стеклотекстолит новейших марок имеет предел прочности на растяжение $\sigma_B = 47—49$ кг/мм².

Удельная прочность σ_B/d стеклотекстолита выше, чем высокопрочных алюминиевых сплавов и сталей. Модуль упругости его сравнительно невелик: $E = 1400—2200$ кг/мм².

Стеклотекстолит обладает высокой стойкостью к воде, керосину, бензину и авиационным маслам, имеет хорошие электроизоляционные и теплоизоляционные свойства. Может обрабатываться резанием, склеиваться и склепываться.

При нагревании прочность стеклотекстолита снижается, однако теплостойкость сильно зависит от времени и условий воздействия тепла. При сокращении времени работы допустимая температура применения значительно повышается. Например, стеклотекстолит СК-9Ф может использоваться:

- при 250° — в течение 200 час;
- при 350° — в течение 5 час;
- при 400° — в течение 2 час;
- при 600° — в течение 10 мин;
- при 800° — в течение 2 мин.

В условиях одностороннего нагрева эти температуры еще больше возрастают, что объясняется малой теплопроводностью стеклотекстолита. По сравнению с теплопроводными металлами и сплавами, стеклопластики имеют в этом отношении несомненное преимущество.

К недостаткам стеклотекстолита следует отнести малый модуль упругости, низкое сопротивление удару и пониженный предел усталости.

Авиационный стеклотекстолит

Стеклотекстолит первых марок — КАСТ (конструкционный авиационный стеклотекстолит), КАСТ-В и разработанные позже СТ-39 и СКМ-1 отличались сравнительно низкими прочностными характеристиками и невысокой теплостойкостью. Для них типичные значения предела прочности на растяжение не превышали 30—33 кг/мм², а температура длительной эксплуатации составляла не более 200°.

Позже появились новые марки стеклотекстолита: ВФТ-С, СТ-911С и ЭФ-32-301, предел прочности которых достиг значений 40—43 кг/мм², однако теплостойкость этих стеклотекстолитов существенно не повысилась.

В последние годы были разработаны еще более прочные и вместе с тем более теплостойкие стеклотекстолиты, предел прочности которых на растяжение, равный 45—49 кг/мм², достиг уровня наибольших значений для высокопрочного дуралюмина. Эти новейшие стеклотекстолиты могут длительно (свыше 200 час) эксплуатироваться при более высоких температурах порядка 250°.

Применение стеклотекстолита

В конструкции самолета стеклотекстолит может быть использован для изготовления силовых элементов — обшивки фюзеляжа и крыла, нервюр, лонжеронов, стрингеров, а также деталей оперения — элеронов, закрылков, триммеров, законцовок киля и различных мелких деталей — лючков, коробок и т. д. В этих случаях стеклотекстолит может применяться отдельно или в сочетании с легкими заполнителями — пенопластами или сотовыми материалами. Возможно изготовление из стеклотекстолита деталей противообледенительной системы самолета (экраны и др.).



В топливной системе стеклотекстолит применяется для изготовления контейнеров самолетных топливных баков, защитных плит между баками, вертикальных стабилизаторов для сбрасываемых баков, упругих мембран топливных агрегатов.

В авиационных двигателях из стеклотекстолита изготавливаются лопатки компрессора и диски компрессора (первые ступени); в этих случаях применение стеклотекстолита вместо стали, алюминиевых или титановых сплавов выгодно не только благодаря большей легкости его, но также вследствие лучших демпфирующих свойств.

В электро- и радиооборудовании стеклотекстолит широко используется для обтекателей радиолокационных антенн, диэлектрических решетчатых зеркал и радиопрозрачных вставок (окон), а также, вместо текстолита и гетинакса, для ряда электроизоляционных деталей, работающих при повышенных температурах.

Следует указать на применение стеклотекстолита в конструкции каркаса вертолетов, а также в ракетной технике.

