Міністерство освіти і науки України
Сумський державний університет

Будник А.Ф., Юскаєв В.Б., Будник О.А.

НЕМЕТАЛЕВІ МАТЕРІАЛИ В СУЧАСНОМУ СУСПІЛЬСТВІ

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України
як навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів

Суми
Видавництво СумДУ
2008

ББК 30. 3
Б–90
УДК 622:620.2
Рекомендовано Міністерством освіти і науки України
(лист № 1,4/18- Г-1711 від 9.07.2008р.)

Рецензенти:
д-р техн. наук, проф. В.Б.Тарельник
(Національний аграрний університет, м. Суми);
д-р техн. наук, проф. О.Б.Гирін
(ВДНЗ «Український хіміко-технологічний
університет, м. Дніпропетровськ);
д-р техн. наук, проф. О.Р. Якуба
(Національний аграрний університет, м. Суми)

Будник А.Ф., Юскаєв В.Б., Будник О.А.
Б–90 Неметалеві матеріали в сучасному суспільстві: Навчальний посібник.- Суми: Вид-во СумДУ, 2008. -222 с.

ISBN 978-966-657-252-6

У посібнику наведено дані про основні неметалеві матеріали, що застосовуються в сучасному суспільстві, технологію їх одержання, вплив складу та структури на службові властивості неметалів, галузі їх застосування та перспективу використання і розвитку.

Матеріал посібника дає майбутнім фахівцям необхідний обсяг знань про класифікацію неметалевих матеріалів, загальні принципи формування й одержання таких матеріалів, їх основні експлуатаційні характеристики, вводить у коло перспективних матеріалів та допомагає вибирати матеріали залежно від умов експлуатації, економічної та екологічної доцільності.

Посібник має матеріали для підготовки та проведення лабораторних робіт, ведення самостійної роботи студентами, виконання курсових, комплексних та дипломних проектів.

Для студентів – матеріалознавців III – IV рівнів акредитації під час вивчення дисципліни «Неметалеві матеріали» і виконання курсових проектів та самостійних робіт з дисциплін навчального плану спеціальності напряму 09.01.01.

ББК 30. 3
© А.Ф.Будник, В.Б.Юскаєв, О.А.Будник,2008
ISBN 978-966-657-252-6 © Вид-во СумДУ, 2008

ЗМІСТ

С.
Вступ……4
1 Фізико-хімія високомолекулярних сполук та їх дизайн…….....8
2 Класифікація полімерів та їх властивості……21
3 Пластичні маси й композиційні матеріал……34
3.1 Полімерні композиційні матеріали……...42
3.2 Виготовлення виробів з полімерних матеріалів……..52
4 Неорганічні полімерні матеріали…….72
5 Керамічні матеріали…….....82
6 Неорганічне скло та вироби з нього…….95
7 Плівкоутворювальні матеріали……...111
8 Лакофарбові захисні матеріали……...124
9 Мастильні матеріали……139
10 Матеріали з органічних речовин…….....148
11 Тестовий контроль засвоєння лекційного матеріалу..…….....163
12 Лабораторний практикум та методичні вказівки з предмета……167
13 Завдання для виконання самостійних, індивідуальних та контрольних робіт……..212
Список використаної та рекомендованої літератури…...220

ВСТУП

Технологічність конструкції визначається сукупністю її властивостей, що дає змогу застосовувати під час виготовлення прогресивні технологічні процеси, високопродуктивне устаткування, нові матеріали і забезпечувати високу якість за мінімальних затрат праці та часу. Технологічність оцінюють технологи підприємства-проектувальника, заводу-виробника або спеціалізованих підприємств на всіх стадіях проектного процесу. Технологічність не є абсолютною властивістю конструкції. Найістотніше впливає на технологічність обсяг випуску виробу в зв'язку з тим, що той чи інший технологічний процес є оптимальним лише за певного обсягу випуску.

У сучасних конструкціях широко застосовують високоміцні алюмінієві, магнієві й титанові сплави, сталі, у тому числі вуглецеві, леговані, корозійностійкі і жароміцні, композиційні матеріали, а також неметалеві конструкційні матеріали.

Вибираючи матеріал для елементів конструкції, враховують його механічні, теплофізичні та хімічні властивості, щільність, вартість, ступінь освоєння у виробництві, а також технологічні властивості, що визначають можливість застосування найефективніших виробничих процесів - штампування, зварювання тощо.

Під час вибору матеріалу для елементів конструкцій враховують також форму і розміри цих елементів, величину і характер навантаження (постійне, ударне, циклічне), теплове навантаження, наявність в елементах конструкцій отворів, зміни перерізів та інших концентраторів напруг. Однак, вибираючи матеріал, найбільшу увагу приділяють необхідним міцності й твердості конструкції за найменшої її маси, тобто забезпеченню максимальної вагової ефективності матеріалу. Вагова ефективність матеріалу, що ви-

значається його питомими міцністю σ_ρ і твердістю E/ρ, для різних видів деформацій різна.

Найважливішим параметром будь-якої конструкції є її надійність. Вона закладається конструкцією і забезпечується технологією. Суворі вимоги ставлять до комплексу якостей застосовуваних матеріалів. Це не лише вагова ефективність, а й висока надійність.

Авіаційна промисловість - перша галузь машинобудування, що встановила систему обов'язкової паспортизації матеріалів із забороною використання у відповідальних деталях матеріалів без паспортів. Паспортизацію запровадив Всесоюзний інститут авіаційних матеріалів (ВІАМ) у 1951 р. На початку сімдесятих років XX ст. Центральний науково-дослідний інститут матеріалознавства (ЦНДІМЗ, м. Корольов) також запровадив паспортизацію матеріалів, призначених для ракетно-космічної техніки.

Ні нині, ні в найближчому майбутньому неможливо віддати явну перевагу якомусь одному з існуючих матеріалів. Часом його вибір - це така сама удача, як і знайдене оригінальне рішення силової схеми конструкції. Критерії виробляються досвідом проектування. Одні з них мають однозначний характер, передаються простими формулами, інші ж, навпаки, є рекомендаційними.

Міць людської цивілізації тримається на металі. Нині у світі у вигляді виробів знаходиться близько 6 млрд т металу. За даними ООН, всі інші разом узяті матеріали поки що змогли замінити близько 10% металу. Однак тенденції засвідчують надзвичайно швидке витіснення металу полімерними матеріалами, композитами. Вже нині виробництво пластмас за обсягом перевищує виробництво кольорових металів і сплавів разом узятих.

Вражаюча номенклатура неметалічних матеріалів, розмаїтість їхньої хімічної природи, походження і структура забезпечують ширший спектр їхніх технічних властивос-

тей, ніж у металів і сплавів. За механічною міцністю ізотропні неметалічні матеріали здебільшого поступаються металевим сплавам, однак вони мають вищі питомі міцність, твердість і корозійну стійкість, ніж металевий дріт і «вуса» металів.

Це дає змогу одержувати орієнтовані пластмаси (композити), армовані органічними волокнами (органопластики) з питомою міцністю в напрямку орієнтації волокна, що в 3-4 рази перевищує міцність легованих сталей і титанових сплавів, а також орієнтовані боро- та вуглепластики з близьким до склопластиків значенням питомої міцності, але в 4 - 5 разів більшою, ніж у склопластиків і авіаційних металів, питомою твердістю. Особливостями властивостей інших груп неметалічних матеріалів є:

• здатність до високоеластичної оборотної деформації (що досягає під час розтягу 1000-1200%), високі демпфірувальні (амортизаційні) властивості й непроникність для рідин і газів гум (еластиків);

• світлопрозорість аморфних органічних і силікатних стекол, а також деяких видів ситалів;

• виняткова хімічна стійкість фторопластів і фторокаучуків, багатьох керамік, ситалів, а також деяких силікатних стекол, пластмас, волокон, плівок і покриттів;

• клеюча (адгезійна) здатність багатьох смол, деяких термопластів, каучуків і цементів;

• унікальна вогнетривкість оксидної й особливо безкисневої кераміки і графіту;

• здатність сповільнювати нейтрони під час перебігу ядерних реакцій (графіт, оксид берилію та ін.), поглинати ядерні випромінювання (свинцеві стекла, графітові тканини) і виявляти стійкість до їхнього впливу (неорганічні та циклостепеневі полімери).

Пластмаси, гуму, скло, кераміку та інші неметалічні матеріали переробляють на вироби здебільшого методами

пластичної деформації: пресуванням, виливанням, видавлюванням (екструзією) тощо, а також напилюванням, зануренням, шпатлюванням. Ці методи характеризуються великою продуктивністю і значно меншими відходами. Коефіцієнт використання матеріалу (КВМ) для ПКМ становить 0,85-,95. Під час механічної обробки заготовок (точніше, фрезерування, свердління тощо) металевих деталей КВМ становить 0,5-0,8. Тому деталі з пластмас, як правило, виявляються не тільки в 3 - 5 разів дешевшими за деталі з кольорових металів, а й в окремих випадках (виливані пластмаси) у 2-3 рази дешевшими за деталі з чорних металів.

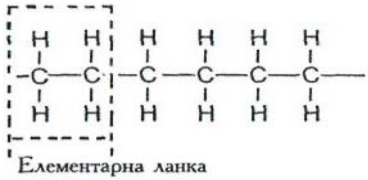
3 урахуванням цих особливостей і властивостей неметалічних матеріалів, технологічних і економічних переваг вони все ширше застосовуються в різних галузях сучасного суспільства.

У галузі неметалевого матеріалознавства чимало важливих робіт виконали І.М.Францевич, Д.М.Карпиніс, В.І.Трефилов, В.Ф.Зеленський, Г.Г.Конраді, І.С.Белевич, їхні учні та послідовники. Вони сформулювали принципи побудови композиційних матеріалів і конструкцій з них.

1 ФІЗИКО – ХІМІЯ ВИСОКОМОЛЕКУЛЯРНИХ СПОЛУК (ВМС) ТА ЇХ ДИЗАЙН

Типові молекули синтетичних ВМС - полімери складаються з великої кількості невеликих фрагментів, що мають назву елементарних ланок.

Залежно від кількості (m) типів таких ланок розрізняють: **гомополімери** (полімери, m=1) та **гетерополімери** (співполімери, m≥2).



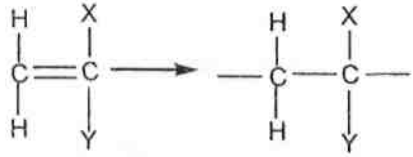
Більшість полімерів синтезовано з ненасичених вуглеводнів (реакція полімеризації), їх полімерний ланцюг складається з атомів вуглецю, такі полімери мають назву **карболанцюгові**.

Полімери, що утворені в результаті реакції між функціональними групами (реакції поліприєднання або поліконденсації - реакції, що супроводжуються утворенням низькомолекулярних сполук), мають назву **гетероланцюгові** - їх полімерний ланцюг містить гетероатом (O,N,S) між ланками з вуглеводнів.

Для утворення полімерного ланцюга необхідно, щоб функціональність (кількість активних центрів, що беруть участь в реакції) молекули була ≥2, отже мономери — це сполуки, що мають функціональність ≥2. Активними центрами в макромолекулярній хімії можуть бути: подвійні зв'язки (реакція полімеризації - утворюються карболанцюгові полімери), нестійкі цикли (капролактам, окис етилену - реакція поліприєднання, - утворюються гетероланцюгові полімери), функціональні групи –COOH, $–NH_2$,

–ОН (реакція поліконденсації - утворюються гетероланцюгові полімери).

Елементарна ланка полімеру, синтезованого з ненасиченого мономеру, збігається із залишком мономеру



Мономер (М) Мономерна ланка (М)

Добре відомі полімери мають такі групи замінників Х та У:

-поліетилен	X=H; Y=H
-поліпропілен	X=H; Y=CH_3
-полістирол	X=H; Y=C_6H_5
-поліакрилонітрил	X=H; Y=CN
-поліметилстирол	X=CH3; Y=C_6H_5
-поліметакрилова кислота	X=CH_3;Y=COOH

Класифікація полімерів базується на таких ознаках:

- за **хімічним складом** (органічні, неорганічні, елементоорганічні);

-за **природою атомів полімерного ланцюга** (карбо-, гетероланцюгові);

-за **кількістю елементарних ланок полімерного ланцюга** (полімер-гомополімер).

На відміну від низькомолекулярних сполук властивості полімерів значною мірою визначаються формою (архітектурою) макромолекул.

У разі коли всі мономери біфункціональні - утворюється **лінійна макромолекула**. Якщо ж функціональність хоча б одного з мономерів >2, то продукти реакції будуть **розгалуженими** або **сітчастими**.

Макромолекули, що мають однаковий елементарний склад та молекулярні маси, можуть різнитися способом сполучення ланок між собою - під час синтезу можливі різні способи входження мономеру до полімерного ланцюга.

Якщо асиметричну мономерну ланку полімеру позначити горизонтальною стрілкою, в напрямку від голови до хвоста, то фрагмент макромолекули схематично матиме вигляд

$$\sim \rightarrow\rightarrow\leftarrow\leftarrow\rightarrow\rightarrow \sim$$

Структурну ізомерію такого типу спостерігаємо у поліконденсаційних полімерах, в той час як у полімеризаційних спостерігаємо сполучення ланок за типом "голова до хвоста".

Однак для випадку різних замінників Х та У спостерігаємо стереоізомерію - макромолекули різняться розміщенням замінників у просторі щодо площини вуглецевого ланцюга таким чином:

- **атактичні** - випадкове розміщення замінників;
- **ізотактичні** - замінники Х з одного боку, а У – з іншого;
- **синдіотактичні** - замінники регулярно по черзі змінюються (ХУХУ).

Якщо орієнтацію замінників показати вертикальними стрілками, то будова макромолекул матиме вигляд:

- атактичні ~↑↓↑↑↓↓↑~
- ізотактичні ~↑↑↑↑↑↑~
- синдіотактичні ~↓↑↓↑↓↑~

Для співполімерів різноманітність форм зростає. Для статистичних співполімерів спостерігаємо випадкове сполучення мономерних ланок (–М – М – М – $М_1$ – $М_1$– М – $М_1$ – $М_1$), існує також послідовне почергове сполучення (– М – $М_1$ – М – $М_1$ – М – $М_1$) для поліконденсаційних співполімерів - почергові полімери.

Блокспівполімери та прищеплені співполімери складаються з довгих однотипних ланцюгів (макромолекул). Полістирол (С), прищеплений до віскози (В), призводить до появи гідрофобності у віскозі.

Різноманітність полімерів також визначається формою макромолекул — топологічна структура (шлях, яким йде синтез полімерного ланцюга).

Надмолекулярна структура - це архітектура полімерного матеріалу (на зразок колоїдної системи).

Синтез полімерів - це той напрям полімерної науки, який сприяє також розвитку техніки. Перші роботи в галузі синтезу полімерів пов'язані з іменем Карозерса. Карозерс установив два загальні типи реакцій одержання синтетичних високомолекулярних сполук:

- полімеризація - синтез макромолекул із мономерів, реакція проходить без виділення побічних продуктів M+M+M→ –M –M –M –… .

- поліконденсація - процес синтезу полімерних сполук при взаємодії функціональних груп, який проходить з виділенням побічних продуктів (вода, аміак, вуглекислий газ і таке ін.), які впливають на рівновагу реакції:

n (X-A-X)+n (Y-B-Y)↔(2n- 1)XY+X-A-B-(A-B)n-A-B-Y.

Відомо, як мінімум, близько двадцяти способів синтезу полімерів, але принциповий розподіл їх на реакції полімеризації та поліконденсації залишається правильним у тому розумінні, що в першому випадку проходить тільки розкриття ненасичених зв'язків або циклів з відповідним перегрупуванням валентних електронів, а в другому - поряд з перегрупуванням електронів утворюються побічні низькомолекулярні продукти.

Світова наука про полімери розвивається сьогодні за двома основними напрямами. Перший напрям (традиційний)- охоплює велику частину сучасних досліджень у галузі хімії та фізикохімії високомолекулярних сполук,

спрямований на створення нових полімерів методами полімеризації, поліконденсації або поліприєднання. Другий напрям - це хімічне модифікування полімерів з метою створення полімерних матеріалів. Сюди відносять усі типи і види полімеризації та поліконденсації з використанням традиційних і нових мономерів традиційних і нових каталітичних систем, що дозволяють отримувати лінійні й сітчасті полімери, а в більш узагальненому вигляді - еластомери, термоеластопласти, термопласти, реактопласти, підсилені й армовані полімери, покриття, плівки, лаки та ін. Теоретичні й експериментальні роботи в галузі фізикохімії мають на меті визначити та охарактеризувати фізикохімічні процеси, що проходять під час синтезу, визначити фізичні властивості різних полімерів, їх розчинів і гелів, фазовий стан полімерів і їх морфологію, встановити взаємозв'язок між умовами синтезу та архітектурою полімеру та їх фізичними властивостями. Результатом цих досліджень є створення сучасної промисловості виробництва і переробки полімерних матеріалів. Таким чином, у цілому було вирішено завдання створення нових конструкційних та інших полімерних матеріалів практично для всіх галузей сучасної техніки, почали вирішуватися також проблеми, пов'язані з використанням полімерів у медицині, електроніці, оптиці й ряд суміжних проблем.

Складається враження, основане на аналізі стану досліджень у галузі високомолекулярних сполук, що епоха великотоннажних полімерів і полімерних матеріалів достатньо повно реалізувалася, і важко чекати появи комерційно доступних нових великотоннажних полімерів. Такий стан речей пов'язаний з багатьма факторами (сировина, технології, можливість вирішувати багато проблем шляхом їх специфічного посилення).

Проблеми, пов'язані із забезпеченням комплексу експлуатаційних властивостей виробів із полімерів, можуть

бути успішно розв'язані, якщо є інформація про закономірності процесів структуроутворення, відомі механізми та параметри, що дозволяють ефективно впливати на процес синтезу.

Для спрощення завдання виявлення взаємозв'язку "склад - структура - властивості" визначено такі рівні структури: "система", "матеріал", "виріб".

Характеризуючи "систему", мають на увазі властивості полімеру в стані термодинамічної рівноваги, в той час як у характеристиках "матеріалу" та "виробу" маємо інформацію про метастабільний стан "системи". Характеризуючи "матеріал", необхідно враховувати кінетичну стійкість структурної організації "матеріалу" та тенденції до її змін.

Вирішення поставлених проблем потребує застосування нових методів аналізу взаємозв'язку між рівнем показників структурної організації та властивостей полімерної композиції.

Вплив структури на показники властивостей дво- та багатокомпонентних систем, як правило, досліджують експериментально. Однак цей підхід вимагає величезних затрат коштів та часу і не завжди забезпечує знаходження оптимального рішення. Правильність рішення цієї проблеми визначає ефективність використання компонентів і всієї композиції.

Успіх у галузі **полімерного матеріалознавства** будемо мати після вирішення ряду теоретичних задач і в першу чергу кількісного **визначення впливу структури на властивості** багатокомпонентних композицій. У загальному вигляді ця проблема формулюється як така, що визначає мінімальну кількість необхідних компонентів, здатних забезпечити появу нової якості (характеристики) суміші компонентів.

Вирішення проблеми можна знайти шляхом пошуку кореляції між геометричними і фізичними характеристи-

ками об'єкта. Це дозволяє зробити **теорія перколяції** (perkolation англ. - просочення, протікання). Назва теорії пов'язана із завданням знаходження критичної концентрації каналів, при якій у результаті їх злиття відбувається утворення безперервної системи. У такій системі каналів рідина може протікати (просочуватись) між двома будь - якими паралельними площинами, що знаходяться на великій відстані одна від одної. Застосування теорії перколяції можна розширити, якщо замість каналів розглядати системи провідників струму або теплопровідних елементів, наповнювачів полімерної матриці або термопласт-еластомерні композиції.

На практиці давно помічено, що при переході через критичну концентрацію одного із компонентів значення деяких характеристик композиції змінюються дуже різко, відбувається інверсія фаз. Теорія перколяції дозволяє геометрично моделювати структуру багатокомпонентної композиції і її статистичні характеристики. Числове значення критичної концентрації введеного компонента, при якій з'являється нова характеристика (нова якість) матеріалу, в теорії протікання носить назву "поріг перколяції".

Дослідження взаємозв'язку морфологічної будови та властивостей еластомерних композицій на основі олігомерних сумішей виявили закономірності впливу об'ємної частки гетерофази та розміру часток гетерофази на рівень властивостей. Ці результати добре узгоджені з результатами теоретичних досліджень і мають загальний характер для олігомерних сумішей.

Актуальність таких досліджень у науковому плані зумовлена можливістю зміни (молекулярний та надмолекулярний рівні) структурної організації в процесі синтезу.

Проблеми **структурного дизайну** полімерної речовини - це проблеми самоорганізації та самозбирання структур складної будови. За визначенням самоорганізація є

процесом виникнення, розвитку та зникнення макроскопічних структур у нерівноважних умовах. Такі структури привертають увагу багатьох дослідників як можливість створення ультратонких плівок певної структури, що набувають практичного застосування в оптиці, електроніці, сенсорній техніці. Найбільш поширеними видами полімерів, що здатні до самоорганізації, є функціональні супромолекулярні полімери, здатні до самоорганізації у рідкому стані або рідинокристалічні полімери. Такі системи вивчаються вже багато років, однак ця галузь інтенсивно розвивається. Мезоморфні полімери, як відомо, здатні утворювати фази, що мають водночас властивості кристалів та ізотропних рідин. Складна молекулярна структура визначає їх здатність до самоорганізації, внаслідок чого виникають різноманітні супромолекулярні структури. Ці системи здатні до створення ультратонких плівок (до моношару) субмікронної товщини. Архітектура таких молекул складна - це можуть бути лінійні ланцюги, що вміщують мезогенні групи в основному або боковому ланцюзі, з різноманітним розміщенням мезо-генів у різних ділянках макромолекули, комбіновані полімери з мезогенами водночас в основному та боковому ланцюгах, гібридні полімери, які містять різноманітні мезогени, та інші.

Таким чином, створення таких полімерів є завданням **молекулярного дизайну**. Молекулярний дизайн визначає можливість структурного дизайну у вигляді різноманітності структур, у вигляді дисків, колоноподібних структур і багатьох інших форм складної конфігурації.

Розвиток таких полімерних систем вимагає вирішення багатьох фізико-хімічних проблем. До них належать: питання фазових перетворень в ультратонких плівках, організація супромолекулярного порядку на поверхні і динаміка процесу, фізичні властивості у граничних умовах на поверхні. Ще невирішені проблеми, які пов'язані з іонними,

водневими взаємодіями у таких системах, з визначенням ролі балансу між гідрофільними та гідрофобними властивостями. Дуже цікаву проблему становить собою двомірний фазовий розподіл площі молекулярних шарів та виникнення високосегрегованих мікрофаз, спільне існування різноманітних типів молекулярного пакування і структура поверхні розділу, а також структура поверхневих доменів. Регулюючи міжмолекулярні сили, можна контролювати створення кластерів і поверхневу структуру на нанометровій шкалі, мікродоменну структуру на субмікронній шкалі.

Дійсно, структури, що зібрані на поверхні, є метастабільними. Це пов'язано з тим, що процес самозбирання охоплює селективну адсорбцію різноманітних ділянок макромолекули і їх агрегацію, хімічне або фізичне зв'язування молекул з поверхнею, поверхневу дифузію й інші процеси, які створюють умови для виникнення локальних метастабільних конфігурацій та станів.

Проблеми структурного дизайну взаємопов'язані з молекулярним дизайном.

Більш простим **видом структурного дизайну** є створення **молекулярних композитів**. Молекулярні композити - це різновид суміші полімерів. У традиційних сумішах полімерів, як правило, використовується термодинамічна несумісність компонентів і відбувається фазовий розподіл на рівні двох мікрофаз, які не перебувають у стані термодинамічної рівноваги. Молекулярні композити - це системи, в яких здійснено молекулярне диспергування одного компонента, що має жорсткі ланцюги стержнеподібної конфігурації у полімерній матриці. Цей напрям має помітний розвиток. Стрижнеподібний ланцюг становить собою посилювальний елемент матриці. Відомо, що ефективність підсилення волокнистими наповнювачами залежить від співвідношення між довжиною і діаметром волокна. Якщо підсилювальний жорстколанцюговий полімер буде дисперг-

говано у полімерній матриці на рівні окремих макромолекул, то досягається висока ефективність підсилення через велику різницю між довжиною і діаметром макромолекули. Отримання таких систем ми розглядаємо як структурний дизайн, тому що молекулярне диспергування є складним процесом, який вимагає створення певних умов.

Поширений спосіб диспергування - це спільне розчинення жорсткого та матричного полімеру в загальному розчиннику. Якщо відомі умови утворення однофазного розчину, то з нього можуть бути отримані плівки, які становлять собою молекулярний композит. Звичайними перешкодами для такого процесу є низька розчинність, низькі критичні концентрації і можливість агрегації жорстколанцюгових молекул у фібрили, наслідком чого є утворення нанокомпозитів.

Розроблено метод використання полімерного прекурсора, який може бути конвертований у поліфеніленбензотіазол шляхом термічної обробки. Прекурсор є похідним ароматичного поліаміду з органічними боковими ланцюгами; він може бути змішаний з полімерною матрицею завдяки високій розчинності. У процесі термообробки при 350°С відділяються бокові ланцюги і утворюється п'ятичленне кільце, здатне до подальшого перетворення у жорстколанцюговий полімер. Як бачимо, у даному випадку структурний дизайн здійснюється хімічними методами. Матрицею може бути більшість термопластичних полімерів (поліаміди).

Прекурсорний метод дає можливість застосовувати високі концентрації розчинів та здійснювати м’які умови виділення розчинника. Однак у багатьох випадках за таких умов утворюються нанокомпозити, в яких жорстколанцюговий полімер має схильність до агрегації у фібрили і мікродомени.

Таким чином, концепція отримання молекулярних композитів досить складна для здійснення внаслідок складних умов змішування різнорідних несумісних молекул на молекулярному рівні. Тому реальним підходом до утворення систем з підсилювальними жорстколанцюговими молекулами є утворення нанокомпозитів, у яких виникає фібрилізація жорстколанцюгових молекул з діаметром фібрили порядку 100 нм, диспергованих у матричному полімері. Однак і в цьому випадку важко попередити агрегацію фібрили у мікродомени.

Проблема циклізації біфункціональних мономерів у процесі їх полімеризації і поліконденсації вивчається вже багато років, тому що при утворенні полімерних сіток формування циклів створює дефекти сітчастої структури (неактивні еластичні ланцюги). Теорія циклізації при зшиванні набула широкого розвитку. Утворення циклів при тримірній полімеризації може досягати 10-30%; ступінь циклізації збільшується при розбавленні системи та з наближенням до точки гелеутворення.

Особливими випадками хімічних перетворень є взаємодія біфункціональних мономерів і олігомерів, здатних до утворення тримірних сіток, знаходження умов синтезу мікрогелевих часток, тобто умови, за яких не відбувається макроскопічного гелеутворення, та умови, за яких відбувається внутрішньомолекулярне зшивання, і замість макрогелю утворюються зшиті макромолекули (мікрогелі), які здатні розчинятися в органічних розчинниках. Такі мікрогелі можуть бути отримані як при дисперсній полімеризації, коли утворені мікрогелеві частки стабілізуються за рахунок дії ПАР, так і в розчинах. Суть у тому, що у термодинамічно активному розчиннику незшиті ланцюги на поверхні сформованої мікрогелевої частки, при певних її розмірах, здатні забезпечити стабілізувальний ефект, який запобігає агрегації реактивних мікрогелевих часток, аж до

повної конверсії. Мікрогель утворюється у середині частки за рахунок внутрішньомолекулярного та часткового зшивання. Умовою проходження такого процесу є забезпечення певної величини термодинамічного параметра взаємодії Флорі-Хаггінса (у межах нижче 0,5) під час реакції. Практично більшість полімерів може бути отримана у вигляді мікрогелевих розчинених часток. Внаслідок розчинності такі частки можуть бути введені в розчини полімерів для отримання сумішей після виділення розчинника. Молекулярна маса мікрогелів становить від тисячі (наногелі) до мільйонів (мікрогелі). Нано- та мікрогелі містять у своїй структурі петлі та кільця. Так, наприклад, молекула з молекулярною масою близько 80000 може містити до 10 кілець.

Таким чином, метод синтезу зшитих розчинених мікрогелевих часток може розглядатись як один із шляхів отримання полімерів циклічної будови. У наш час такі мікрогелі почали вже застосовувати у „розумних" (Smart) системах. Мікрогелеві частки на основі поліуретанів уже набули застосування як носії лікарських засобів, швидкість виділення яких з організму регулюється.

Однак, самостійний інтерес, у тому числі і з практичної точки зору, мають синтетичні полімери на основі великих циклів. Макромолекули таких полімерів можуть становити собою або макроцикли у чистому вигляді, або великі цикли із декількома боковими відгалуженням або, нарешті, декілька макроциклів, з'єднаних з одним на зразок сітчастої структури.

Циклічні полімери можна синтезувати трьома основними методами:

- реакції, для яких реалізується рівновага між кільцями й ланцюгами та для яких можна розрахувати концентрацію як кільцевих, так і лінійних молекул (прикладом таких реакцій є утворення поліефірів, поліамідів. За такими реакці-

ями, наприклад, були отримані циклічні полі- і диметилсилоксани з кількістю зв'язків у кільцях більше ніж 1000);

- реакції аніонної полімеризації, наприклад, полімеризація стиролу за наявності нафталінатанітрилу як ініціатора, тетрагідрофурану як розчинника та електрофільного агента, циклічні полімери відділяються від лінійних шляхом реакції останніх із високомолекулярним полістиролом;

- реакції, які проводять на полімерних підкладках, прикладом такої реакції є синтез циклічних макромолекул аліфатичних поліефірів, наприклад, з мономеру, який містить на кінцях молекули атом брому та карбоксильну групу-$Br(CH_2)_{10}COOH$.

При застосуванні смоли як підкладки відбувається сполучення молекул мономерів за схемою, коли карбоксильна група зв'язується з поверхнею підкладки. Далі відбувається ріст ланцюга шляхом міжмолекулярного алкілування. Такі ланцюги можуть відриватися від поверхні тільки тоді, коли вони беруть участь у реакції циклізації і коли повністю сформована полімерна циклічна молекула, прив'язана до поверхні смоли. Цим методом отримують циклічні аліфатичні поліефіри. Розгляд механізму такої реакції показав, що можуть утворюватися тільки циклічні молекули, однак на практиці частково утворюються, також, лінійні молекули. Механізм таких реакцій складний. Складною проблемою є також молекулярна ідентифікація циклічних молекул, для якої використовують методи гельхроматографії, ЯМР, мас-спектрометрію та інші. Реакція, при якій спостерігається рівновага між лінійними та циклічними макромолекулами (реакція з полімерною підкладкою), описана в роботі Ю.Ліпатова як синтез поліетилентерефталатів (CO-C6H4-CO-O-CH2-CH2-0)x.

Потенційні галузі застосування таких полімерів ще недостатньо виявлені. Перевагою макромолекулярних циклів є відсутність у макромолекулах кінцевих груп. Хімія

циклічних полімерів перебуває на початковій стадії розвитку.

Перспективними також є поліелектроліти - унікальний комплекс властивостей, притаманний поліелектролітам і зумовлений тим, що до складу таких молекул входять електрозаряджені атоми - поліаніони чи полікатіони.

При набряканні поліелектролітного гелю у воді об'єм води, що утримується гелем на 2-3 порядки більший, ніж об'єм самого гелю (суперадсорбент води). Однак здатність до набрякання надзвичайно чутлива до якості води – при зниженні якості води спостерігаємо колапс гелю - різке (на 2-3 порядки) зменшення його об'єму.

2 КЛАСИФІКАЦІЯ ПОЛІМЕРІВ ТА ЇХ ВЛАСТИВОСТІ

Полімерами називають речовини, молекули яких складені із численних елементарних ланок (мономерів) однакової структури (у випадку різнорідних ланок утворюються сополімери). Відносна молекулярна маса полімерів становить від 5000 до 1000000. Між атомами, що входять в основний ланцюг, діють міцні ковалентні зв'язки, а молекули зв'язані або силами Ван-дер-Ваальса, або водневими зв'язками. Властивості полімерів визначаються не тільки хімічним складом молекул, але й їх будовою та взаємним розміщенням.

Природними полімерами є каучук, целюлоза, слюда, азбест, природний графіт. Однак провідною групою є синтетичні полімери.

Класифікація полімерів. За складом усі полімери поділяють на **органічні, елементоорганічні та неорганічні**.

Органічні полімери, у свою чергу, поділяють на **карболанцюгові** полімери, де основний молекулярний ланцюг утворений тільки атомами вуглецю, та **гетероланцю-**

гові полімери, де в молекулярному ланцюзі наявні атоми інших елементів. Останні істотно змінюють властивості полімеру. Так, атоми кисню сприяють підвищенню гнучкості ланцюга, атоми фосфору та хлору підвищують вогнестійкість, атоми сірки надають газонепроникності, атоми фтору, навіть у вигляді радикалів, надають полімеру високої хімічної стійкості і т.д. Органічними полімерами є смоли та каучук.

Елементоорганічні сполуки містять у складі основного ланцюга неорганічні атоми (Si, Ti, A1) та органічні радикали (CH3, C8H5, CH2). Ці радикали надають матеріалу міцності й еластичності, а неорганічні атоми надають підвищеної теплостійкості. Представниками їх є кремнієорганічні сполуки. У природі такі полімери не трапляються.

До **неорганічних полімерів** належать силікатне скло, кераміка, слюда, азбест. Їх основу складають оксиди кремнію, алюмінію, магнію, кальцію та ін. У силікатах існують два типи зв'язків: атоми в ланцюзі з'єднані ковалентними зв'язками (Si-O), а ланцюги між собою — іонними зв'язками. Неорганічні полімери відрізняються більш високою густиною, високою теплостійкістю. Однак скло і кераміка крихкі, погано переносять динамічні навантаження. До неорганічних полімерів належить також карболанцюговий полімер - графіт.

Різноманітність властивостей полімерів обумовлена структурою макромолекул. За формою макромолекул полімери поділяють на лінійні, розгалужені, стрічкові (сходові), просторові або сітчасті (рис. 1). Лінійні макромолекули полімеру становлять собою довгі зигзагоподібні або закручені у спіраль ланцюжки. Гнучкі макромолекули з високою міцністю уздовж ланцюга та слабкими міжмолекулярними зв'язками забезпечують еластичність матеріалу, здатність його розм'якшуватися під час нагрівання, а під

час охолодження знову твердіти (поліетилен, поліаміди та ін.).

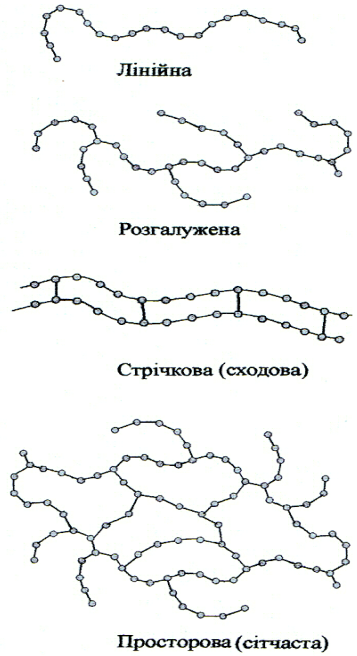


Рисунок 1 – Можливі форми макромолекул полімерів

Розгалужені макромолекули містять відгалуження, що перешкоджає їх щільному упакуванню (поліізобутилен).

Макромолекула **сходового** полімеру складається із двох ланцюгів, з'єднаних хімічними зв'язками. Сходові полімери мають більш твердий основний ланцюг і мають підвищену теплостійкість, більшу твердість, вони нерозчинні в стандартних органічних розчинниках (кремнієорганічні полімери).

Просторові, або **сітчасті,** полімери утворюються при сполученні макромолекул між собою в поперечному напрямку міцними хімічними зв'язками безпосередньо або

через хімічні елементи чи радикали. У результаті утворюється сітчаста структура з різною густотою сітки.

Рідкосітчасті (сітчасті) полімери втрачають здатність розчинятися та плавитися, вони мають пружність (м'які гуми).

Густосітчасті (просторові) полімери відрізняються твердістю, підвищеною теплостійкістю, нерозчинністю. Просторові полімери лежать в основі конструкційних неметалічних матеріалів. До сітчастих полімерів належать також пластинчасті (паркетні) полімери, наприклад графіт.

Природні полімери утворюються в процесі біосинтезу у клітинах живих організмів.

За допомогою екстракції, фракційного осадження та інших методів вони можуть бути виділені з рослинної та тваринної сировини.

Синтетичні полімери можуть бути одержані в результаті **реакції поліконденсації**, коли молекули двох різних мономерів об'єднуються, створюючи хімічні групи, що чергуються. Довжина молекул визначається числом активних кінцевих груп ланцюга, доступних до реакції з мономером або активними кінцевими групами інших полімеризованих молекул. Інший спосіб – це ланцюгова **реакція полімеризації**, де участь беруть тільки молекули одного мономера. Реакція починається при введенні ініціатора, який викликає розрив подвійних зв'язків молекул мономеру, створюючи групи з вільними хімічними зв'язками. Ці групи швидко реагують з подібними групами іншого мономера або полімерними молекулами. Процес триває, поки не витрачається ініціатор. Довжина молекули визначається числом молекул мономера, які можуть бути приєднані до того, як будуть витрачений ініціатор і всі активні молекули прореагують.

За фазовим станом полімери поділяють на аморфні і кристалічні. Електронно-мікроскопічні та рентгенографічні спостереження показують, що макромолекули в поліме-

рах розміщуються впорядковано, створюючи стійкі щодо механічних впливів так звані надмолекулярні структури.

Аморфні полімери однофазні й побудовані з лінійних молекул, зібраних в пачки або у глобули. Пачка складається з багатьох рядів макромолекул, розміщених послідовно один за одним, а глобула - зі згорнутих у клубки ланцюгів. Глобулярна структура полімерів дає невисокі механічні властивості за рахунок крихкого руйнування по границях глобул. При підвищених температурах глобула розвертається в лінійні утворення, що сприяють підвищенню механічних властивостей полімерів. Структури в цих полімерах термодинамічно нестабільні й характеризуються відносно невеликим часом життя.

Кристалічні полімери утворюються в тому разі, якщо їх макромолекули досить гнучкі і мають регулярну структуру. Тоді при відповідних умовах можливий фазовий перехід усередині пачки та утворення кристалічних структур із тривимірною впорядкованістю. Будова кристалів визначається елементарною коміркою, один з періодів якої збігається з періодом лінійної молекули. Вектори основних трансляцій мають довжини значно більші, ніж у металевих кристалах. В основному полімери утворюють кристали нижчих сингоній, але трапляються і кубічні (наприклад, $C_{10}H_{16}$ - β-модифікація адамантана, структурний клас Fm3m, a = 9,45Aº).

Кристалічні полімери утворюються у вигляді огранених монокристалів, ізотропних і анізотропних (текстурованих) глобулярних кристалів, полікристалів, кристалів. Часто утворюється сферолітна структура. Сфероліти складаються із променів, утворених чергуванням кристалічних і аморфних ділянок. Кристалічні структури є термодинамічно стабільними і за відсутності зовнішніх силових полів зберігаються необмежений час (поліетилен, поліпропі-

лен, поліаміди й ін.). Кристалічність надає полімеру більшої твердості й теплостійкості.

Кристалізація полімерів відбувається в певному інтервалі температур. Це пояснюється тим, що, як правило, при низьких температурах полімерні ланцюжки менш рухливі, у результаті чого утворюються тільки невеличкі мало стабільні кристали з низькою температурою плавлення. При підвищенні температури рухливість молекул збільшується, отже утворюються більші і досконаліші кристали з більшою температурою плавлення. У звичайних умовах повної кристалізації не відбувається і структура полімерів залишається двофазною. Ступінь кристалічності можна визначити рентгенографічним методом або калориметричним. В останньому випадку порівнюються зміна ентропії кристалізації досліджуваного зразка і повністю кристалічного полімеру.

Полімери підрозділяють на **полярні** та **неполярні**. Полярність визначається наявністю в їхньому складі електричних диполів. **Першою умовою полярності** є наявність у полімері полярних зв'язків (угруповань – Cl, – P, –OH), другим – відсутність симетрії в їхній структурі. За полярністю зв'язку C–H < C–N < C–O < C–P < C–C1. У неполярних полімерах дипольні моменти зв'язків атомів взаємно компенсуються. **Неполярні** полімери (на основі вуглеводнів) є високоякісними високочастотними діелектриками, вони мають гарну морозостійкість. Полярність надає полімеру твердості, теплостійкості, але морозостійкість у полярних матеріалів низька.

Полімери по відношенню до нагрівання поділяють на термопластичні та термореактивні. **Термопластичні** полімери при нагріванні розм'якшуються, навіть плавляться, при охолодженні твердіють; цей процес зворотний. Структура макромолекул таких полімерів лінійна або розгалужена.

Термореактивні полімери на першій стадії утворення мають лінійну структуру і при нагріванні розм'якшуються, потім внаслідок проходження хімічних реакцій твердіють (утворюється просторова структура) і надалі залишаються у твердому стані (термостабільному).

Властивості полімерів

Будова полімерів визначає їх фізико-механічні та хімічні властивості. Так, внаслідок високої молекулярної маси вони нездатні: переходити в газоподібний стан, при нагріванні утворювати в'язкі рідини або зовсім розм'якшуватися, легко розчинятися. Різний ступінь організації надмолекулярних структур властивий полімерам, приводить до значного розкиду їхніх фізико-механічних властивостей.

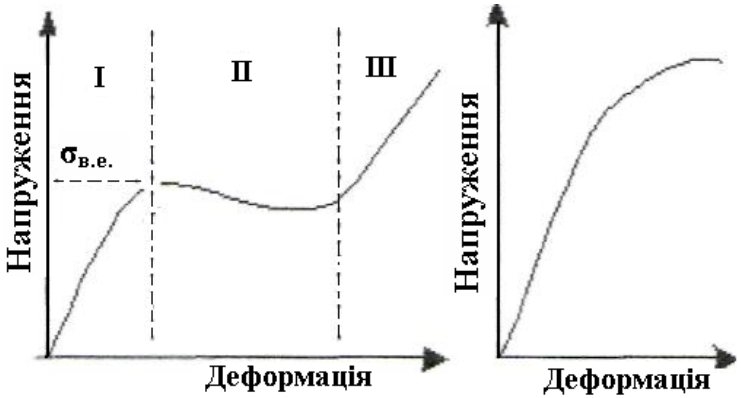


Рисунок 2 - Діаграма розтягу: а) склоподібного полімеру; б) полімеру з щільносітчастою структурою

Механічні властивості полімерів

Полімери можуть перебувати в **склоподібному, високоеластичному і в'язкорідкому** станах, які є різновидами аморфного стану (рис. 2). Зі зміною температури лінійний або розгалужений полімер може переходити з одного фізичного стану в інший.