СВАМ (стекловолокнистый анизотропный материал)

Для изготовления стеклопластиков типа СВАМ в качестве наполнителя используют ориентированное стекловолокно, не ослабленное круткой или переплетением. Листовой материал, получаемый пропиткой такого направленного волокна фенольно-бутварными или эпоксидными смолами, иногда совмещенными с другими, представляет собой стеклошпон.

Стеклошпон можно получать любой толщины — от тончайших диэлектриков толщиной 10 мк до листов значительно большего сечения, используемых в конструкционных материалах. Свойства стеклошпона неодинаковы в различных направлениях.

Путем горячего прессования листов стеклошпона получают слоистый анизотропный стеклопластик — стеклофанеру. Обычно листы шпона располагают друг к другу под углом 90°.

Свойства СВАМ изменяются в зависимости от соотношения числа продольных и поперечных слоев шпона. Так, при соотношении 1:1 — $\sigma_b = 46\text{—}50 \text{ кг/мм}^2$, а при соотношении 10:1 — $\sigma_b = 85\text{—}95 \text{ кг/мм}^2$ (в продольном направлении). Для СВАМ (10:1) модуль упругости $E = 5800 \text{ кг/мм}^2$ при плотности $d = 4,9 \text{ г/см}^3$.

Необходимо отметить необычно высокое значение предела прочности СВАМ (до $\sigma_b = 95 \text{ кг/мм}^2$) и соответственно большую величину удельной прочности ($\sigma_b / d = 48$), которые значительно превышают все известные характеристики прочности конструкционных авиационных неметаллических материалов; следует, однако, подчеркнуть, что такие предельные значения могут быть получены в изделии лишь в определенном направлении.

Анизотропные стеклопластики типа СВАМ отличаются высокими диэлектрическими характеристиками, большой водо- и теплостойкостью, сопротивляемостью действию нефтепродуктов и химически активных веществ.

Их можно, подобно стеклотекстолиту, использовать для изготовления деталей конструкционного и радиотехнического назначения. В частности, листы из СВАМ могут применяться для силовых или теплоизоляционных панелей с легким наполнителем, например, пенопластом.

Текстолит и гетинакс

Текстолит и гетинакс представляют собой слоистые пластики на основе фенольных смол. В текстолите такими смолами пропитывается хлопчатобумажная ткань, а в гетинаксе — сульфатная бумага.

Эти материалы получают в виде листов, плит, стержней или труб также методами горячего прессования.

По своим свойствам текстолит и гетинакс довольно сходны. Они обладают высокой стойкостью к воде и нефтепродуктам, хорошими диэлектрическими качествами, легко обрабатываются резанием и склеиваются.

Различают текстолит плиточный, гибкий (прокладочный), электротехнический, электроизоляционный, панельный, поделочный.



Гетинакс в настоящее время применяется только для деталей электро- и радиоаппаратуры.

Конструкционный текстолит несколько прочнее гетинакса и менее гигроскопичен, но уступает ему по электроизоляционным свойствам.

Текстолит используется для изготовления выравнивающих и уплотнительных прокладок, амортизационных подкладок, законцовок, силовых бобышек, роликов для тросов, панелей, щитов, приборных досок, мелких деталей электрорадиоаппаратуры.

Из гетинакса выделяются электроизоляционные детали — панели, щиты, трубки, цилиндры, детали радиоаппаратуры и электроспецоборудования.

Термореактивные пластмассы на основе пресспорошков и волокнистых материалов

По композиции эти материалы состоят из смолы, наполнителей, пигментов, смазок и других добавок. В качестве смол наиболее широко применяют фенольно-формальдегидные и кремнийорганические.

Наполнителями служат волокнистые или порошкообразные вещества, например древесная мука, хлопчатобумажные, асбестовые или стеклянные волокна, целлюлоза, молотый кварц, слюда и другие.

Из пластиков методами обычного (компрессионного) или литьевого прессования получают готовые детали, почти не требующие дополнительной отделки. Прессованию предшествуют операции получения пресс-порошков и таблетирования. Режимы прессования зависят от состава пресспорошка, размеров изделия и типа прессования. Для большинства пластмасс температура прессования составляет 150—180°, а время выдержки 1—2 мин на каждый миллиметр сечения изделия. Давление в условиях обычного прессования равно 250—350 кг/см², а при литьевом прессовании — 600—700 кг/см².

Пластики на основе пресспорошков

К этим пластикам относятся прессматериалы на основе фенольно-формальдегидных или анилино-формальдегидных смол типа карболита, монолита и т. п., а также аминопласты на основе мочевино-формальдегидной смолы.

Основой большой группы фенольно-формальдегидных пластиков, содержащих в качестве наполнителя древесную муку, являются пресспорошки К-18-2, К-21-22, К-214-2 и др. Пластики этого типа имеют невысокую прочность, низкую ударную вязкость и не являются теплоустойчивыми ($t_{\text{экспл}}$ от – 60 до + 60°). Однако вследствие малой плотности и легкости обработки они широко применяются для изготовления ряда малонагруженных деталей общего и электротехнического назначения — корпусов приборов, рукояток, клеммных панелей, электропатронов, цоколей радиоламп и т. п.

Аминопласты на основе карбамидной смолы содержат в качестве наполнителя сульфитную целлюлозу. Их механические свойства несколько выше фенольных, но они менее водостойки и более дороги.

Можно легко получать аминопласты разнообразной окраски. Их применяют для изготовления ненагруженных деталей общетехнического и декоративного назначения — кнопок, рукояток управления, корпусов приборов и т. п.

Волокнистые пластики

Волокнистые пластики, по сравнению с пластмассами на основе пресспорошков, отличаются в общем большей ударной вязкостью, а некоторые из них — повышенной теплоустойкостью.

Волокнит — представляет собой пластик на основе фенольной смолы, содержащий в качестве наполнителя волокна хлопка (линтер, хлопковые очесы). Он применяется для малона-



груженных деталей общетехнического назначения с повышенной устойчивостью к динамическим нагрузкам.

В случае использования его в качестве материала для электротехнических деталей рекомендуется покрывать последние бакелитовым лаком.

На основе стеклянного спутанного волокна и модифицированной фенольно-формальдегидной терморезактивной смолы разработан волокнистый пластик АГ-4.

Этот материал прочнее, обладает большей удельной ударной вязкостью и повышенной теплостойкостью.

Пластик АГ-4 легко прессуется, имеет хорошие электроизоляционные свойства, высокую водо- и грибостойкость и в эксплуатации не стареет. Из него изготавливают высоконагруженные детали конструкционного и электротехнического назначения, длительно работающие при температуре 175—200°, в частности, в условиях влажного (тропического) климата.

Для АГ-4 допустим кратковременный (3—5 час) нагрев до 250° и очень кратковременное (10—15 сек) повышение температуры до 2000° (для изделий одноразового действия).

4. Фрикционные пластмассы

Волокнистые пластики на основе асбестового наполнителя можно в зависимости от назначения разделить на две группы.

К первой относятся пластики К-6, К-41-5, КМК-218, используемые преимущественно в качестве электроизоляционных, дугостойких материалов. Все эти асбопластики могут работать при температурах порядка 300—400°С и кратковременно выдерживают очень высокий местный нагрев.

Другую группу составляют фрикционные асбопластики КФ-3, 6-КХ-1, ФК-16Л, обладающие высоким коэффициентом трения и применяемые для таких деталей, как колодки тормозов авиаколес, фрикционные диски и т. д.

Сравнивая свойства пластиков на основе волокнистых материалов и пресспорошков со свойствами слоистых пластмасс, можно видеть, что первые обладают меньшей прочностью и вязкостью. Однако вследствие простоты изготовления из них изделий и разнообразия свойств они широко применяются при производстве многих деталей несилового и электротехнического назначения и в ряде случаев заменяют более тяжелые материалы.