Високоеластичний стан властивий тільки високополімерам, характеризується здатністю матеріалу до значних оборотних змін форми при невеликих навантаженнях (коливаються ланки, і макромолекула набуває здатності згинатися). В'язкорідкий стан - це аналог рідкого стану з дуже великою в'язкістю (рухлива вся макромолекула). Фізичний стан полімеру визначають за характером їх деформації. Деформація полімерів у загальному випадку складається із трьох складових: пружної, високоеластичної і в'язкорідкої.

Вони пов'язані з різними молекулярними механізмами: оборотне розтягання хімічних зв'язків і деформація валентних кутів визначають пружність; оборотна зміна конформацій макромолекул обумовлює високоеластичність; необоротне ковзання макромолекул одна стосовно одної призводить до в'язкої течії. На рис. 3 наведені залежності деформації від температури при сталому напруженні для полімерів (термомеханічні криві).

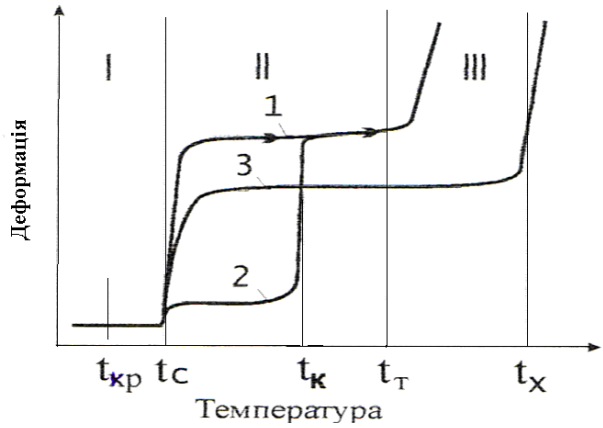


Рисунок 3 – Термомеханічні криві кристалічного лінійного (1), кристалічного (2) та рідкого сітчастого (3) полімерів:
I – III ділянки склоподібного, високоеластичного та в'язкотекучого станів

Для лінійного полімеру, що кристалізується (крива 1), область 1 – область звичайних пружних деформацій (ε=2-5 %). При температурі нижче tкр полімер стає крихким. Руйнування відбувається внаслідок розриву хімічних зв'язків у макромолекулі. В області II невеликі напруження викликають переміщення окремих сегментів макромолекул і їхню орієнтацію в напрямку діючої сили.

Після зняття навантаження молекули в результаті дії міжмолекулярних сил набирають первісної рівноважної форми.

Високоеластичний стан характеризується значними оборотними деформаціями (сотні відсотків). Біля точки t_T крім пружної та високоеластичної деформації, виникає й пластична. Кристалічні полімери нижче температури кристалізації t_k є твердими, але мають різну твердість (див. рис.3, крива 2) внаслідок наявності аморфної частини, яка може перебувати в різних станах. При t_k кристалічна частина плавиться і термомеханічна крива майже стрибкоподібно досягає ділянки кривої 1, яка відповідає високоеластичній деформації для некристалічного полімеру. Рідкосітчасті полімери (типу гум) мають термомеханічну криву типу 3. Вузли сітки перешкоджають відносному переміщенню полімерних ланцюгів. У зв'язку із цим при підвищенні температури в'язка течія не настає, розширюється високоеластична область аж до температур хімічного розкладання полімеру (tx). Температурні переходи t_c і t_T є одними з основних характеристик полімерів. Залежність напруження від деформації у лінійних і сітчастих полімерах різна. При дії значних напружень у лінійних склоподібних полімерах розвиваються значні деформації, які за своєю природою близькі до високоеластичних. Вони виникають за рахунок деякої рухливості сегментів макромолекул.

Ці деформації одержали назву змушено-еластичних, а саме явище - змушеною еластичністю.

Вимушено-еластичні деформації спостерігаються місце в інтервалі температур $t_{кр}$ і t_c, а при нагріванні вище t_c вони зворотні. Максимум на кривій відповідає умові $d\sigma/d\varepsilon = 0$ і називається межею змушеної еластичності $\sigma_{ве}$.

У полімерів із щільною сітчастою структурою під дією навантаження виникає пружна та високоеластична деформація, пластична деформація, як правило, відсутня. У порівнянні з лінійними полімерами пружні деформації становлять відносно більшу частину, високоеластичні деформації набагато менші. Природа високоеластичної деформації, як і в лінійних полімерах, полягає в оборотній зміні конформації полімерної молекули, але максимальна деформація при розтягуванні, як правило, не перевищує 5-15 %.

Для кристалічних полімерів залежність напруження від деформації виражається лінією із чіткими переходами (рис. 4.).

Рисунок 4 – Залежність напруження від деформації для кристалічного лінійного полімеру

Після пружної деформації (ділянка I) на зразку моментально виникає «шийка», після чого подовження зростає при постійному значенні сили до значної величини. На цій

стадії шийка (ділянка II) подовжується за рахунок більш товстої частини зразка. Після того як весь зразок перетвориться в шийку, процес переходить у третю стадію (ділянка III), що закінчується розривом. За своєю структурою та властивістю шийка відрізняється від вихідного зразка: елементи кристалічної структури тут орієнтовані в одному напрямку.

Орієнтаційне зміцнення. При повільному розтягуванні полімерів, що перебувають у високоеластичному або в'язкорідкому стані, їх макромолекули та елементи надмолекулярних структур орієнтуються в силовому полі і набувають упорядкованої структури порівняно з неорієнтованими. Після того як досягнутий бажаний ступінь орієнтації, температуру знижують нижче t_c і отримана структура фіксується.

У процесі орієнтації зростає міжмолекулярна взаємодія, що призводить до підвищення t_c , зниження tкр і особливо до підвищення міцності. Властивості матеріалу стають анізотропними. Одноосьову орієнтацію створюють при одержанні волокон, труб, а багатоосьову - у процесі одержання плівок. Міцність при розриві в напрямку орієнтації збільшується в 2-5 разів, а у перпендикулярному напрямку вона зменшується на 50-70%. Модуль пружності в напрямку одноосьової орієнтації збільшується приблизно в 2 рази.

Релаксаційні властивості полімерів. Механічні властивості полімерів залежать від часу дії та швидкості прикладення навантажень. Під дією прикладених напружень відбувається як розпрямлення та розкручування ланцюгів (змінюється їх конформація), так і переміщення макромолекул, пачок та інших надмолекулярних структур. Все це вимагає певного часу, і встановлення рівноваги (релаксація) досягається не відразу (від 10^{-4} с до декількох діб та

місяців). Напруження залежно від типу полімеру прямує до нуля, або до деякого рівноважного значення σ_∞ (рис. 5).

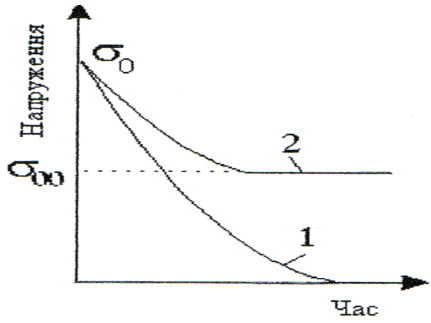


Рисунок 5 – Релаксація напруження для розтягнутого лінійного (1) та сітчастого (2) полімерів

Старіння полімерів. Під старінням полімеру розуміють зміну фізико-механічних властивостей, викликану розвитком у масі полімеру різних хімічних реакцій пов'язаних з окислюванням, утворенням вільних радикалів і деполімеризацію з одиничними розривами ланцюгів або виникненням поперечних зв'язків під дією зовнішніх факторів. Розрізняють старіння теплове, світлове, озонне та атмосферне. Процеси старіння прискорюються під дією механічних напружень. Якщо переважає деструкція, то полімер розм'якшується, виділяються летучі речовини (наприклад, у натуральному каучуку), при структуруванні підвищуються твердість, крихкість, спостерігається втрата еластичності (бутадієновий каучук, полістирол). При високих температурах (200-500°С і вище) відбувається розкладання органічних полімерів, причому піроліз полімерів супроводжується випаром летких речовин зі всього об'єму речовини.

Стабільні до термодеструкції полімери, що мають високу теплоту полімеризації (поліетилен, поліфеноли), а

також полімери з полярними замінниками (фторполімери). Стійкі до озону кремнієорганічні сполуки.

Для вповільнення процесів старіння в полімерні матеріали додаються стабілізатори (різні органічні речовини), антиоксиданти (аміни, феноли та ін.).

Радіаційна стійкість полімерів. Під дією іонізуючих випромінювань у полімерах відбуваються іонізація і порушення, які супроводжуються розривом хімічного зв'язку та утворенням вільних радикалів. Це приводить до перебудови структури за рахунок процесів зшивання або деструкції. При зшиванні збільшується молекулярна маса, підвищуються теплостійкість і механічні властивості. При деструкції, навпаки, молекулярна маса знижується, підвищується розчинність, зменшується міцність. Структуруються такі полімери, як поліетилен, поліпропілен, полістирол, фенолоформальдегідні та епоксидні смоли. Деструктуруються політетрафторетилен, політрифторхлоретилен, нітроцелюлоза, поліметилметакрилат. Для підвищення радіаційної стійкості в полімери вводять антиради (ароматичні аміни, феноли, що дають ефект розсіювання енергії).

Адгезія. Адгезією називається злипання різнорідних тіл, приведених у контакт. Кількісно адгезія оцінюється питомою силою руйнування з'єднання, що називається адгезійною міцністю.

На здатності полімерів до адгезії засноване їхнє використання як плівкоутворювальних матеріалів (клеї, герметики, покриття), а також при одержанні наповнених і армованих полімерних матеріалів.

Для пояснення адгезії запропоновані такі теорії: адсорбційна, електрична та дифузійна. В адсорбційній теорії вважається, що плівка втримується на поверхні матеріалу в результаті дії міжмолекулярних сил, аналогічно адсорбції. У рамках електричної теорії вважається, що адгезія - результат дії електростатичних і вандерваальсових сил.

Електростатичні сили визначаються подвійним електричним шаром, що завжди виникає при контакті різнорідних тіл. **У дифузійній** теорії передбачається, що при утворенні зв'язку між неполярними полімерами електричний механізм адгезії неможливий і адгезія обумовлюється переплетенням макромолекул поверхневих шарів у результаті їх взаємодифузії.

3 ПЛАСТИЧНІ МАСИ Й КОМПОЗИЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ

Загальні відомості

Пластмасами називають штучні матеріали, одержувані на основі органічних полімерів. Пластмаси, отримані на основі термопластичних полімерів, називають **термопластичними,** або термопластами, а отримані на основі термореактивних смол – **термореактивними,** або реактопластами.

Термопласти випускають як без наповнювача, наприклад поліетилен, органічні стекла та ін., так і з наповнювачами у вигляді мінеральних і синтетичних волокон (органопласти).

Термореактивні полімери після твердіння та переходу в термостабільний стан крихкі, тому вони, в основному, не мають самостійного застосування, а використовуються як сполучні (матриці) при одержанні полімерних композиційних матеріалів.

Загальними особливостями пластмас є мала густина (до 2·103 кг/м3); низька теплопровідність (0,1-0,3 Вт/(мК); гарні електроізоляційні властивості; висока хімічна стійкість; фрикційні й антифрикційні властивості; значне теплове розширення. Міцність силових пластиків порівнянна з міцністю сталі і вище. Пластмаси мають гарні технологічні властивості. Недоліками пластмас є невисока теплос-

тійкість, низькі модулі пружності в порівнянні з металами, а для деяких пластмас схильність до старіння.

Ненаповнені термопласти

В основі термопластів лежать полімери з лінійною або слаборозгалуженою структурою. Вони можуть піддаватися повторній переробці при нагріванні. Менш термостійкі термопласти вже при 60-70°С різко знижують свої фізико-механічні властивості, більше теплостійкі структури можуть працювати до 150-250°С, а термостійкі із твердими ланцюгами та циклічними структурами стійкі до 400-600°С. При тривалому статичному навантаженні в термопластах з'являється вимушено-еластична деформація і міцність знижується. Зі збільшенням швидкості деформування не встигає розвиватися високоеластична деформація і з'являється твердість, іноді навіть крихке руйнування. Більш міцними і твердими є кристалічні полімери. Межа міцності термопластів становить 10-100Мпа, модуль пружності $(1,8\text{-}3,5)10^3$ МПа. Вони добре протистоять утомі, їхня довговічність вища, ніж у металів.

Розглянемо деякі широко використовувані пластмаси.

Неполярні термопласти

Поліетилен $(—CH_2—CH_2—)_n$ - продукт полімеризації газу етилену. Залежно від умов одержання поліетилен має різний ступінь кристалічності (від 55 до 95%) і різну густину. Чим вищі густина та кристалічність поліетилену, тим вищі міцність і теплостійкість матеріалу. Довгостроково поліетилен можна застосовувати в інтервалі температур від -70 °С і до 60-100°С. Поліетилен хімічно стійкий і при нормальній температурі не розчинюється в жодному з відомих розчинників. Недоліком поліетилену є його схильність до старіння. Для захисту від старіння в поліетилен уводять стабілізатори та інгібітори (2-3% сажі сповільнюють процеси старіння у 30 разів). Під дією іонізуючого ви-

промінювання поліетилен твердіє: набуває більшої міцності і теплостійкості.

Поліетилен застосовують для виготовлення труб, литих і пресованих несилових деталей, плівок. Він служить покриттям на металах для захисту від корозії, вологи, електричного струму.

Поліпропілен (—CH_2—$CHCH_3$—)$_n$ – твердий, хімічно стійкий, нетоксичний матеріал, що зберігає форму до температури 350°С. Поліпропіленові плівки і волокна міцні й еластичні. Недоліками поліпропілену є його невисока морозостійкість (від -10 до -20°С) і схильність до старіння. Поліпропілен застосовують для виготовлення труб, конструкційних деталей автомобілів, холодильників, корпусів насосів, різних ємностей та ін. Плівки використовують у тих самих цілях, що й поліетиленові.

Полістирол (—CH2—CHC6H5—)$_n$ – твердий, прозорий, аморфний полімер, що добре фарбується та розчинюється у бензолі. Недоліками полістиролу є його невисока теплостійкість, схильність до старіння та утворення тріщин.

З полістиролу виготовляють деталі для радіотехніки і приладів, деталі машин, посудини для води та хімікатів, плівки для електроізоляції.

Фторопласт-4 (фторлон-4) політетрафтор-етилен (—CF2—CF2—)$_n$ є аморфно-кристалічним полімером (ступінь кристалічності від 45 до 85%). Тривалий час може працювати при температурі 260ºС, і руйнується при температурі вище 435°С. Аморфна фаза має високу еластичність, що зберігається навіть при температурах близьких до Т=0. Фторопласт-4 стійкий до дії розчинників - кислот, лугів, окислювачів, а руйнується тільки під дією розплавлених лужних металів і елементарного фтору. Він має: дуже низький коефіцієнт тертя (μ=0,04), що не залежить від температури. Фторопласт-4 не переходить у в'язко-

текучий стан, що утрудняє виготовлення виробів з нього звичайними методами.

Недоліком фторопласта-4 є виділення токсичного фтору при високій температурі. Фторопласт-4 застосовують для виготовлення труб, вентилів, кранів, насосів, мембран, ущільнювальних прокладок, манжет, сильфонів, електро-радіотехнічних деталей, антифрикційних покриттів на металах (підшипники, втулки). З різновиду фторопласта-4 (фторопласт-42) виготовляють волокно та плівку фторлон. Фторлонова тканина не горить, хімічно стійка, застосовується для ємностей, рукавів, спецодягу, діафрагм і т.д.

Полярні термопласти

Фторопласт-3 **(фторлон-3) –** політрифторхлоретилен $(—CF_2—CFCl—)_n$. Введення атома хлору порушує симетрію ланок макромолекул. Тому, матеріал стає полярним, діелектричні властивості знижуються, але з'являється пластичність і полегшується переробка матеріалу у вироби. Фторопласт-3, повільно охолоджений після формування, має кристалічність близько 80-85%, а загартований – 30-40%. Інтервал робочих температур – від 105 до 70°*C*. Стійкий до дії кислот, окислювачів, розчинів лугів і органічних розчинників. Модифікований політрифторхлоретилен - фторопласт-3М має більшу теплостійкість (робоча температура 150-170°С), він більш еластичний і легше формується, ніж фторопласт-3.

Фторопласт-3 використовують як низькочастотний діелектрик, крім того, з нього виготовляють труби, шланги, клапани, насоси, захист покриття металів та ін.

Органічне скло – це аморфний термопласт на основі складних ефірів акрилової та метакрилової кислот, прозорий у видимому та ультрафіолетовому діапазонах. Має густину $1{,}18 \cdot 10^3$ кг/м^3 (що вдвічі менше густини силікатних стекол), високу стійкість до дії розведених кислот і лугів,

вуглеводневих палив. При температурі 80°С органічне скло починає розм'якшуватися. Його старіння у природних умовах проходить повільно. Недоліком є невисока твердість.

Підвищення термостійкості та властивостей міцності органічного скла досягається орієнтуванням, а полімеризацією з іншими полімерами одержують частково зшиту структуру (термостабільне скло).

Органічне скло використовують у літакобудуванні, автомобілебудуванні. З нього виготовляють світлотехнічні деталі, оптичні лінзи та ін.

Полівінілхлорид $(—CH_2—CHCl—)_n$ – аморфний полімер, що має високі електроізоляційні властивості і не підтримує горіння. Непластифікований твердий полівінілхлорид називається вініпластом. Вініпласт має високу міцність і пружність. З нього виготовляють труби, деталі вентиляційних установок та теплообмінників, захисні покриття для металу, лицювальні плитки. Його недоліками є низька тривала міцність і низька робоча температура (60-70°С), крихкість при низьких температурах. При введенні пластифікатора одержують поліхлорвініловий пластикат, що має морозостійкість до -50°С і температуру розм'якшення 160-195°С. Він застосовується для ізоляції проводів і кабелів, ущільнювальних прокладок.

Поліаміди – це пластмаси (капрон, нейлон, анід та ін.) із загальною формулою $(—NH—CO—(CH_2)_m—NH—CO—(CH_2)_m—)$, де метиленові групи $(—CH_2—)$ повторюються від 2 до 10 разів. Між групами CO і NH, які належать різним ланцюжкам, виникає водневий зв'язок, що сприяє утворенню регулярної структури та підвищує температуру плавлення до 210-264°С. При одноосьовій орієнтації утворюються поліамідні волокна, нитки, плівки.

Поліаміди мають низький коефіцієнт тертя ($\mu<0,05$). Вони ударостійкі та здатні поглинати вібрацію, стійкі до лугів, бензину, спирту. Недоліками поліамідів є деяка їх

гігроскопічність та схильність до старіння внаслідок окислення при переробці. З поліамідів виготовляють шестірні, втулки, підшипники, болти, гайки, шківи й ін.

Поліуретани містять уретанову групу (—NH—COO—). Залежно від вихідних речовин, застосовуваних при одержанні поліуретанів, вони можуть мати різні властивості; бути твердими, еластичними й навіть термореактивними. Властивості поліуретану близькі до властивостей поліамідів. Область їх робочих температур від – 70°С до 170°С. З поліуретану одержують малогігроскопічні і хімічно стійкі плівки та волокна.

Поліетилентерефталат *(*лавсан, майлар, терілен) – складний поліефір. Лавсан є кристалічним полімером, при швидкому охолодженні розплаву можна одержувати аморфний полімер, що при нагріванні понад 80°С починає кристалізуватися. Температура плавлення лавсану 255-257°С, морозостійкість до -70°С. Він є діелектриком і має високу хімічну стійкість. З лавсану виготовляють шестірні, кронштейни, канати, ремені, тканини, плівки, волокна та ін.

Полікарбонат (дифлон) – складний поліефір вугільної кислоти. Це кристалічний полімер, якому при плавленні й подальшому охолодженні можна надати аморфну структуру. Такий матеріал стає склоподібним і прозорим. Полікарбонату властиві гнучкість й одночасно міцність і твердість у великому діапазоні температур. Полікарбонат хімічно стійкий до розчинів солей, розведених кислот і лугів, масел; руйнується мідними лугами. З полікарбонату виготовляють гнучкі і міцні плівки, шестірні, підшипники, авто- та радіодеталі і т.д. Його використовують у кріогенній техніці для роботи в середовищі рідких газів.

Поліарилати – складні гетероланцюгові поліефіри. Їм властиві висока термічна стійкість і морозостійкість (до -100ºС), гарні показники міцності, хімічної стійкості, антифрикційні властивості. Поліарилати використовуються

для виробництва підшипників, що працюють у вакуумі без застосування мастильного матеріалу, а також як ущільнювальні матеріали в буровій техніці.

Пентапласт є хлорованим простим поліефіром. Він повільно кристалізується. Міцність пентанласту близька до міцності вініпласту, але він втримує температуру 180°С і добре формується. Пентапласт нехолодотекучий, стійкий до стирання, має задовільні електроізоляційні властивості, водостійкий. За хімічною стійкістю він займає проміжне положення між фторопластом і вініпластом. З пентанласту виготовляють труби, клапани, деталі насосів і точних приладів, ємності, плівки та захисні покриття на металах.

Поліформальдегід - простий поліефір - лінійний полімер, що має в ланцюзі кисень $(—CH_2—O—)_n$. Підвищена кристалічність (75%*)* і надзвичайно щільне упакування кристалів дають поєднання таких властивостей, як твердість, висока ударна в'язкість і пружність. Температурний інтервал застосування полімеру – від -40 до 130℃, він водостійкий, стійкий до мінеральних масел і бензину. Поліформальдегід використовують для виготовлення зубчастих передач, шестерень, підшипників, клапанів, деталей автомобілів і т.д.

Термостійкі пластики. У цих полімерах феніленові ланки чергуються із гнучкими ланками (амідними, сульфідними й ін.). Температура їх експлуатації досягає 400°С. Крім полімерів із гнучкими ланками, існують полімери із твердими ланцюгами, у які вводяться стійкі гетероцикли. Циклічні структури стійкі до 600℃ і вище.

Практичний інтерес мають ароматичні поліаміди, поліфеніленоксид, полісульфон і гетероциклічні полімери – поліаміди, полібензімідазоли.

Ароматичний поліамід - фенілон -містить фенільні радикали, з'єднані групами —NH—CO—. Це лінійний гетероланцюговий полімер, здатний кристалізуватися та довгостроково працювати при температурі 250-260ºС

($t_{пл}$=430°*C*). Фенілон морозостійкий (навіть при температурі рідкого азоту), має підвищену радіаційну, хімічну стійкість та зносостійкість. З фенілону виготовляють підшипники, ущільнювальні деталі, зубчасті колеса, радіодеталі. З нього одержують плівки, волокна, папір (номекс).

Арилокс-поліфеніленоксид - простий ароматичний поліефір, аморфний, важко кристалізується, за термічною стабільністю поступається фенілону. Його можна довгостроково застосовувати при температурах 130-150°С. Має високу хімічну стійкість, низьке водопоглинання, гарні фізико-механічні характеристики. З поліфеніленоксиду виготовляють деталі устаткування, хірургічні інструменти, ізоляцію на високочастотних установках.

Полісульфон – простий ароматичний поліефір, у макромолекулах якого між феніленовими групами є ланки —SO_2— (підвищують стійкість до нагрівання), групи —О—, —$C(CH_3)_2$— (зменшують жорсткість). Це аморфний полімер. Матеріал термічно стабільний, хімічно стійкий, за механічними властивостями близький до поліфеніленоксиду. Полісульфон застосовують у вигляді плівок, литих виробів і покриттів для експлуатації при температурі від -100 до 175°С (в інертній атмосфері до 400°С). З нього виготовляють деталі автомобілів, верстатів, побутових машин, електротехнічних виробів.

Поліміди — ароматичні гетероциклічні полімери. Ланцюг макромолекул містить амідні цикли та ароматичні ядра, з'єднані гнучкими зв'язками — О—, —СО—. Залежно від структури поліміди можуть бути термопластичними та термореактивними. Найбільше практичне застосування одержали лінійні поліміди. Поліміди відрізняються високими механічними та електроізоляційними властивостями, широким діапазоном робочих температур (від -200 до 300°С), стійкістю до радіації. На основі поліімідів одержують плівки, що за міцністю не поступаються лавсановим. Поліміди є стійкими до дії розчинників, масел, слаб-

ких кислот, руйнуються при тривалому впливі киплячої води та водяного пару, вони можуть довгостроково працювати у вакуумі при високих температурах. Поліімiди мають високі механічні властивості, стійкі до стирання, мають низький коефіцієнт тертя. Їх використовують як матеріал конструкційного, антифрикційного та електроізоляційного призначення.

Полібензимідазоли є ароматичними гетероциклічними полімерами. В основному ланцюзі макромолекул знаходяться бензимідазольні цикли. Полімери можуть мати кристалічну або аморфну будову, бути термопластичними та термореактивними. Зшита структура виникає при введенні агентів, що зшивають. Полібензимідазоли мають високу термостійкість (температура розкладання на повітрі 300-600ºС), гарні діелектричні властивості та міцність.

Волокна вогнестійкі та термостійкі. Полібензимідазоли застосовують у вигляді плівок, волокон, тканин для спеціальних костюмів. Композити на основі полібензимідазолів можуть використовуватися як абляційні термозахисні матеріали. Одержують також композитні антифрикційні матеріали, що мають високу термостійкість і самозмащувальні властивості.

3.1 Полімерні композиційні матеріали

Композити – це матеріали з металевою, керамічною або полімерною основою (матрицею) із заданим розподілом у ній зміцнювачів різної природи.

Прообразом сучасних композиційних матеріалів є залізобетон. Бетон застигає навколо сталевої арматури й утворює своєрідний моноліт, у якому бетон сприймає в основному стискаючі навантаження, а арматура – ті, що розтягують. Варто підкреслити, що композит має нові (у порівнянні зі складовими його компонентами) властивості. Останнє і є основною метою при створенні композиційних матеріалів.

Основними властивостями матеріалів, що визначають якість роботи конструкцій. є межа міцності, модуль пружності і густина. При розрахунках, як правило, користуються питомою міцністю і питомим модулем пружності. Це відношення межі міцності і модуля пружності до питомої ваги. Враховуючи розмірність цих величин, питома міцність і питомий модуль пружності вимірюються в кілометрах, тобто мають розмірність довжини. Сучасні сталі мають питомі міцності порядку 25-32 км, а питомі модулі пружності – 2500-2600 км. Ці значення є майже граничними для металевих конструкційних матеріалів. Деяким винятком є алюміній-літієві сплави. Введенням літію до складу алюмінієвих сплавів удається знизити їхню густину на 8-12%, зберігаючи при цьому міцність і навіть дещо підвищуючи модуль пружності..

Питома міцність деяких сучасних композиційних матеріалів досягає 100 км, а питомий модуль пружності - 104 км. Розвиток тріщин втоми у композитах відбувається в 100 разів повільніше, ніж у будь-якому звичайному сплаві.

Широкий спектр найрізноманітніших за властивостями волокон і сполучних матеріалів дозволяє створювати нові композити із заданими властивостями. Досягається це не тільки варіюванням складу композитів, але і шляхом оптимального розміщення волокон у каркасах майбутніх виробів.

Залежно від типу сполучного матеріалу композити поділяються на **полімерні, металеві і керамічні**.

У полімерних композитах як сполучні застосовують різні термопласти, наприклад поліаміди, полікарбонат, а також термореактивні фенолоформальдегідні, кремнієорганічні, епоксидні смоли, неграничні поліефіри і їх різні модифікації, у які іноді вводяться пластифікатори, отверджувачі, прискорювачі або сповільнювачі, розчинники.

Як армуючі наповнювачі використовують скляні й органічні волокна, азбест, тканини, папір та ін. Залежно від форми часток наповнювача полімерні композиційні матеріали можна розділити на порошкові, волокнисті й шаруваті.

Пластмаси з **порошковими наповнювачами** є **композиціями** термореактивного полімеру з органічними (деревне борошно) або мінеральними (мелений кварц, азбест, слюда, графіт та ін.) порошками. Порошкові пластмаси ізотропні, мають невисоку механічну міцність і низьку ударну в'язкість, задовільні електроізоляційні показники. Їх застосовують для несилових конструкційних і електроізоляційних деталей.

Полімерні композити з волокнистими наповнювачами виготовляють на основі термопластів і реактопластів, а як наповнювачі застосовують скляні, вуглецеві, полімерні та інші волокна.

У 20-х роках минулого сторіччя А.П.Александров і С.Н.Журков, досліджуючи скляні волокна, знайшли, що при зменшенні діаметра їх міцність зростає в десятки разів. Так, волокно діаметром 22 мкм має міцність 22 кг/мм^2, а діаметром 2,5 мкм - вже 560 кг/мм^2. Таке зміцнення пов'язане зі зменшенням дефектів у тонких нитках. Саме з цієї причини увага фахівців була звернена до волокон, ниток, тобто до тіл малого поперечного перерізу. Волокна почали виготовляти з бору, вуглецю, окису алюмінію, карбіду кремнію. Так, вуглецеві волокна, будучи в 5 разів легше сталі, в 3 рази перевершують міцність її кращих сортів.

У 1971 році американська хімічна компанія «Дюпон» виготовила перші партії арамідних волокон типу кевлар. За своєю хімічною структурою кевлар близький до капрону і нейлону, але якщо останні формують з розплаву, то арамідні волокна одержують розчиненням синтетичних смол у сірчаній кислоті і пропусканням розчину через фільєри діаметром соті частки міліметра. Після спеціальної термообробки волокно набуває високої міцності і твердості. З волокон кевлару

виготовляють тканини найрізноманітнішого переплетення – одношарові і багатошарові, із простим і складним переплетенням, що забезпечує потрібні експлуатаційні властивості майбутнього композиційного матеріалу.

Останнім часом поряд із синтетичними волокнами у виробництві композитів використовуються безперервні базальтові та вуглецеві волокна.

У скловолокнітах як зміцнювач використовують безперервне або коротке волокно діаметром 5-20 мкм. Неорієнтовані скловолокніти містять коротке волокно й мають ізотропні механічні характеристики. Це дозволяє пресувати з них деталі складної форми. Орієнтовані скловолокніти мають наповнювач у вигляді довгих волокон, що розміщуються орієнтовано окремими пасмами і ретельно склеюються сполучним полімером. Це забезпечує високу міцність склопластику.

Скловолокніти залежно від виду сполучного можуть працювати при температурах від -60 до 200°С, витримувати значні інерційні перевантаження. Іонізуючі випромінювання мало впливають на їх механічні та електричні властивості. З них виготовляють деталі високої точності, з арматурами і різьбленням.

Волокніти становлять собою композиції з волокнистого наповнювача у вигляді очесів бавовни, просочених фенолоформальдегідним сполучним. Застосовують для деталей працюючих на вигин і крутіння (рукоятки, шківи, маховики і т.д.).

Шаруваті пластмаси. Шаруваті пластмаси є силовими конструкційними та виробними матеріалами. Листові наповнювачі, покладені шарами, надають пластику анізотропності. Матеріали випускають у вигляді листів, плит, труб, заготовок, з яких механічною обробкою одержують різні деталі.

У **склотекстолітах** застосовують як наповнювач скляні тканини або неткані орієнтовані матеріали (нитки в яких не

перегинаються). Склотекстоліт на фенолоформальдегідному сполучному має високі електроізоляційні властивості. Склотекстоліти на основі кремнієорганічних смол мають відносно невисоку механічну міцність, але відрізняються високою теплостійкістю і морозостійкістю, мають стійкість до окислювачів та інших хімічно активних реагентів, не викликають корозії металів. Епоксидні сполучні забезпечують склотекстолітам найбільш високі механічні властивості й дозволяють виготовляти з них великогабаритні деталі. Великогабаритні деталі також виготовляють зі склотекстолітів на основі ненасичених поліефірних смол.

Залежно від складу, структури і технології одержання механічні властивості склопластиків можуть змінюватися на 7-15%. Ступінь анізотропії міцності склопластиків на розрив у поздовжньому та поперечному напрямках може досягати 10, що значно вище, ніж для металів. Анізотропія пружних властивостей виражена слабкіше. Довгостроково, не знижуючи міцності, склопластики можуть працювати при температурі 200-400°С, однак короткочасно протягом декількох десятків секунд склопластики витримують кілька тисяч градусів, і є абляційними теплозахисними матеріалами. Вони застосовуються в авіаційній і ракетній техніці.

Деякі склотекстоліти мають витривалість при вигині до $1{,}5 \cdot 10^7$ циклів. Склопластики мають високу демпфірувальну здатність, добре працюють при вібраційних навантаженнях. Односпрямовані скловолокніти на високомодульних волокнах мають питому твердість $3{,}2 \cdot 10^3$ км і питому міцність 95 км.

Склопластики застосовуються в різних галузях техніки. З них виготовляють несучі деталі літальних апаратів, кузови та кабіни автомашин, автоцистерни, залізничні вагони, корпуси човнів, захисні огородження, вентиляційні труби, контейнери та ін.

Гетинакс отримують на основі модифікованих фенольних, анілінoформальдегідних і карбамідних смол і різних сортів паперу. Гетинакс можна застосовувати при температурі 120-140°С. Він стійкий до дії хімікатів, розчинників, харчових продуктів. Використовується для внутрішнього облицювання пасажирських кабін літаків, залізничних вагонів, кают суден, у будівництві.

Текстоліт складається зі спресованої бавовняної тканини, просоченої термореактивними смолами. Він добре поглинає вібраційні навантаження. Текстоліт як конструкційний матеріал застосовують для зубчастих коліс; шестеренні передачі працюють безшумно при частоті обертання до 30000 $хв^{-1}$. Текстолітові вкладиші підшипників служать в 10-15 разів довше бронзових. Однак робоча температура текстолітових підшипників невисока (80-90°С). Вони застосовуються в прокатних станах, відцентрових насосах, турбінах та ін.

Деревношаруваті пластики (ДШП) складаються з тонких листів дерева, просочених феноло- і крезольно-формальдегідними смолами та спресованих у листи. Вони мають високі фізико-механічні властивості, низький коефіцієнт тертя і з успіхом заміняють текстоліт, а також кольорові метали та сплави. Із ДШП виготовляють шестірні, шківи, втулки, повзуни лісопильних рам, корпуси насосів, підшипники, деталі автомобілів і залізничних вагонів, човнів, деталі текстильних машин, матриці для штампування. Недоліком ДШП є чутливість до вологи.

Азботекстоліт містить 38-43% сполучного, решта азбестова тканина. Азботекстоліт є конструкційним, фрикційним і термоізоляційним матеріалом. Найбільш високу теплостійкість має матеріал на кремнієорганічному сполучному (300°С), а механічна міцність вище у фенольних азбопластиків. З азботекстоліту виготовляють лопатки ротаційних бензонасосів, фрикційні диски, гальмові колодки. Азботекстоліт

витримує короткочасно високі температури і застосовується як теплозахисний та теплоізоляційний матеріал (протягом 1-4 год витримує температуру 250-500°С та короткочасно 3000°С і вище).

Полімерні композити з вуглецевими волокнами

У **вуглепластиках** зміцнювачами є вуглецеві волокна. Крім чудових характеристик міцності, вуглепластики мають високу радіаційну стійкість, високу теплопровідність та морозостійкість, низький коефіцієнт термічного розширення, високу міцність втоми, низьку енергоємність. Їх вібростійкість удвічі вища, ніж алюмінієвих сплавів, і в 8-9 разів вища, ніж у сталях. Одним з головних недоліків вуглепластиків є висока вартість.

Властивості вуглепластиків залежать від характеристик зміцнювача. Механічні властивості вуглецевих волокон визначаються як методом їх одержання, так і властивостями вихідної сировини. Вихідною сировиною для вуглецевого волокна служать в основному хімічні ПАН-волокна. Шляхом термічної обробки у середовищі азоту або аргону з них одержують вуглецеві волокна міцністю 500-700 кг/мм^2 (330-540 км) і модулем пружності 50-80 тис.кг/мм^2 (57 тис. км). Густина вуглецевих волокон – 1,3-1,6 г/см. За теплопровідністю вони близькі до металів, і набагато перевершують нержавіючі сталі за корозійною стійкістю в деяких середовищах. Зараз одержують відносно дешеві, але гірші за якістю, вуглецеві волокна з кам'яновугільної та нафтової сировини.

Робочі температури вуглепластиків з матрицями з полімерних смол не перевищують 200°С .

Газонаповнені пластмаси

Газонаповнені пластмаси складаються із твердого полімеру сполучного, який утворює стінки комірок або пор, наповнених газом наповнювачем.

Використовують як термореактивні, так і термопластичні полімери. Така структура обумовлює надзвичайно малу

густину і високі теплозвукоізоляційні характеристики. Газонаповнені пластмаси поділяють на пінопласти, поропласти та стільникопласти.

Пінопласти – матеріали, де газоподібні наповнювачі ізольовані один від одного тонкими шарами полімеру. Загальна густина пінопластів коливається від 20 до 300 кг/м^3. Замкнено-ніздрювата структура забезпечує гарну плавучість і високі теплоізоляційні властивості. Коефіцієнт теплопровідності низький (від 0,003 до 0,007 Вт/ м•К). Міцність пінопластів невисока і залежить від густини матеріалу.

Найбільш поширеними термопластичними пінопластами є пінополістирол і пінополівінілхлорид, які можуть використовуватися при температурах - 60°С. Термореактивні пінопласти на основі фенолоформальдегідної смоли та фенолокаучукові працюють до температур 120-160^{o}С, а пінопласт на кремнієорганічній основі короткочасно витримує температуру 300^{o}С.

Пінопласти застосовують для теплоізоляції приміщень, холодильників, труб і т.п., для додання плавучості. Пінопласт, будучи легким заповнювачем, підвищує питому міцність, твердість і вібростійкість конструкцій. М'які й еластичні пінопласти (типу поролону) застосовують для амортизаторів, м'яких сидінь, губок.

Поропласти (губчасті матеріали) з відкритою пористою структурою, якщо наявні газоподібні включення вільно сполучені один з одним і навколишньою атмосферою. Внаслідок такої структури вони мають значне водопоглинання.

Стільникопласти виготовляють із тонких гофрованих листових матеріалів (різні тканини, просочені фенолоформальдегідним, поліімідним та ін. сполучними), які склеюють у вигляді стільникової структури. Стільникопласти використовують як легкі заповнювачі в панелях, що складаються із шарів стільникопласта та приклеєної до них несучої обшивки. Стільникопласти мають високі теплоізоляційні та елект-

роізоляційні властивості. Їх застосовують для виготовлення панелей в авіа- і суднобудуванні; для несучих конструкцій, при створенні зовнішнього теплозахисту та теплоізоляції космічних кораблів; посудин у кріогенній техніці; в антенних обтічниках літаків та ін.

Пінопласти радіопрозорі. Поропласти при звичайних температурних умовах мають гарне звукопоглинання, так, наприклад, у пористого поліуретану (поролону) щільністю 30-75 кг/м^3 при товщині 50 мм коефіцієнт звукопоглинання дорівнює 0,9 на частоті 500 Гц.

Пінопласти застосовують для теплоізоляції кабін, контейнерів, приладів, холодильників, рефрижераторів, труб й ін. У будівництві вони використовуються під час виробництва важкозатоплюваних виробів, а в радіо- і електронній техніці - для заливання деталей, тому що пінопласт, будучи легким заповнювачем, підвищує питому міцність, твердість і вібростійкість силових елементів конструкцій.

Поролон застосовують під час виготовлення амортизаторів, м'яких сидінь, а в будівництві - у вигляді плит і шкарлуп для утеплення стін і покриттів, теплоізоляції промислового устаткування й трубопроводів при температурах до 60°С.

Стандартизовані вироби із пластмас

Полімерні плівкові матеріали випускаються товщиною до 1 мм, відрізняються малою масою, хімічною стійкістю, водонепроникністю й міцністю. Найбільш високі фізико-хімічні властивості в поліпропіленових плівок: межа міцності при розтяганні – 25-30 МПа, відносне подовження при розриві 500- 700%, водопоглинання – за 24 год. 1,5%. Поліпропіленові плівки зберігають еластичність до – 20°С. Для полівінілхлоридних плівок межа міцності на розтягання - 10-15 Мпа; відносне подовження при розриві – 100-300%; водопоглинання – за 24 год. 0,15-0,2%.

Для гідроізоляції використовуються в основному поліетиленові й полівінілхлоридні плівки, у які для проти старіння й запобігання від гризунів додають кам'яновугільний пек.

Декоративно-оздоблювальні плівки виготовляють головним чином з полівінілхлориду. При звичайних температурах ці матеріали мають гнучкість й еластичність, малу водо-, паро- і газопроникність, досить довговічні.

Плівки на звукоізолювальній підоснові використовують для обробки приміщень із підвищеними акустичними вимогами. На звороті самоклеювальних полівінілхлоридних плівок нанесений спеціальний клейовий шар, захищений силіконізованим папером. Плівки можуть бути з малюнками, що імітують цінні породи деревини або тканину. Двошаровий рулонний матеріал, що складається з верхньої тисненої полівінілхлоридної плівки й нижнього паперового шару, називають ізопленом.

Липка ізоляційна стрічка – полівінілхлоридний плівковий пластикат, покритий шаром перхлорвінілового клею (100 г/м^2). Межа міцності на розрив – не менш 8 МПа; питомий об'ємний електроопір – не менш 10^{13} Ом · см; липкість - не менш 30 с; морозостійкість - до -40°С. Випускають її чотирьох марок: ПХЛ-020; ПХЛ-030; ПХЛ-040; ПХЛ-045 - товщиною, відповідно, 0,2; 0,3; 0,4; 0,45 мм і шириною 15-50 мм.

Лінолеум – рулонний матеріал з полівінілхлоридних, алкідних й інших полімерів. До складу маси одношарового лінолеуму, як правило, входить 40-45% суспензійного полівінілхлориду, 19-23% пластифікатора, 0,5-1% стабілізатора, 19-35% наповнювачів (тальк, каолін, крейда, барит, деревне або азбестове борошно), 5-15% пігментів. Лінолеуми можуть бути безосновні й з підосновою (тканинного, войлочного й іншого видів). Войлок й інші волокнисті матеріали використовуються як теплоізоляційна й звукопо-

глинаюча підоснова. Лінолеуми можуть мати поверхню, пофарбовану в різні кольори, гладку, з візерунком, блискучу, матову, тиснену. Приклеюють лінолеум до підкладки бітумними й іншими мастиками.

Синтетичні килимові матеріали - матеріали з підосновою з полівінілхлориду, поліуретану або спіненого латексу з верхи із тканих і нетканих покриттів із синтетичних волокон.

Ворсолан – нетканий двошаровий ворсової синтетичний килимовий матеріал з підосновою із плівки емульсійного полівінілхлориду й з ворсовою пряжею з поліпропіленових або поліамідних волокон. Ворсолан можна склеювати й зварювати.

Еорсоніт – рулонний одно- або двошаровий синтетичний килимовий матеріал на основі полотен з поліефірів, поліамідів й до інших полімерів. Його міцність при розриві - не менш 2-2,5 Мпа.

3.2 Виготовлення виробів з полімерних матеріалів

Зв'язувальні речовини як складові полімерних композитних матеріалів можуть перебувати у рідкому, в'язкотекучому або твердому стані. Перехід лінійних і розгалужених полімерів (термопластів) від твердого до високоеластичного або до в'язкотекучого стану відбувається завдяки нагріванню. І навпаки, завдяки охолодженню термопласти або вироби з них спочатку переходять від в'язкорідкого до високоеластичного, а далі до твердого стану при температурах початку в'язкої течії tт і склування tс відповідно. У разі необхідності термопласти можна повторно нагрівати й переробляти у вироби. Заготовки з термопластів піддаються також зварюванню й обробці різанням.

Для твердіння термореактивної зв'язувальної речовини не потрібне охолодження; тут процес супроводжується

хімічними реакціями з утворенням просторової молекулярної структури. Реактопласти з такою структурою незворотно втрачають здатність переходити у неплавкі й нерозчинні речовини. У твердому стані їх можна обробляти різанням.

Фізичний стан зв'язувальної речовини, вид зміцнювального матеріалу (порошок, волокно, тканина) та деякі інші фактори впливають на вибір того чи іншого способу формоутворення деталей. Переважно ці способи визначаються невеликою кількістю операцій, низькою трудо- й енергоємністю та незначними відходами.

Виготовлення деталей на основі рідких полімерів

Часто для виготовлення деталей з полімерних композитних матеріалів як зв'язувальну речовину використовують смоли, які перебувають у рідкому стані при кімнатній температурі. До найефективніших із них належать поліефірні та епоксидні смоли. Наповнювачами служать переважно скляні, а також вуглецеві, борні й органічні волокна та тканини на їх основі. Поліефірні й епоксидні смоли мають добру змочувальну здатність і високу адгезію до наповнювачів. Вони тверднуть без тиску або під невисоким тиском при кімнатній температурі під дією затверджувачів і пришвидшувачів процесу.

Основними способами виготовлення деталей зі склопластиків є вільне лиття, контактне формування, вихрове напилення, автоклавне формування, намотування і відцентрове лиття.

Вільним литтям виробляють деталі простої конфігурації, заливаючи заздалегідь приготовлену з потрібних компонентів полімерну суміш у холодну або гарячу форму, де ця суміш твердне без прикладення тиску. Полімерна суміш складається з поліефірної або епоксидної смоли, затверджувача, наповнювача, іноді пришвидшувача твердnення та барвника. Маса деталі обмежується декількома

десятками кілограмів. Ливарні форми виготовляють зі сталі, сплавів кольорових матеріалів, гіпсу або деревини.

Контактним формуванням вручну виробляють деталі з полімерних композитних матеріалів у спеціальних формах. Таку форму *1* (рис. 6) виготовляють з деревини, гіпсу або металу, її робоча поверхня відтворює зовнішню поверхню деталі. На робочу поверхню наносять роздільний шар *2* із полівінілового спирту, нітролаку або целофанової плівки, який запобігає прилипанню смоли до поверхні форми. Відтак пензлем або пульверизатором наносять рідку (найчастіше поліефірну) смолу із затверджувачем і на цей шар накладають наповнювач - склотканину *3*. Щоб забезпечити надійне просочування тканини смолою, щільне прилягання до поверхні форми й усунути бульбашки повітря, кожен накладений шар обкочують роликом *4*. Кількість шарів залежить від необхідної товщини стінки деталі. Смола твердне на повітрі при кімнатній температурі, надійно з'єднуючись зі склотканиною. Після затвердіння деталь виймають із форми. Процес можна пришвидшити, застосовуючи просочену тканину.

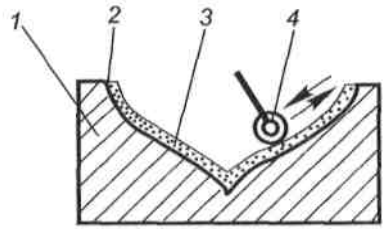


Рисунок 6 – Схема контактного формування:1 – форма; 2 – роздільний шар; 3 – склотканина; 4 – ролик

Спосіб контактного формування характеризується простотою устаткування й не вимагає високої кваліфікації персоналу, проте він низькопродуктивний й не забезпечує достатньо високої якості виробів.

Контактно формують такі великогабаритні деталі, як корпуси байдарок і хімічних апаратів, кузови спортивних автомобілів та ін. в умовах одиничного й дрібносерійного виробництв.

Під час ***вихрового напилення*** машинним способом наносять одночасно на поверхню форми смолу, затверджувач і подрібнене волокно, після чого обкочують отриманий шар гумовим роликом. Довжина подрібнених скловолокон становить 90-100 мм, а його об'ємна частка в напиленому шарі не перевищує 30%. Цей спосіб продуктивніший порівняно з контактним формуванням і використовується у серійному виробництві великогабаритних деталей.

Автоклавне формування розпочинається з нанесення на поверхню форми полімерної суміші одним із розглянутих вище способів і завершується у герметично закритому резервуарі (автоклаві), куди поміщають разом із формою заформовану деталь. Вільну поверхню суміші накривають гумовим чохлом, який під дією створеного в автоклаві тиску забезпечує щільне прилягання майбутньої деталі до поверхні форми. Попередньо краї чохла герметично затискають на формі, а з-під чохла вакуумним насосом відсмоктують повітря. Тиск (1-2 МПа) в автоклаві створюють нагріте повітря, гаряча вода або пара. Після твердіння зв'язувальної речовини форму висувають з автоклава й відокремлюють від неї деталь. Автоклавним формуванням виготовляють у серійному виробництві великогабаритні й складні деталі високої якості.

Намотування полягає у тому, що на оправку неперервно укладають просочений зв'язкою наповнювач у вигляді волокна або стрічки. Оправка *3* (рис. 7) обертається навколо своєї осі, а котушка *1* з наповнювачем *2* переміщається у зворотно-поступальному напрямку.

Сформовану деталь разом з оправкою поміщають у камеру тверднення. По закінченні технологічного циклу оправку виймають.

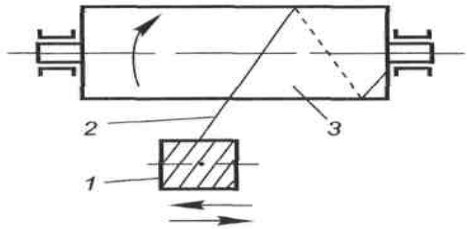


Рисунок 7 – Схема намотування: 1 – котушка; 2 – наповнювач; 3 – оправка

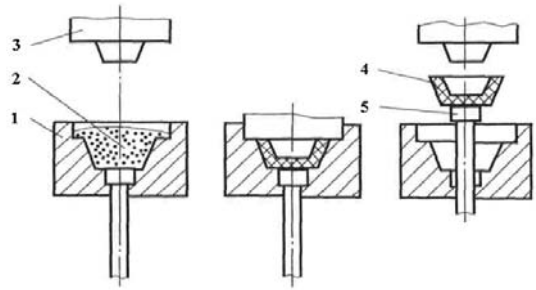
Залежно від напрямку укладання наповнювача на оправку розрізняють спіральне і поздовжньо-поперечне намотування. Під час спірального намотування (рис. 7) наповнювач укладають на поверхню оправки по спіралі, а під час поздовжньо-поперечного - по твірній циліндра і по спіралі. Намотування - один із найдосконаліших способів створення порожнистої високоміцної деталі з полімерного композитного матеріалу. В автомобілебудуванні цим способом виготовляють, наприклад, карданний вал автомобіля "Toyota", в авіабудуванні - секції трансмісійного вала, лопаті та носову його частину, балони високого тиску тощо.

Відцентровим литтям у обертальній формі виготовляють вироби великих розмірів, що мають вигляд тіл обертання. В порожнину форми завантажують рідку зв'язувальну речовину та подрібнене скловолокно. Під дією відцентрових сил полімерна суміш притискається до стінки форми й ущільнюється. Після завершення процесу форму зупиняють і виймають виріб.

Формування деталей з полімерних матеріалів у в'язкорідкому стані

У ***в'язкорідкому стані*** формують деталі способом гарячого пресування, литтям під тиском, екструзією тощо.

Гарячим пресуванням виготовляють деталі переважно з реактопластів, зв'язувальна речовина яких під дією теплоти переходить у в'язкорідкий стан, а під кінець технологічного циклу твердне, утворюючи просторову структуру. Охолодження деталі відбувається поза прес-формою. *Прес-форма* (рис. 8) є штамповим інструментом, що складається з двох головних частин - матриці 1, закріпленої на столі гідравлічного преса, і пуансона 3, закріпленого на повзуні. У порожнину розкритої прес-форми (рис. 8 а) насипають задану дозу полімерної суміші 2 у вигляді порошку, гранул або таблеток. Щоб скоротити тривалість технологічного циклу, полімерну суміш перед завантаженням у



а б в

Рисунок 8 – Схема гарячого пресування: 1 – матриця; 2 – полімерна суміш; 3 – пуансон; 4 - деталь; 5 – виштовхувач

прес-форму нагрівають до температури 80-150°С. Тиск 15-80 МПа на полімерну суміш створює пуансон, опускаючись у нижнє положення (рис. 8 б). Під час твердннення під тиском полімерна суміш виділяє гази. Для їх виходу необхідно на 2-3 с розкрити прес-форму, піднявши пуансон, а потім знову опустити його. Після затверднення зв'язуваль-

ної речовини пуансон відходить у верхнє положення (рис. 8 в), деталь 4 із матриці виймає виштовхувач 5. Робоча температура у прес-формі створюється електронагрівними елементами і підтримується в межах від 140 до 160°С автоматично.

Прес-форми виготовляють з інструментальних сталей, їх формоутворювальні поверхні полірують і хромують, щоб забезпечити високу якість отримуваних деталей.

Основні параметри технологічного процесу - час витримки, тиск і температуру в робочій порожнині прес-форми - вибирають залежно від виду полімерного матеріалу.

Гарячим пресуванням виробляють деталі середньої складності з феноло- і амінопластів, зокрема корпуси телевізорів, радіоприймачів, телефонів.

Литтям під тиском виготовляють деталі складної конфігурації з термо- і рідше з реактопластів, які, перебуваючи у в'язкорідкому стані, заповнюють робочу порожнину прес-форми і тверднуть там під тиском. Полімерну суміш *8* (рис. 9) у вигляді гранул або порошку подають із бункера *9* плунжером 7 дозатора і привідним циліндром *10* в робочий циліндр *12,* оснащений електонагрівачем *6.* Під час руху плунжера *13* вліво за допомогою циліндра *11* доза суміші потрапляє в нагрівну зону робочого циліндра, де переходить у в'язкорідкий стан. Водночас уже розплавлена суміш подається в порожнину прес-форми крізь сопло *5.* Протягом короткої витримки зв'язувальна речовина суміші твердне завдяки охолодженню прес-форми водою. Тоді рухома половина *2* прес-форми відходить вліво, деталь *3* викидається виштовхувачем *1*, після чого прес-форма закривається. Відтак плунжери *13* і 7 пересуваються вправо і технологічний цикл повторюється.

Завдяки нагріванню полімерної суміші до температур 150-300°С і значному тиску добре заповнюється порожни-

на прес-форми й тому формуються деталі з високою якістю поверхні та точними розмірами.

Екструзія - це поширений і високопродуктивний спосіб витискання полімерного матеріалу (переважно термопласту) у в'язкорідкому стані крізь отвір, що відповідає поперечному перерізові виробу.

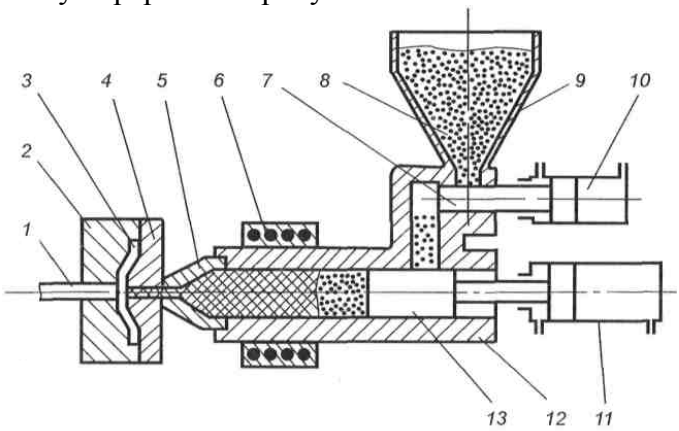


Рисунок 9 – Схема лиття під тиском: 1 – виштовхувач; 2 – рухома половина прес-форми; 3 – деталь; 4 – нерухома половина прес-форми; 5 – сопло; 6 – електронагрівач; 7, 13 – плунжер; 8 – полімерна суміш; 9 – бункер; 10, 11 – привідний циліндр; 12 – робочий циліндр

Полімерний матеріал *4* (рис. 10) у вигляді гранул або порошку завантажують у бункер *3* шнекової машини неперервної дії - екструдера.

Бункер сполучений з порожниною робочого циліндра *2,* в якому обертається шнек *1*.

Шнек пересуває полімерний матеріал уздовж осі циліндра, перемішує його й ущільнює.

Завдяки теплоті, що передається від електронагрівача 5 і теплоті, що виникає внаслідок тертя, полімер переходить у в'язкорідкий стан і витискається назовні крізь калібрувальний отвір головки *6.* Оправка 7 формує отвір виробу *8.*

Далі виріб охолоджують у водяній ванні й ріжуть на заготовки заданої довжини або змотують у бухти. Щоб змінити профіль виробу, необхідно замінити головку й оправку. Екструзією виробляють фасонні прутки з одинаковою формою поперечного перерізу по всій довжині, а також труби, листи; наносять ізоляцію на електропровідний дріт.

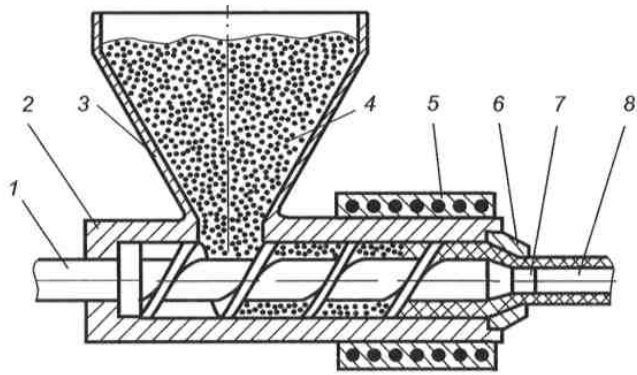


Рисунок 10 – Схема екструзії: 1 – шнек; 2 – робочий циліндр; 3 – бункер; 4 – полімерний матеріал; 5 – електронагрівач; 6 – головка; 7 – оправка; 8 – виріб

Виготовлення деталей з полімерних матеріалів у високоеластичному стані

У високоеластичному стані виготовляють деталі з листових термопластів в основному способом штампування.

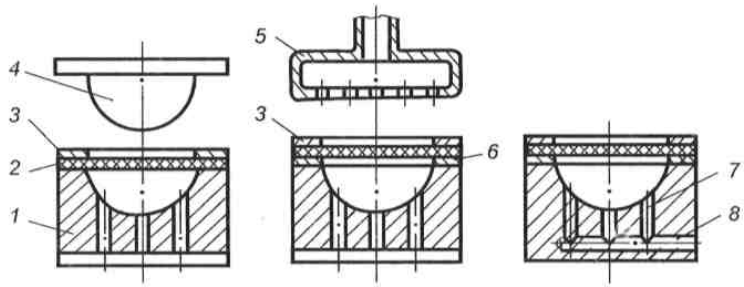
Штампування - це спосіб виготовлення тиском деталей об'ємної конфігурації з листових термопластів, доведених нагріванням до високоеластичного стану й охолоджених у штампі до температури, нижчої за температуру склування. Розрізняють звичайне, пневматичне й вакуумне штампування.

Під час *звичайного штампування* заготовка отримує задану форму й розміри в штампі за допомогою матриці та пуансона. Процес виконують у такій послідовності. Кіль-

цем *3* (рис. 11 а) затискають краї заготовки *2* на плоскій поверхні матриці *1*.

Закріплену заготовку нагрівають радіаційним нагрівачем, після чого її деформують, опускаючи пуансон *4*. Зазор між пуансоном і матрицею дорівнює товщині стінки деталі.

У матриці є отвори для виходу повітря під час опускання пуансона. Охолодження листа під тиском пуансона триває доти, поки термопласт не перейде у твердий стан. Перед вийманням штамповки з матриці пуансон і кільце піднімають угору. Штампують на гідравлічних або механічних пресах.



а б в

Рисунок 11 – Схеми звичайного (а), пневматичного (б) і вакуумного (в) штампування: 1 – матриця; 2 – заготовка; 3 – притискне кільце; 4 – пуансон; 5 – колектор; 6 – опорне кільце; 7, 8 – канал

Пневматичне штампування відбувається під тиском повітря, яке притискає нагріту заготовку до робочої поверхні матриці. Листову заготовку закріплюють на краях матриці за допомогою опорного *6* (рис. 11, *б)* і притискного *3* кілець із гумовими прокладками. Після чого підводять нагрівач. Нагрівши заготовку, відводять нагрівач, а відтак опускають колектор 5, звідки подається підігріте повітря

під тиском 1,0-2,5 МПа, внаслідок чого заготовка отримує задану форму та розміри. Після охолодження термопласту в штампі стиснуте повітря випускають в атмосферу і відводять колектор у початкове положення.

У масовому виробництві для пневматичного штампування використовують багатопозиційні роторні машини, де на кожній позиції відбувається частина технологічного циклу (наприклад, у першій позиції - зняття штамповки й закріплення заготовки; у другій позиції - нагрівання заготовки; в третій позиції - штампування й охолодження).

Різновидом пневматичного штампування є виготовлення порожнистих виробів (фляг, каністр, баків та ін.) з трубчастих заготовок у спеціальних штампах.

Вакуумне штампування відбувається в матриці (або на пуансоні) під дією атмосферного тиску. Щільність між заготовкою та робочою порожниною матриці забезпечується опорним й притискним кільцями та прокладкою. Повітря з порожнини матриці відсмоктується насосом через канали *7* і *8* (рис. 11, *в),* створюючи вакуум. Вакуумне штампування застосовують, коли для формування штамповки достатній тиск, що дорівнює різниці між атмосферним тиском і тиском у порожнині матриці. Під цим тиском нагріта до необхідної температури заготовка прилягає до поверхні матриці. Щоб зафіксувати отриману конфігурацію, штамповку охолоджують.

Недоліками штампування є значні відходи термопласту, різнотовщинність штамповки й невисока продуктивність процесу.

Зварювання полімерних матеріалів

Зварюванням отримують нерознімні з'єднання деталей з термопластів, нагріваючи їх у місцях з'єднання до в'язкорідкого стану й охолоджуючи під незначним тиском. Температура, тривалість нагрівання й тиск стимулюють дифузію макромолекул у пограничних шарах і забезпечують

надійне з'єднання деталей, виготовлених з поліетилену, полістиролу, полівінілхлориду, поліаміду, поліметилакрилату й інших термопластів.

Розрізняють такі способи зварювання полімерних матеріалів:

- нагрітим газом,
- нагрітим металевим інструментом,
- тертям,
- струмом високої частоти,
- ультразвукове зварювання.

Під час ***зварювання нагрітий*** *газ* як теплоносій доводять у зоні з'єднання до в'язкорідкого стану матеріал деталей і присадний прутик. Теплоносієм найчастіше є повітря, нагріте до температури 250-380 °С, а в разі нагрівання інфрачервоними променями для запобігання оксидації полімера - азот або аргон. Струмінь нагрітого газу *5* (рис. 12)

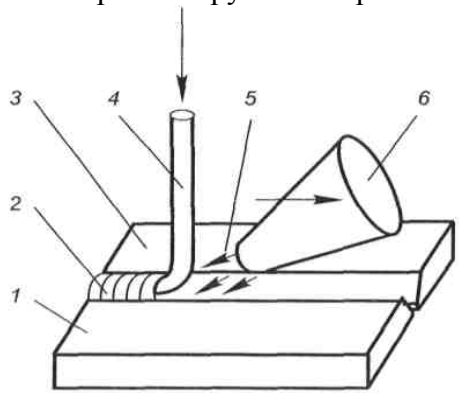


Рисунок 12 – Схема зварювання нагрітим газом: 1,3 – зварювальний лист; 2 – зварний шов; 4 – присадний прутик; 5 – нагрітий газ; 6 – сопло

подають у зону зварювання крізь сопло *6*. Джерелом теплоти є електронагрівач опору або природний газ. Присадний прутик *4* втискають з деяким зусиллям у зазор між

зварювальними листами *1* і *3*, щоб утворити зварний шов *2*. Сопло і присадний прутик вручну переміщають у напрямку шва.

Якщо зварюють без присадного матеріалу, то деталі складають внакладку, по яких вслід за соплом прокочують ролик.

Нагрітий металевий інструмент у вигляді пластини *2* (рис. 13) передає теплоту контактним поверхням заготовок *1, 3,* які необхідно зварити. Інструмент нагрівається електричним струмом. Після розігріву контактних поверхонь інструмент виймають, а нагріті поверхні заготовок остаточно зближують під дією сил *P*. Окрім пластинчастих, використовують також стрічкові, дротяні, клиноподібні роликові та інші інструменти.

Нагрітими металевими інструментами зварюють труби, листи, плівки, точно підтримуючи задану температуру нагрівання полімерного матеріалу й створюючи необхідний тиск.

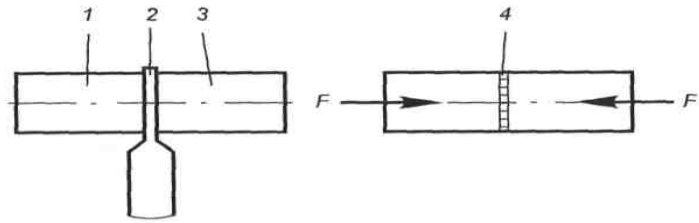


Рисунок 13 - Схема зварювання нагрітим металевим інструментом: 1,3 – заготовка; 2 – металева пластина; 4 – зварний шов; F – сила

Зварювання тертям ґрунтується на нагріванні контактних поверхонь з'єднуваних заготовок *1, 3* (рис. 14) теплотою, що утворюється від перетворення роботи тертя у теплоту. Найчастіше тертя зумовлене обертальним рухом в поєднанні з тиском, створюваним силами *P,* рідше - коли-

вним рухом. Прилеглі до поверхні тертя зони швидко нагріваються з огляду на низьку теплопровідність полімерних матеріалів. Зварювання заготовок з формою тіл обертання провадять на спеціальних установках, рідше - на токарних верстатах. Процес характеризується значною продуктивністю, низькими енергозатратами й високою якістю зварювання однорідних і різнорідних полімерних матеріалів.

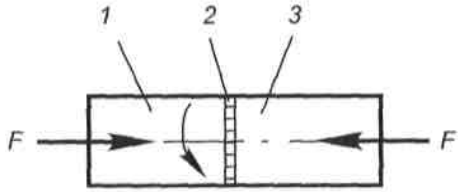


Рисунок 14 – Схема зварювання тертям: 1,3 – заготовка; 2 – зварний шов; F – сила

Зварювання струмом високої частоти характеризується перетворенням електричної енергії у теплову безпосередньо всередині зварювального матеріалу - діелектрика. Під дією змінного електричного поля відбувається зміна поляризації елементарних частинок в зоні зварювання з частотою підведення струму. Ці частинки зазнають коливань, унаслідок чого виникає тертя. Частота струму становить 13-80 МГц. Розрізняють пресове та неперервне зварювання струмом високої частоти.

Пресове зварювання забезпечує отримання контактних швів у вигляді кола, трикутника, квадрата тощо, тобто шов є відтворенням конфігурації робочої поверхні електродів, між якими затиснуті листи.

Неперервне зварювання полягає в тому, що листи, складені внакладку, пропускають між обертальними металевими роликами, внаслідок чого утворюється шов.

Струмом високої частоти зварюють заготовки завтовшки до 5 мм. У них контактні поверхні не перегріваються, а міцність шва дорівнює міцності зварюваного матеріалу. Процес високопродуктивний, особливо якщо зварюють роликовими електродами.

Ультразвукове зварювання ґрунтується на перетворенні енергії механічних коливань ультразвукової частоти у теплоту, необхідну для нагрівання зони контакту з'єднуваних деталей до в'язкорідкого стану. Коливання ультразвукової частоти виникають у вібраторі *5* (рис. 15), посилюються хвилеводом *4* і передаються на заготовки *2* і *3,* затиснуті силами *F* між хвилеводом і опорою *1*.

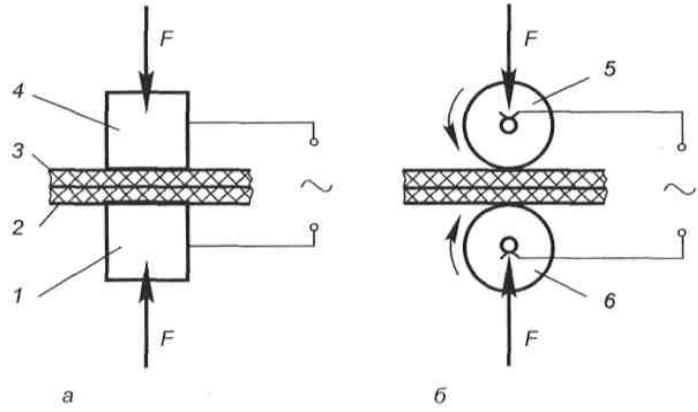


Рисунок 15 – Схема зварювання струмом високої частоти – пресове (а) і неперервне (б): 1,4 – електрод; 2, 3 – лист; 5, 6 – металевий ролик; F – сила

До обмотки *6* підведений струм високої частоти (понад 20 кГц). Заготовки нагріваються лише в зоні контактних поверхонь, що виключає перегрівання. Ультразвуковому зварюванню властиві висока продуктивність і можливість з'єднання у важкодоступних місцях.

Зварювання інфрачервоними променями, здатними проникати в глибину більшості полімерних матеріалів і нагрівати контактні поверхні до необхідної температури. Джерелами інфрачервоних променів є кварцові лампи, нихромові спіралі, селенові або вугільні стрижні. Цим способом найчастіше зварюють плівки на чорній або відбивній підкладці.

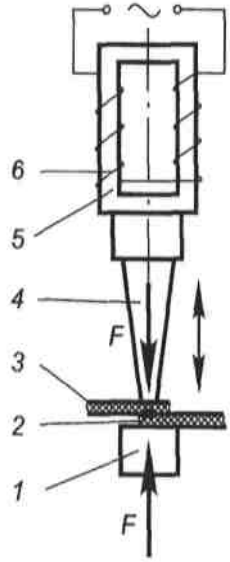


Рисунок 16 – Схема ультразвукового зварювання: 1 – опора; 2, 3 – заготовка; 4 – хвилевід; 5 – вібратор; 6 – обмотка; F – сила

Склеювання деталей з полімерних матеріалів

Склеюванням отримують нерознімні з'єднання деталей з полімерних матеріалів за допомогою клеїв або розчинників. Ці матеріали склеюють також із металами, деревиною, гумою, шкірою, керамікою й тканинами.

Процес складається з таких операцій:

- підготовка контактних поверхонь (зачищення, знежи-

рювання);

- нанесення й підсушування клею;
- складання деталей;
- витримка складених деталей під незначним тиском протягом заданого часу.

Щоб отримати якісне клейове з'єднання, необхідні добра змочуваність клеєм контактних поверхонь і висока його адгезія до склеюваного матеріалу.

Термопласти склеюють розчинниками або клеями. Розчинники після невеликої витримки зумовлюють поверхневе набрякання, яке полегшує взаємну дифузію макромолекул полімерів у зоні контакту під час витримки під тиском. Розчинники використовують, зокрема, для з'єднання деталей з органічного скла, полістиролу, полівінілхлориду, поліаміду та ін. Наприклад, для органічного скла й полівінілхлориду розчинником може бути дихлоретан, для полістиролу – бензол і т.д. Незадовільно з'єднувані такі термопласти, як поліетилен, поліпропілен і політетрафторетилен, перед склеюванням потребують активізації контактних поверхонь хімічними реагентами (кислотами, лугами, розчинами солей тощо). Після цього деталі з них з'єднують різними клеями, виготовленими на основі фенолоформальдегідних смол.

Деталі з термореактивних полімерних матеріалів з'єднують клеями на основі фенолоформальдегідних, карбамідоформальдегідних або епоксидних смол. Щоб пришвидшити процес, до клею додають отверджувачі, а склеєні деталі витримують при підвищених температурах.

Обробка різанням полімерних матеріалів

Різанням підвищують точність розмірів заготовок, виготовлених з полімерних матеріалів, обробляють малі отвори, нарізують різі, зачищають облой тощо. Обробку проводять на металорізальних і деревообробних верстатах.

Низька теплопровідність полімерів спричинює локальне розплавлення термопластів і обвуглювання реактопластів, а підвищена температура в зоні різання й наявність в окремих композитних матеріалах абразивних речовин призводять до швидкого спрацювання різальних інструментів. Щоб уникнути надмірного нагрівання, необхідно вибирати раціональну геометрію різального інструмента й оптимальний режим різання. Мастильно-охолодні рідини часто зумовлюють набрякання оброблюваного матеріалу. Тому застосування їх обмежене. Замість цих рідин для охолодження використовують менш ефективне стиснуте повітря.

Найчастіше для обробки полімерних матеріалів різанням застосовують точіння, свердлення, фрезерування та шліфування.

Точінням обробляють термопласти (полівінілхлорид, органічне скло, поліаміди) й реактопласти. Різці оснащують пластинками зі швидкорізальних сталей і твердих сплавів. Передній і задній кути різця більші, ніж у різців для обробки металів. Рекомендується застосовувати великі швидкості різання (для термопластів до 800 м/хв) і малі подачі (S = 0,08-0,20 мм/об). Для термопластів використовують охолодні емульсії.

Отвори в полімерних матеріалах *свердлять* спіральними свердлами з широкими та глибокими гвинтовими рівчаками. Щоб уникнути заклинювання свердла в термопластах, вибирають кут при вершині 24-70° і кут нахилу гвинтового рівчака 15-17°. Термопласти обробляють свердлами зі швидкорізальних сталей, термореактивні пластмаси - свердлами зі швидкорізальних сталей і твердих сплавів. Рекомендується свердло періодично виймати з отвору й очищувати від стружки. Отвори діаметром понад 8 мм обробляють за 2-3 переходи. Охолоджують переважно стиснутим повітрям.

Фрезерують плоскі й фасонні поверхні, пази, відрізають ливникову систему. Полімерні матеріали, схильні до розшарування, рекомендується фрезерувати за подачею (пряме фрезерування).

Шліфують м'якими кругами з швидкістю різання в межах від 20 до 40 м/с.

Вуглець-вуглецеві композити

Вуглець-вуглецеві композити належать до кераміків. Тут вихідною сировиною для матриці служать термореактивні полімерні смоли. Ними просочують вуглецеві волокна, потім укладають у заданому напрямку і нагрівають в інертному середовищі. Смола обвуглюється, перетворюючись у вуглець. Суміш волокон і вуглецю, що отримали, знову просочують полімерними смолами і обвуглюють. Операцію повторюють кілька разів. У результаті одержують матеріал, який зберігає міцність до температур 2500°С. Одним з основних недоліків вуглець-вуглецевих композитів є здатність до окислювання при високих температурах. Тому ці матеріали захищають тонким шаром кераміки.

Як матрицю також використовують карбід кремнію, нітрид кремнію, скло, ситали. Армування проводять волокнами з карбіду та нітриду кремнію, вуглецевими та металевими волокнами. Волокна відрізняються не тільки за хімічним складом, але і довжиною: існують ниткоподібні кристали (вуси), короткі волокна і дуже довгі (безперервні).

Хімічна природа матриці та зміцнювача, а також довжина волокон визначають спосіб створення керамічних композитів. Короткі волокна і ниткоподібні кристали змішують з порошком, а потім спікають. Довгі волокна просочують суспензією керамічного порошку в рідині і спікають. Якщо як матрицю використовують скло, то компо-

зит нагрівають до необхідної в'язкості і відразу пресують вироби.

Якщо в інших типах композитів основне навантаження несуть волокна, то основна роль волокон у керамічних композитах полягає в тому, що вони гальмують ріст тріщин у матриці.

Композити на основі карбіду і нітриду кремнію використовують під час виробництва авіаційних двигунів, газових турбін (ККД газової турбіни залежить від температури теплоносія на вході). Якщо високолеговані сучасні сталі витримують температуру 650-750°С, то застосування кераміки на основі карбіду і нітриду кремнію дозволяють підняти робочі температури до 1400-1700°С.

Металеві композити

Виробництво металокомпозитів почалося з 1970 року, коли в США освоїли випуск борних волокон для армування алюмінію. Волокна одержували осадженням бору з газової суміші водню і трихлористого бору на нагрітому вольфрамовому дроті діаметром 12,5 мкм. Потім наносився шар (2-3 мкм) карбіду кремнію або карбіду бору для підвищення термостійкості і рівня адгезії з матеріалом матриці. Згодом вольфрам замінили на вуглецеву основу. Міцність борних волокон становить 300-400 кг/мм^2. Сьогодні для армування металів усе частіше застосовують волокна з карбіду кремнію та окису алюмінію. Особливий інтерес становить карбід кремнію завдяки малій густині, високій хімічній стійкості, стабільності властивостей у широкому інтервалі температур починаючи від абсолютного нуля і до 500°С. Розроблені технології виробництва безперервних волокон карбіду кремнію - ніканолу, а також ниткоподібних кристалів карбіду кремнію. Міцність кристалів досягає 1400 кг/мм^2, при досить високому модулі пружності.

Технологія одержання металокомпозиту передбачає укладання за потрібним профілем волокон і плазмове напилювання на них металу.

Багатошарові композити, отримані таким способом, є заготовками для майбутніх деталей.

Ниткоподібні кристали, як правило, просочують розплавом або користуються методом порошкової металургії. Металокомпозити можна піддавати механічній обробці (пресуванню, різанню, фрезеруванню та ін.).

4 НЕОРГАНІЧНІ МАТЕРІАЛИ

Основою *неорганічних полімерних матеріалів* є головним чином оксиди й безкисневі з'єднання металів. Ці матеріали характеризуються негорючістю, високою стійкістю до нагрівання, хімічною стійкістю. Вони не піддаються старінню, мають велику твердість і добрий опір стискаючим навантаженням. Поряд із цим неорганічні полімерні матеріали мають підвищену крихкість, погано переносять різку зміну температур, слабко опираються розтягуючим і згинаючим зусиллям, мають більшу щільність у порівнянні з органічними полімерними матеріалами.

Графітові матеріали

Графіт - неорганічний полімерний матеріал, кристалічні ґрати якого утворено паралельними шарами гексагональних сіток. Між атомами вуглецю усередині цих сіток існує ковалентний зв'язок, а між шарами - вандерваальсова взаємодія. Графіт має шарувату структуру.

За походженням розрізняють природні й штучні графіти. Джерелом природних графітів є мінерали.

Природний графіт - мінерал, найпоширеніша й стійка в земній корі гексагональна поліморфна модифікація вуглецю метаморфічного, магматичного походження. Він становить

собою темно-сірі до чорних лускаті агрегати, конкреції, суцільні маси. Структура шарувата.

Характерні властивості природного графіту:

• теоретична щільність - 2265 кг/м^3;

• температура сублімації - 3700°С.

Графіт сублімує, минаючи стадію плавлення, з витратою значної теплової енергії на цей процес (рідкий стан вуглецю може бути досягнуто лише при 4000°С і тиску вище 10 Мпа);

• проанізотропія - 3:1 - 100:1;

• висока теплопровідність;

• низький коефіцієнт лінійного розширення, що незначно зростає з підвищенням температури;

• висока жароміцність і стійкість до теплових ударів;

• твердість за шкалою Мооса: по осі симетрії 6-1; перпендикулярно до осі симетрії 6-5,5;

• легкооброблюваний;

• крихкий;

• гарні антифрикційні властивості f=0,28);

• висока електропровідність;

• ступінь чорноти - 0,7 - 0,9;

• схильність до окислювання, починаючи з температур 400 - 800°С, з виділенням газоподібних продуктів.

Для оцінки твердості мінералів використовують десятибальну шкалу відносної твердості Мооса. Відносна твердість за цим методом визначається шляхом дряпання досліджуваного мінералу гострими краями еталонних матеріалів (або навпаки). Умовні одиниці шкали Мооса відповідають таким мінералам-еталонам: 1 - тальк, 2 - гіпс, 3 - кальцит, 4 - флюорит, 5 - апатит, 6 - ортоклаз, 7 - кварц, 8 - топаз, 9 - корунд, 10 - алмаз.

Якість природних графітів невисока; вони містять багато домішок, пористі, властивості майже ізотропні. Тому їх застосовують лише як антифрикційний матеріал і в елект-

ротехніці. Використовується також природний графіт у металургії (плавильні тиглі, ливарні форми, протипригарні фарби), в хімічному машинобудуванні (футерувальний матеріал, труби й ін.), під час виготовлення електродів, лужних акумуляторів, олівців й ін.

Графіт, призначений для виготовлення активних мас лужних акумуляторів і мас для графітизованих антифрикційних виробів з кольорових металів, випускається таких марок: ГАК-1 - для акумуляторних виробів спеціального призначення; ГАК-2, ГАК-3 -для виготовлення активних мас лужних акумуляторів і мас графітизованих антифрикційних виробів з кольорових металів.

Штучні графіти ділять за видом вихідної сировини на *технічні* (ПРОГ, ПГ-50) і *піролітичні (пірографіти).* Для одержання технічних графітів використовується тверда сировина, наприклад, нафтовий кокс із кам'яновугільним пеком як сполук. Пірографіти одержують із газоподібної сировини (наприклад, метану й ін.).

Штучні графіти мають кристалічну будову. З високою анізотропією властивостей (коефіцієнти теплопровідності пірографіта уздовж і поперек шарів відповідно, дорівнюють 372 й 1,16 - 3,5 Вт/(м·К) і є високотемпературними конструкційними матеріалами. Для цих графітів характерне збільшення міцності й модуля пружності під час нагрівання. До температур 2200-2400°С міцність технічного графіту підвищується на 40 - 60% і лише при подальшому нагріванні починає знижуватися. При температурі вище 1700°С з'являється повзучість. Питома міцність під час нагрівання зберігається високою (для пірографіта $\sigma/\rho_0 = 1{,}1 \cdot 10^4$ м).

Конкретні властивості штучних графітів залежать від технології одержання, щільності, ступеня окислювання, орієнтації кристалів й ін. Властивості штучних графітів наведені в табл. 1.

Серед способів впливу на властивості графітів можна виділити три основні групи:

1) легування (Nb, Ta, Si) з метою створення дрібнозернистої структури, що забезпечує високу твердість і міцність матеріалу;

2) хіміко-термічна обробка - силіціювання;

3) покриття керамікою.

Таблиця 1- Властивості штучних графітів

Вид графіту	Об'ємна маса, кг/м^3	Пористість, %	Межа міцності, Мпа			Модуль пружності, ГПа	Коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м · К)	Коефіцієнт лінійного розширення $\alpha \cdot 10^{-4}$, c^{-1}
			при розтяганні	при стиску	при вигині			
ПРОГ	1640	24	10,5:5	50,3:47	17:6,1	8,75: 6	3756	1,9-5
ПГ-50	1020	52	3852	11,6 11,6	758	1,7	—	—
Пірографіт	1920-2200	1,5	_	460-485 105-150	105	При стисненні 11270	1,16-3,5 372	23,500
			114-133				372	0,0225

Примітка. У чисельнику наведені властивості графіту в перпендикулярному напрямку, у знаменнику - властивості в поздовжньому напрямку.

Графіт застосовують в експлуатованих при високих температурах конструкціях літальних апаратів і двигунів, в енергетичних ядерних реакторах як антифрикційний матеріал й у вигляді вуглеграфітових виробів. Графіт може застосовуватися і як провідник тепла, і як теплоізолятор.

Азбестові матеріали й вироби

Азбестові матеріали

Для одержання азбестових матеріалів використовують головним чином хризотил-азбест й меншою мірою амфіболові

азбести. Промисловість випускає їх у вигляді порошків, а також аркушів і рулонів з азбестового волокна; іноді вводять наповнювач і невелику кількість клеючих речовин (крохмалю, казеїну й ін.), одержуючи азбестовий папір, картон, шнур. Волокна азбесту, що вводять до бітумно-гумової в'язкої речовини, можуть відігравати роль дисперсних арматур.

Азбестодіатомітовий порошок - суміш азбесту (15%) і меленого діатоміту або трепелу (85%), іноді з добавками інших речовин (відходів азбестоцементних заводів, слюди). Щільність теплоізоляції - 450-700 кг/м3 при теплопровідності 0,093-0,21 Вт/(м·К).

Совелітовий порошок - суміш легкого основного карбонату магнію й карбонату кальцію з азбестом, застосовувана при температурах до 500°С. Готова совелітова теплоізоляція має щільність 450 кг/м3 і теплопровідність не більше 0,098 Вт/(м·К).

Азбестомагнезіальний порошок (ньювель) готують у вигляді суміші основного карбонату магнію з азбестом і застосовують для теплоізоляції при температурах до 350°С. Випускають у вигляді порошку для теплоізоляційної засипки, виготовлення мастики, а також виготовлення плит, шкарлуп, сегментів.

Азбестовий картон одержують із азбесту (65%), каоліну (30%) і крохмалю (5%) на листопрокатних агрегатах у вигляді листів довжиною й шириною 900-1000 мм і товщиною 2-10 мм. Щільність - 1000-1400 кг/м^3, теплопровідність у сухому стані - 0,157 Вт/(м·К), межа міцності при розтяганні - не менш 0,6 МПа, вологість - не більше 3% за масою. Використовують як вогнестійкий теплоізоляційний матеріал.

Азбоволокніти одержують просоченням азбесту фенолоформальдегідною смолою. Вони володіють високими ударо міцністю, тепло - (понад 200°С) і хімічною стійкістю, фрикційними властивостями й застосовуються для виготовлення елементів гальм (накладки, колодки, диски підйомно-

транспортних пристроїв, автомобілів й ін.), кислототривких конструкцій (апарати, ванни, труби та ін.).

Азботекстоліт - матеріал, одержуваний просоченням азбестової тканини полімерною зв'язувальною речовиною (до 38 - 43%). Найбільш високою теплостійкістю (до 300°С) володіє матеріал на кремнієорганічній зв'язувальній речовині, а механічна міцність вище у фенольних азботекстолітів. За призначенням азботекстоліт є конструкційним, фрикційним (f= 0,3 - 0,38 - без змащення й f = 0,05 - 0,07 - зі змазуванням маслом) і термоізоляційним матеріалом. З азботекстоліту роблять лопатки ротаційних бензонасосів, фрикційні диски, гальмові колодки й ін.

Бризол виготовляють, прокочуючи масу, отриману змішуванням нафтового бітуму, дробленої гуми (від зношених автопокришок), азбестового волокна й пластифікатора. Бризол стійкий до 60°С до сірчаної й соляної кислот при концентраціях відповідно до 40 й 20%. Його застосовують для захисту від корозії підземних металевих конструкцій і трубопроводів, приклеюючи до поверхні бітумною мастикою.

Ізол – безосновний рулонний гідроізоляційний і покрівельний матеріал, виготовлений прокаткою гумово-бітумної композиції, отриманої термомеханічною обробкою девулканізованої гуми, нафтового бітуму, мінерального наповнювача (волокон азбесту), антисептика й пластифікатора. Ізол відрізняється підвищеною еластичністю, біостійкий, незначно поглинає вологу, довговічніший за руберойд більш ніж удвічі. Ізол застосовують для гідроізоляції гідротехнічних споруджень, басейнів, резервуарів, підвалів, антикорозійного захисту трубопроводів, покриття дво- і тришарових пологих і плоских покрівель. Приклеюють ізол холодною або гарячою мастикою з тією самою назвою.

Гідроізол - гідроізоляційний рулонний безпокрівний азбестовий картон, просочений нафтовим бітумом. Гідроізол за водонепроникністю, водопоглинанням і величиною розривного

зусилля при розтяганні смужки шириною 50 мм випускають двох марок: ГІ-Г і ДО. Він призначений для створеня гідроізоляційного шару в підземних і гідротехнічних спорудах, а також для захисного протикорозійного покриття.

Низькі сорти волокон, пил, а також тонко здрібнений азбест застосовують у малярських роботах для приготування сумішей, для вирівнювання, вогнестійких фарб і як наповнювач у масляних, цементних, емульсійних, силікатних й інших фарбах. У шпаклівках азбест служить армуючим матеріалом.

Азбестоцементні вироби

Азбестоцемент - композиційний штучний камнеподібний матеріал, одержуваний у результаті твердіння суміші, що складається із цементу, води й азбесту, яка в азбестоцементі армує цементний камінь, забезпечуючи високу міцність виробів при розтяганні й вигині. Під час виробництва кольорових азбестоцементних виробів в азбестоцементну суміш додають барвники.

Для азбестоцементних виробів марок 400 й 500 як в'язку речовину використовують спеціальний портландцемент, а також піщанистий з додаванням меленого піску й білий портландцемент.

Для виробництва азбестоцементних виробів застосовують 3, 4, 5 й 6-й сорти азбесту з довжиною волокон від 10 мм і менше до декількох сотих, вміст яких становить 50-24% за масою. Інші 50-76% припадають на частку пилоподібних й інших неволокнистих часток. У деяких випадках 10 - 15% азбесту заміняють базальтовою мінеральною ватою або жужільною ватою.

Як правило, в азбестоцементну суспензію вводять добавки (пластифікатори, гідрофобізатори, пігменти й ін.), які поліпшують її технологічні властивості й підвищують якість виробів.

Механічні властивості азбестоцементу залежать від вмісту азбестового волокна і його якості (довжини й діаметра волокон), активності цементу, щільності азбестобетону, умов твердіння й ін. При щільності 1600-1800 кг/м^3 азбестоцемент має межі міцності вище меж міцності цементного каменю: при розтяганні в 3-5 разів - 8,8-11,2 МПа; при вигині в 2-3 рази - 17,2 - 24,5 МПа.

Азбестоцемент відрізняє висока гранична розтяжність - 8-16·10^4, що перевищує розтяжність цементного каменю в 6-10 разів. Теплопровідність при щільності 1900 кг/м^3 і природній вологості становить 0,35 Вт/(м·К). Гранична температура застосування азбестоцементних виробів на портландцементі 250°С, але значне зниження міцності настає після нагрівання до 400-500°С. Однак при використанні в'язкої речовини із кремнеземистими добавками можна одержати вироби, що витримують температуру 1000°С.

Азбестоцемент має малу електропровідність, стійкість проти вилужування мінералізованими водами, високу вогнестійкість, водонепроникність, корозійну стійкість і морозостійкість. Морозостійкість і довговічність азбестоцементу залежать від його щільності. Так, при щільності 1650 кг/м^3 морозостійкість - 50 циклів, а при 1800 кг/м^3 - 100 циклів.

Азбестоцемент легко пиляється, свердлиться й шліфується. До недоліків його відносять крихкість, знижену міцність при насиченні водою й схильність до жолоблення. Ці недоліки усуваються технологічними (введення добавок, автоклавна обробка, пресування, армування) і конструктивними методами.

Азбестоцементні вироби підрозділяють *за способом* їхнього *виготовлення* й *за призначенням.* Залежно від способу виготовлення вони випускаються у вигляді аркушів, панелей, плит, труб і фасонних виробів. За призначенням розрізняють

будівельні азбестоцементні (покрівельні, стінові, лицювальні, для елементів будівельних конструкцій) і *електротехнічні азбестоцементні вироби.*

Захист від вологи й необхідні декоративні властивості листам, призначеним для облицювання стін і панелей санітарних вузлів і кухонь, забезпечують фарбуванням водонепроникними лаками, емалями й смолами. Внутрішні поверхні азбестоцементних газопровідних труб для зниження витікання газу обов'язково покривають смолами.

У зв'язку з виявленими останнім часом канцерогенними властивостями азбесту його застосування можливе лише з дозволу відповідних санітарних служб.

Слюдяні матеріали

Слюдяні електроізоляційні матеріали складаються з листків слюди, склеєних за допомогою якої-небудь смоли або лаку. Основна сфера застосування клеєних слюдяних матеріалів - виготовлення ізоляції, обмоток електричних машин високої напруги (генератори, електродвигуни), а також машин низької напруги нагрівостійкого виконання й машин, що працюють у тяжких умовах експлуатації.

До клейових слюдяних матеріалів відносять *міканіти, мікафолій, мікастрічки* й *мікаполотно.*

Міканіти становлять собою тверді або гнучкі листові матеріали, одержувані склеюванням (рис. 17) з подальшим пресуванням листочків щипаної слюди (мусковіт, флогопіт або їхньої суміші) за допомогою лужної, гліфталевих, кремнієорганічних й інших смол або лаків на основі цих смол.

Основні види міканітів - *колекторні, прокладні, формувальні* й *гнучкі.* Колекторний і прокладний належать до групи твердих міканітів, які після склеювання слюди піддаються пресуванню при підвищених питомих тисках і нагріванні (150-160°С).

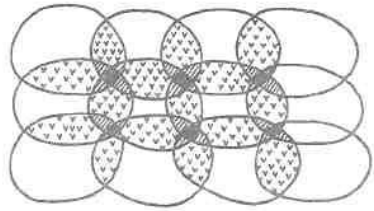


Рисунок 17 – Розкладка щипаної слюди в один шар при одержанні міканітів

Склад твердих міканітів після обробки: 80 - 95% слюди й 20 - 5% речовини, що клеїть. Ці міканіти мають меншу усадку за товщиною й мають більшу щільність. Формувальний і гнучкий міканіти мають більш пухку структуру й мають меншу щільність.

У марках міканіту перша літера вказує на його призначення (К - колекторний, П - прокладний, Ф - формувальний, Г - гнучкий); друга - на тип використовуваної слюди (М - мусковіт, Ф - флогопіт, З - суміш слюди); третя - тип смол для твердих міканітів (Г - гліфталева смола, Ш - лужна смола, К – кремнієорганічна смола) або лаків для гнучкого (С – світлий масляно-гліфталевий лак, Ч - чорний масляно-бітумний). Четверта літера показує: А - знижений вміст клейкої речовини для твердих міканітів; ОБ - міканіт, обклеєний спеціальним папером для гнучких міканітів.

Мікафолій - рулонний або аркушевий електроізоляційний матеріал, формований у нагрітому стані. Виготовляється з одного або кількох (двох-трьох) листочків слюди (мусковіт або флогопіт), склеєних між собою й з полотном паперу (товщиною 0,05мм) або зі склотканиною (склосіткою). Як клеючий лак застосовують лужний, гліфталевий, поліефірний або кремнієорганічний.

Мікафолій містить 45 - 60% слюди, 17 - 32% речовин, що склеюють, інше – папір і леткі речовини. Маркування міка-

фолію аналогічне прийнятому для міканітів, але на першому місці ставиться літера М.

Мікастрічка - склеєні пластинки слюди, із двох сторін обклеєні тонким папером.

Під час розроблення природної слюди й виготовлення електроізоляційних матеріалів на основі скіпаної слюди утворюється велика кількість відходів. У результаті утилізації цих відходів одержують *слюдинітові матеріали* (слюдиніти).

Слюдинітові матеріали одержують зі слюдинітового паперу, попередньо обробленого якою-небудь сполукою, що клеїть (смоли, лаки). Номенклатура слюдинітових електроізоляційних матеріалів приблизно та сама, що й матеріалів на основі скіпаної слюди: колекторний, формувальний і гнучкий слюдиніти, слюдинітофолій, слюдинітова стрічка та ін.

5 КЕРАМІЧНІ МАТЕРІАЛИ

Загальні відомості

Кераміка - неорганічні полікристалічні матеріали, одержувані зі сформованих мінеральних мас (глини і їхньої суміші з мінеральними добавками) у процесі високотемпературного (1200-2500°С) спікання.

У керамічній технології використовують головним чином каоліни й глини, а також й інші види мінеральної сировини, наприклад чисті оксиди. Під каолінами й глинами розуміють природні водні алюмосилікати з різними домішками, здатні при змішуванні з водою утворювати пластичне тісто, що після випалу необоротно переходить у камнеподібний стан.

Керамічні вироби виготовляють способами пластичного формування й напівсухого пресування з подальшим сушінням і спіканням.

При нагріванні глини під час спікання в ній починають послідовно відбуватися хімічні й фізико-хімічні процеси, що приводять до повної й необоротної зміни її структури:

1) видалення хімічно зв'язаної води (500-600°С);
2) розкладання зневодненої глини на оксиди (800-900°С);
3) утворення нових водостійких і тугоплавких мінералів;
4) утворення деякої кількості розплаву з легкоплавких компонентів глини (900-1200°С);
5) утворення міцного камнеподібного матеріалу за рахунок зв'язування твердих часток розплавом, що утворився.

При спіканні відбуваються такі процеси, як дегідратація компонентів, деструкція органічних технологічних домішок (полімери, поверхнево-активні речовини), дисоціація нестійких неорганічних з'єднань, процеси окислювання й відновлення, плавлення деяких компонентів, поліморфні перетворення й т.д. У підсумку після охолодження склоподібний, можливо, частково закристалізований розплав зв'язує зерна більш тугоплавкого компонента, утворюючи міцний моноліт.

Склад кераміки утворений багатокомпонентною системою і містить:

• *кристалічну фазу* (більше 50%) — хімічні сполуки й (або) тверді розчини;

• *склоподібну* (або *аморфну) фазу* (1 - 40%) - прошарок скла, хімічний склад якого відрізняється від хімічного складу кристалічної фази;

• *газову фазу* - гази, що перебувають у порах.

Кристалічна фаза є основою кераміки й визначає значення механічної міцності, термостійкості й інших основних властивостей. Склоподібна фаза погіршує механічну міцність і теплові показники, однак стклоутворювальні компоненти (глинисті речовини) полегшують технологію виготовлення виробів.

За структурою порового простору розрізняють кераміку з відкритими, тобто сполученими із зовнішнім середови-

щем, і закритими порами. Наявність навіть закритих пор веде до зниження механічної й електричної міцності, зростання електричних втрат.

Кераміка - ізотропний матеріал, тому що становить собою полікристалічну речовину із дрібними безладно розміщеними кристалами. Кераміку з анізотропією властивостей одержують на основі монокристалів. Сегнето- і п'єзокераміку одержують при збереженні залишкової поляризації.

Властивості кераміки визначаються її складом, структурою й пористістю. До основних властивостей керамічних матеріалів відносять:

• щільність – 1800 - 3900 кг/м^3 і більше;

• водопоглинання - для пористої кераміки 6-20% за масою (12-40% за об'ємом), а для щільної – 1-5% за масою (2-10% за об'ємом);

• теплопровідність залежно від пористості й хімічного складу - 0,8-1,16 Вт/(К). Порівняно висока теплопровідність у кераміки на основі $A1_20_3$ й особливо на основі BeO;

• $\sigma_{розт}$= 30 - 300 МПа, $\sigma_{сж}$ = 3000 МПа й більше;

• твердість, близька до твердості алмаза;

• крихкість;

• високий електричний опір, відмінні діелектричні властивості;

•дугостійкість;

• водо-, хімічна, корозійна й жаростійкість.

Недоліком кераміки є висока усадка при спіканні - 20-25% і вище, що створює труднощі із забезпеченням точних розмірів виробу. Обробка готових виробів ускладнена, тому що спечена кераміка має високу твердість, ріжеться зі складнощами й тільки абразивами.

Способами впливу на властивості керамічних виробів є хіміко-термічна обробка й використання покриттів, у тому числі *глазурі.*

Глазур - захисно-декоративне склоподібне покриття на кераміку, закріплене випалом.

Міцність кераміки з таким покриттям підвищується на 15-20%, що зв'язано зі стискальними напругами в поверхневому шарі, які виникають через різницю температурних коефіцієнтів лінійного розширення кераміки й глазурі. Однак глазур збільшує електричні втрати, тому її не застосовують у високочастотній електричній кераміці.

Вироби з кераміки з'єднують один з одним й іншими матеріалами за допомогою склокристалічного цементу з подальшою термічною обробкою при 400-600°С, клеїв і замазок на основі епоксидної смоли й рідкого скла, а також металізацією з подальшим паянням.

Кераміку класифікують *за речовинним складом, складом кристалічної фази, структурою і призначенням.*

За речовинним складом різновидами кераміки є *фаянс, напівпорцеляна, порцеляна, теракота, кермети, корундова* й *надтверда кераміка* й так звана *кам'яна маса.*

Фаянс, напівпорцеляну й *порцеляну* одержують на основі білих глин, що випалюються, каолінів, кварцу й польового шпату, узятих у різних співвідношеннях. Вони мають різну пористість, що визначає механічні властивості й водопоглинання. Водопоглинання фаянсу - 10-12%, межа міцності при стиску, як правило, до 100 МПа. Напівпорцеляна в порівнянні з фаянсом має більше спечений черепок (водопоглинання 3- 5%), і його міцність вища ($\sigma_{сж}$ = 150-200 МПа). Порцеляна відрізняється ще більшою щільністю (водопоглинання 0,2-0,5%) і міцністю ($\sigma_{сж}$ - до 500 МПа), що дозволяє виготовляти з нього тонкостінні вироби.

Теракота - керамічні вироби (лицювальні плити, архітектурні деталі, посуд і т.д.) з пористим черепком, звичайно червоного, коричневого або кремового кольору.

Кермети (кераміко-металеві матеріали) - штучні матеріали, одержувані спіканням металевих і керамічних порошків, що поєднують властивості металів і керамічних речовин. Вироби

з кермету - деталі турбін й авіаційних двигунів, різальний інструмент й ін.

Корундова кераміка (мінералокераміка) - це кераміка на основі спеченого оксиду алюмінію, що містить не більше 2% домішок.

Надтверда кераміка - композиційний матеріал, одержуваний на основі нітриду бору.

За складом кристалічної фази розрізняють кераміку із чистих оксидів ($A1_20_3$, $Zr0_2$, Mg, Be, Ca й ін.) і безкисневу (Si, Ti_2, Zr_2, BN, Si_3N_4, $MoSi_2$).

За структурою (характером будови черепка) кераміка поділяється на *щільну (ρ*= 1-2%) і *пористу (ρ*= 15-20%). Пористі кераміки поглинають більше 5% води (за масою), а щільні -1-4% за масою або 2-8% за обсягом. Пористу структуру мають цегла, блоки, черепиця, дренажні труби й ін.; щільну - плитки для підлог, каналізаційні труби, санітарно-технічні вироби.

За призначенням кераміку поділяють на *конструкційну, інструментальну, технічну* й *побутову.*

Конструкційна кераміка

Конструкційна кераміка виробляється як *будівельна* й *машинобудівна.*

У будівництві конструкційну кераміку використтовують як довговічний матеріал, стійкий проти зношування, нагрівання й агресивних середовищ. За призначенням будівельні керамічні матеріали й вироби поділяють на види, подані в табл. 2.

З машинобудівної кераміки виготовляють поршні й головки блоків циліндрів (Si_3N_4), свічі запалювання ($A1_20_3$), лопаті газових турбін ($MoSi_2$), вакуумостійкий мастильний матеріал (MoS_2) та ін.

Таблиця 2 – Види будівельних керамічних матеріалів і виробів за призначенням

Вироби	Додаткові відомості
Цегла, цегла й камені пустотілі та пористі, великі панелі із каменів. Керамічні цегли випускаються суцільними й модульними, що мають круглі або щілинні пустоти	Стінові Основні властивості керамічних цегл: • щільність суцільної цегли - 1600-1900 кг/м^3; • межа міцності на стиск визначає марку - 250, 300; • морозостійкість цегли повинна бути не менше 15 циклів поперемінного заморожування й відтавання (передбачені і більше високі марки за морозостійкістю - 25,35 і 50). Цегла не повинна мати механічних пошкоджень і наскрізних тріщин. На одній цеглі допускається не більш ніж дві відбитості ребер і кутів розміром за довжиною ребра не більше 15 мм. На окремих цеглинах може бути допущена одна тріщина довжиною не більше 30 мм
Пустотілі балки й панелі пустотілих каменів	Елементи перекриттів Пустотілі елементи перекриттів: • камені для армокерамічних балок 1300 кг/м^3; • камені для часторебристих перекриттів 1000 кг/м^3; • камені для накатів щільністю до 1000 кг/м^3.
Цегла й камені керамічні лицьові, килимова кераміка, плитки керамічні фасадні	Для зовнішнього облицювання Фасадні керамічні вироби застосовують для фасадних поверхонь стінових панелей, будинків, лоджій, для обробки будинків – поясів, карнизів. Для обробки збірних конструкцій, для облицювання готових цегляних і бетонних стін використовують глазуровані і неглазуровані великорозмірні (250х140х10 мм) і цокольні (150х75х7мм) плити. Ці плити повинні мати спечений черепок і водопоглинання не більше 5%. Лицьові цегли й керамічні камені застосовують для кладки одночасно з облицювальнням зовнішніх і внутрішніх стін будинків. Випускають лицьові цегли й керамічні камені з гладкою та рельєфною лицьовою поверхнею

Продовження таблиці 2

Вироби	Додаткові відомості
Плити і плитки для стін і підлоги	*Для внутрішнього облицювання* Керамічні плитки для внутрішнього облицювання стін виготовляються з пористою структурою, лицьова поверхня їх покривається глазур'ю, що надає плиткам водонепроникності і стійкість проти впливу слабких розчинів кислот і лугів. Для внутрішнього облицювання стін випускають різноманітні за формою плитки: квадратні (150х150 мм), прямокутні з прямими крайками (150х100 й 150х75 мм). Плитки виготовляються плоскими, рельєфними, орнаментованими, з кольоровими малюнками. Керамічні плитки для підлог виготовляють із тугоплавких і вогнетривких каолінових глин з різними домішками і, якщо потрібно, забарвлювальних домішок. Підлоги з керамічних плиток практично водонепроникні, характеризуються малою стираністю, не дають пилу, легко миються, стійкі до дії кислот і лугів. Недоліком плиток є більша теплопровідність (підлоги холодні), що не дозволяє застосовувати їх у житлових приміщеннях. Плитки виготовляють квадратні, прямокутні, шестигранні, восьмигранні, трикутні; довжина граней - 50-150 мм і товщина - 10-13 мм. Для зниження трудомісткості створення чистої підлоги виготовляють мозаїчні плитки квадратної або прямокутної форми розміром 23 й 48 мм при товщині 6 - 8 мм. Мозаїчні плитки на заводі наклеюють лицьовою стороною на крафт-папір по певному малюнку, одержуючи килими розміром 398х598 мм. Керамічні глазуровані плитки застосовують для облицювання стін кухонь і санітарних вузлів житлових будинків, шкіл, дитячих садів, лікарень і поліклінік, торговельних підприємств, приміщень із підвищеною вологістю (бань, пралень), а також для облицювання внутрішніх стін лабораторних приміщень

Продовження таблиці 2

Вироби	Додаткові відомості
Керамічна черепиця	*Керамічні санітарно-технічні вироби* виготовляють із фаянсу, напівпорцеляни й порцеляни. З фаянсу переважно методом лиття роблять унітази, умивальники, змивні бачки, ванни й ін. Напівпорцеляна і порцеляна застосовуються для виробництва більш тонкостінних виробів. *Покрівельні (черепиця) плитки* Керамічна черепиця повинна витримувати не менше 25 циклів поперемінного заморожування й відтавання в насиченому водою стані. Випускається *пазова стрічкова, пазова штампована, плоска стрічкова, хвиляста стрічкова, s-подібна стрічкова* й *конькова*
Дренажні і каналізаційні труби	*Для підземних комунікацій* *Дренажні труби* роблять із цегельних високопластичних глин. Для цих труб водопоглинення черепка допускається не більше 15%, морозостійкість - не нижче 15 циклів. Промисловість випускає *гладкі неглазуровані труби без розтрубів* або *глазуровані з розтрубом і перфорацією на стінках*. Застосовують труби під час меліоративних робіт, а також під час осушення. *Каналізаційні труби* виготовляють із пластичних вогнетривких або тугоплавких глин. Вони повинні витримувати гідростатичний тиск не менш 0,2 МПа. Водопоглинання черепка труб: не більше 9% для I сорту й 11% для II сорту. Поверхню труб зовні й зсередини покривають кислотостійкою глазур'ю. Довжина каналізаційних труб - 800-1200 мм. Ці труби на одному кінці мають розтруб. Каналізаційні труби застосовують для відведення стічних і лужних вод

Продовження таблиці 2

Вироби	Додаткові відомості
Теплоізоляційні, вогнетривкі, кислотостійкі та інші вироби	*Плитки спеціального призначення* Для високотемпературної теплоізоляції різних промислових печей і теплових агрегатів використовують волокнисті керамічні матеріали - *алюмосилікатні волокна,* що мають високу міцність, термічну стійкість і малу теплопровідність. Волокнисті керамічні матеріали здатні в порівнянні із кремнеземними (близькими за властивостями) матеріалами довгостроково витримувати температури 1650-1700°С, не боятися домішок і володіють в 2-2,5 раза вищою міцністю. Основними недоліками, що стримують застосування волокнистих матеріалів, є низькі міцність і корозійна стійкість і помітне пиловиділення, що вимагає використання спеціальних об'ємних і поверхневих покриттів (високотемпературні корозійностійкі терморегулювальні покриття). Керамічні вогнетривкі вироби одержують відливком з розплаву або відпалом мінеральної суміші. Більшість керамічних вогнетривких виробів *(вогнетривів)* - це кераміка на основі $Si0_2$, $A1_20_3$, Mg, $Zr0_2$, Be, $Th0_2$, а також на основі Si, Si_3N_4 й інших безкисневих з'єднань. Можливі температури експлуатації оксидів, карбідів, боридів і нітридів - 1600-2500°С, жароміцних сталей і сплавів – 800-1200°С, молібдену – 1500°С, вольфраму – 1800°С. Найбільше поширення в будівництві й промисловості будівельних матеріалів одержали кремнеземисті й алюмосилікатні вогнетривкі вироби
Дорожня (клінкерна) цегла	*Дорожня цегла* Виробляють із тугоплавких глин, обпалюючи їх до спікання. Дорожня цегла має марки 400, 600 і 1000. Її водопоглинання повинне бути 2-6%, морозостійкість – 50-100 циклів поперемінного заморожування й відтавання. Дорожню цеглу можна застосовувати для мощення доріг і тротуарів, підлог промислових будинків, кладки каналізаційних колекторів
Керамзит	*Заповнювачі для легких бетонів* Штучний пористий заповнювач типу гравію для легких бетонів. Розмір зерен - 5-40 мм. Одержують відпалом легкоплавких глин, що спучуються

Інструментальна кераміка

Як інструментальний матеріал використовується *корундова* й *надтверда кераміка.*

Корунд відомий у техніці природними й синтетичними різновидами. Природні різновиди корунду - рубін, сапфір, топаз, аквамарин, синтетичні - корундова кераміка, серед виробів якої - мікроліт й электрокорунд.

Найпоширеніший корундовий виріб - *мікроліт* (марка ЦМ-332) - одержують спіканням при 1700-1750°С суміші тонкомолотого технічного глинозему й оксиду магнію.

Мікроліт за властивостями перевершує інші інструментальні матеріали: щільність - до 3960 кг/м^3; $\sigma_{сж}$=5000 МПа, твердість – 92-93 HRA. Він володіє значно більшою красностійкістю (до 1200°С), твердістю й різальною здатністю, ніж швидкорізальні сталі й тверді сплави.

Різці із пластинками з мікроліта використовують для обробки сталей, чавунів, кольорових металів, неметалів (графіту, дерева, пластмас та ін.).

З мікроліта виготовляють також фільєри, сопла піско- і дробоструминних апаратів, волоки й інші деталі, що працюють на стирання при найбільш високих температурах. Недоліки мікроліта - висока крихкість й утрудненість кріплення пластинок до державок.

Електрокорунд (коракс) - корундова кераміка зі спеченого оксиду алюмінію з добавками Cr^{3+}, Fe^{3+}, одержувана плавкою в електричних печах глиноземної сировини, що має не більше 2% домішок.

Електрокорунд за твердістю поступається лише алмазу й має температуру плавлення 1750-2050°С. Електрокорунд широко використовують у світлотехніці (замість ниток накалювання), у приладобудуванні (годинникові камені й ін.), у лазерах як випромінювальний елемент, у теплотехніці як вогнетривкий матеріал і для виготовлення ливарних форм і стрижнів.

Надтверді керамічні матеріали - композиційні керамічні матеріали, одержувані введенням різних легуючих добавок і наповнювачів у вихідний *нітрид бору.* Структура таких матеріалів утворена міцно зв'язаними дрібними кристалітами, отже, вони є синтетичними полікристалічними матеріалами.

Нітрид бору *(боразан), що* має алмазоподібну будову, є замінником алмазу, стійкий до окислювання до 2000°С (алмаз починає окислятися при 800°С).

До групи надтвердих керамічних матеріалів відносять *композит 01 (ельбор), композит 02 (белбор), композит 10 (гексанітр),* а також *полікристалічний нітрид бору.*

Надтверді керамічні матеріали використовуються для виготовлення різальних пластин до інструментів для чистової обробки важкооброблюваних матеріалів і загартованої сталі (більше 55 HRC).

Технічна кераміка

До технічної кераміки належать е*лектро-* і *радіотехнічна кераміка, керметі, абразивні керамічні матеріали, пінокераміка* й ін.

За електричними властивостями кераміку підрозділяють на *власне електротехнічну,* що застосовується при частотах до 20 тис. Гц, і *радіотехнічну,* що використовується переважно при високих (більше 20 тис. Гц) частотах.

Електротехнічна кераміка за сферою застосування поділяється на *ізоляторну* (настановну), *конденсаторну* (сегнетоелектрики) і *п'єзокерамічну.*

Ізоляторна кераміка повинна мати низькі втрати, гарні електроізоляційні властивості й міцність. Провідну роль відіграє електрофарфор, у якому основні види кристалів представляють муліт $3A1_20_3•Si0_2$ і $Si0_2$. Ізоляторна кераміка застосовується для виготовлення ізоляторів, колодок, плат, каркасів котушок й ін.

Конденсаторна кераміка повинна мати більшу діелектричну проникність, малі втрати й температурний коефіцієнт. Основу конденсаторної низькочастотної сегнетокераміки становлять тверді розчини титанатів барію (BaTi03 з добавками Zr – СМ1), кальцію (CaTiO3) і стронцію (SrTi03 - Т-7500), а також станат стронцію (SrSn03 – ВК-1) для варикондів. Високочастотна конденсаторна кераміка виготовляється на основі рутилу $Ti0_2$ (тиконд Т-80), титанатів кальцію ($CaTiO_3$ – тиконд Т-150), цирконію ($ZrTi0_3$ – термоконд Т-20) і станнатів (станатна кераміка) кальцію $CaSn0_3$ і магнію, $MgSn0_3$ й ін. Використання конденсаторної кераміки збільшує надійність роботи й теплостійкість конденсаторів і зменшує їхні розміри.

П´єзокераміка – керамічні матеріали з п'єзоелектричними властивостями. Структура п'єзокераміки – тверді розчини на основі титаніту барію (ТБС і ТБКС), ніобату барію (НБС) і ніобату й титанату свинцю (НТС). Для НТС поздовжній п'єзомодуль – до $7 \cdot 10^{-10}$ К/Н, ε = 400-1700, максимальна температура експлуатації – 250°С.

П´єзокераміку застосовують для пристроїв генерації й прийому ультразвуку; датчиків тиску, прискорення, вібрації, у системах запалювання двигунів, у трансформаторах та ін.

Як радіотехнічна високочастотна кераміка використовуються радіофарфор (муліт $3A1_20_3 \cdot Si0_2$), корундомулітова кераміка КМ-1 (муліт і корунд $A1_20_3$), ультрафарфор ($3A1_20_3 \cdot Si0_2$ й $A1_20_3$), алюміноксид $A1_20_3$, стеатит $Mg \cdot Si0_2$, цельзіан $BaO \cdot A1_20_3 \cdot Si0_2$, полікор і мікропіт.

Мініатюризація електронної, обчислювальної й СВЧ апаратур потребує створення матеріалів з тангенсом кута діелектричних втрат 0,0001–0,0002, зокрема нітридів бору й кремнію й композицій на їхній основі. Причому є багато можливостей варіювання їхніх властивостей шляхом зміни хімічного складу й структури, а також технології одержання виробів.

Абразивні керамічні матеріали *(абразиви)* – речовини підвищеної твердості, що застосовуються в масивному або здрібненому стані для механічної обробки (шліфування, різання, стирання, заточення, полірування й т.д.) інших матеріалів. Природні абразивні матеріали – *кремінь, наждак, пемза, корунд, гранат, алмаз* й ін.; штучні абразивні матеріали - *електрокорунд, карбід кремнію, боразон, ельбор, синтетичний алмаз* та ін. Щодо убування абразивної здатності ці матеріали розміщуються так: синтетичний алмаз, кубічний нітрид бору, карбід бору, карбід кремнію, карбід титану й електрокорунд. Розроблено абразивні матеріали на основі боридів і карбідів перехідних металів, а також типу *белбору*.

Основні характеристики абразивних матеріалів: твердість, міцність і зносостійкість, розмір і форма абразивного зерна, абразивна здатність, зернистість. Зі збільшенням міцності цих матеріалів поліпшується опірність зусиллям різання, тому що опір стиску в них у кілька разів більше, ніж опір розтяганню. Міцність абразивних матеріалів на розтягання й стиск знижується з підвищенням температури шліфування.

Здрібнений і класифікований абразивний матеріал називають *шліфувальним.* Зернистість шліфувальних матеріалів визначається розміром абразивних зерен, тобто групою матеріалів за ДСТ 3647-80: шліф-зерно, шліфпорошки, мікрошліфпорошки й тонкі мікрошліфпорошки. Позначення зернистості доповнюють індексами В, П, Н і Д, які характеризують процентний вміст (масову частку) основної фракції (36-60%).

Абразивні керамічні матеріали використовуються як у незв'язаному вигляді (порошки, пасти, суспензії), так й у зв'язаному (бруски, шліфувальні шкурки, кола, головки та ін.).

6 НЕОРГАНІЧНЕ СКЛО ТА ВИРОБИ З НЬОГО

Загальні відомості

Неорганічне скло – аморфний полімерний матеріал, що отримується при твердінні розплаву оксидів Si, A1, B, P, As, Pb й інших елементів. Воно не має певної точки плавлення або затвердівання й при охолодженні переходить із розплавленого, рідкого стану у високов'язкий стан, а потім у твердий, зберігаючи при цьому невпорядкованість і неоднорідність внутрішньої будови.

До складу неорганічного скла входять *склоутворювальні оксиди; оксиди, що* модифікують (лужні й лужноземельні) типу Me_2O і MeO, що змінюють фізико-хімічні властивості скла*; технологічні* добавки (оксиди алюмінію, заліза, свинцю, титану, берилію й ін.), що заміщають склоутворювальні оксиди й надають склу необхідні споживчі властивості. Модифікуючі оксиди вводять у процесі варіння скла. Глинозем $A1_20_3$ підвищує механічну міцність, а також термічну й хімічну стійкість стекол. При додаванні B_2O_3 підвищується швидкість скловаріння, поліпшується посвітління й зменшується схильність до кристалізації. Оксид свинцю P60, що вводять головним чином при виготовленні оптичного скла й кришталю, підвищує показник світлозаломлення. Оксид цинку ZnO знижує температурний коефіцієнт лінійного розширення скла, завдяки чому підвищується його термічна стійкість.

Технологічні домішки поділяють за їх призначенням на такі групи: *освітлювачі* – речовини, що сприяють видаленню зі скломаси газових бульбашок (сульфат натрію, плавиковий шпат); *знебарвлювачі* – речовини, що знебарвлюють скляну масу; *глушителі* – речовини, що роблять скло непрозорим.

Склоутворювальні оксиди (наприклад, SiO_2, $A1_2O_3$, B_2O_3, P_2O_3) утворюють просторову сітку з однорідних ланцюгів-поліедрів, а оксиди, що модифікують, розміщуючись усередині осередків сітки, послабляють або розривають зв'язки в

склоутворювальних оксидах і знижують міцність, термо- і хімічну стійкість скла, але дозволяють регулювати температуру його розм'якшення й інші властивості.

Будова кварцових стекол (рис. 18 а) є найбільш простою. Тут просторова сітка утворена із з'єднаних вершинами тетраедрів SiO_4. Зв'язки між кремнієм і киснем міцні, тому скло мало розширюється при нагріванні, плавиться при температурі вище 1700°С, після плавлення грузьке й погано формується. Осередки між тетраедрами досить великі, вони розширюються при нагріванні, і скло втрачає вакуумну щільність: при температурі 150°С воно пропускає гелій, вище 300°С - водень, а вище 800°С - повітря. У силікатних стеклах катіони металів оксидів, що модифікують, і технологічних добавок містяться (рис. 18 б) між негативно зарядженими тетраедрами SiO_4, не порушуючи будови силікатного каркаса. При цьому кути між зв'язками Si - ПРО - Si змінюються в більш широких (120-180°С) межах, ніж у кварцовому склі.

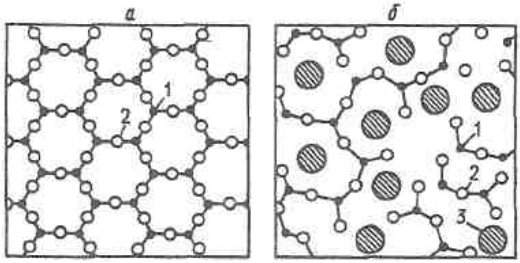


Рисунок 18 – Схема структури скла: а – чистого кварцового; б – натрійсилікатного (1 – Si; 2 – O; 3 – Na)

Властивості неорганічних стекол ізотропні. До основних властивостей належать:

• щільність – 2200-6500 кг/м^3 (для скла з оксидами свинцю або барію – до 8000 кг/м^3);

• температури для промислових стекол: стеклування – 425-600°С; розм'якшення – 600-800°С; коефіцієнт теплопровідності – 0,7-15 Вт/(м ·К);

• температурний коефіцієнт лінійного розширення: для кварцових стекол – $5{,}6 \cdot 10^{7} °C^{-1}$; для будівельних стекол – $9{,}0 \cdot 10^{8} °C^{-1}$;

• $\sigma_{сж}$ = 500-2000 МПа;

• $\sigma_{розт}$ =30-90МПа;

• $\sigma_{зг}$ = 50-150 Мпа;

Більш високі характеристики міцності має скло безлужного складу й кварцове:

• модуль Юнга – (7 - 7,5)·104 МПа;

• модуль зсуву – (2 - 3) · 104 МПа;

• коефіцієнт Пуассона - 0,184-0,26;

• твердість – 5 -7 од. за Моосом;

• ударна в'язкість –1,5-2,5 кдж/м2;

• питомий електроопір 1012-1018 Ом · см;

• діелектрична проникність – 3,5-16; •напівпровідникові властивості;

• хімічна стійкість;

• високі оптичні властивості.

За оптичними властивостями розрізняють *прозоре, пофарбоване, безбарвне й скло, що розсіює світло.*

До споживчих властивостей неорганічних стекол відносять прозорість, високу стійкість до атмосферних впливів, водо- і повітронепроникність, термостійкість. Термостійкість скла характеризує його довговічність в умовах різких змін температури й визначається різницею температур, що скло може витримати без руйнування при різкому охолодженні у воді (Т=0°С). Для більшості видів стекол термостійкість коливається від 90 до 170°С, а для кварцового скла вона становить 800 -1000°С.

Скло піддається механічній обробці: його можна пиляти циркулярними пилками з алмазним набиванням, обточувати побідитовими різцями, різати алмазом, шліфувати, полірувати.

Способи впливу на властивості неорганічних стекол визначаються необхідністю нейтралізувати дефектний поверх-

невий шар. Їх можна розділити на чотири групи: механічну обробку *(полірування),* хімічну обробку *(травлення),* термічну обробку (загартування), хіміко-термічну обробку. Так, загартування, при якому можна одержати анізотропію властивостей, і хіміко-термічна обробка скла в кілька разів підвищують показники міцності й ударну в'язкість, а також збільшують термостійкість. Травлення загартованого неорганічного скла плавиковою кислотою сприяє видаленню поверхневих дефектів і також підвищує міцність і термостійкість.

Неорганічне скло класифікується *за видом скло утворювальної речовини, видом модифікаторів, технологією виготовлення* й *призначенням.*

За видом *склоутворювальної* речовини неорганічне скло поділяється на *силікатне* ($Si0_2$), *алюмосилікатне* ($A1_20_3$ - $Si0_2$), *боросилікатне* (B_20_3 - $Si0_2$), *алюмоборосилікатне* ($A1_20_3$ – B_20_5 - $Si0_2$), *алюмофосфатне* ($A1_20_3$ - P_20_5), *халькогенідне* (наприклад, $As_{31}Ge_{30}Se_{21}Te_{lg0}$), *галогенідне* й інші скло.

За видом модифікаторів розрізняють *лужні, безлужні* й *кварцові неорганічні стекла.* Міцність лужних стекол під дією вологи зменшується вдвічі, тому що вода вилужує скло. При цьому утворюються лужні розчини, які розклинюють скло, викликаючи появу мікротріщин у поверхневому шарі.

За технологією виготовлення неорганічне скло може бути отримане *видуванням, литвом, штампуванням, витягуванням* в листи, трубки, волокна й ін.

Класифікація скла за призначенням і сферою застосування.

За призначенням неорганічні стекла поділяються на *технічне, будівельне* й *побутове* (склотара, посудне, побутове й ін.).

Технічне скло за сферою застосування ділиться *на електротехнічне, транспортне, оптичне, світлотехніч-*

не, термостійке, тугоплавке, легкоплавке, хіміко-лабораторне й ін. Характерні властивості й додаткові відомості про ряд таких стекол наведені в табл. 3.

Таблиця 3 - *Основні дані технічних стекол*

Характерні властивості	Додаткові відомості
Високі значення питомого електроопору, більша електрична міцність (16-50 кв/мм), низькі значення діелектричних втрат (t 0,0018-0,0175) і порівняно висока діелектрична проникність (Е-3,5-16), що підвищується при збільшенні концентрації РЬО або ВаО. При нагріванні в інтервалі температур 200-400°С питомий електроопір зменшується в 10^8 -10^{10} разів, що пов'язано зі збільшенням рухливості лужних іонів, і скло втрачає свої ізолювальні властивості. Оксиди важких металів – свинцю і барію – зменшують рухливість іонів й знижують втрати. При впаюванні металу в скло, при зварюванні скла різного складу в склі з'являються термічні напруги через розходження температурних коефіцієнтів лінійного розширення. Якщо температурні коефіцієнти обох матеріалів близькі, то спаї скла з матеріалом називаються *погодженими спаями,* а якщо різні - *неузгодженими спаями.*	Як діелектрик використовують для колб освітлювальних ламп і радіоламп, в електровакуумних пристроях, для ізоляторів, для герметизації інтегральних схем. Так, у вигляді тонкої (до 3-4 мкм) плівки скло використовують як міцну й теплостійку ізоляцію, що не тріскається на металевих проводах і термопарах. Халькогенідне скло використовується для герметизації напівпровідникових приладів. Електропровідникові (напівпровідникові) стекла: халькогенідні й оксидні ванадієві - знаходять широке застосування як термістори, фотоопори. Електротехнічне скло залежно від величини температурного коефіцієнта лінійного розширення розділяються на платинові (389-2), молібденові (349-1) і вольфрамові (338-1). Кожна група скла використовується для погоджувальних спаїв з Мо, W і сплавами Fe-Ni. У марці електротехнічного скла, вказується значення температурного коефіцієнта лінійного розширення.

Продовження таблиці 3

Характерні властивості	Додаткові відомості
У машинобудуванні ефективно застосовуються як конструкційний матеріал при умові нейтралізації крихкості, що досягається його загартуванням, як правило, в повітряному потоці	Різновидами транспортного скла є *триплекси* й *термопан,* що застосовуються для скління в транспортних засобах, скафандрах. *Триплекс* - композиційний матеріал, одержуваний із двох листів загартованого силікатного (або органічного) скла товщиною 2-3 мм, склеєних прозорою еластичною полімерною (зазвичай з плівкою). При руйнуванні триплекса негострі осколки, що утворилися втримуються на полімерній плівці. *Термопан* - тришарове скло, що складається із двох листів загартованого скла і повітряного проміжку між ними. Цей повітряний прошарок забезпечує теплоізоляцію
Специфічними властивостями скла є їхні оптичні властивості: світлопрозорість, відбиття, розсіювання, поглинання й переломлення світла. Коефіцієнт переломлення такого скла становить 1,47-1,96, коефіцієнт розсіювання знаходиться в інтервалі 20-71	*Оптичне й світлотехнічне* Оптичні стекла, застосовувані в оптичних приладах й інструментах, підрозділяють на *крони, що* відрізняються малим переломленням ($n_д$ = 1,50), і *флінти* ($n_д$= 1,67) - з високим вмістом оксиду свинцю
Оптичні властивості скла залежать від їх кольору, що визначається хімічним складом скла, а також від стану поверхні виробів. Оптичні вироби повинні мати ізотропну, вільну від напруг структуру, яку одержують відпалом, і гладкі полірані поверхні	*Термостійке й тугоплавке* *«Піреко* - термостійке скло на основі $Si0_2$ (80,5%) з підвищеним вмістом B_20_3 (12%), Na_20 (4%), а також оксидами алюмінію, калію й магнію. *«Мазда»* - тугоплавке скло на основі $Si0_9$ (57,6%) з оксидами алюмінію (25%), кальцію (7,4%), магнію (8%) і калію

Продовження таблиці 3

Характерні властивості	Додаткові відомості
Звичайне незабарвлене листове скло пропускає до 90%, відбиває приблизно 8% і поглинає близько 1% видимого й частково інфрачервоного світла; ультрафіолетове випромінювання поглинається майже повністю. Кварцове скло є прозорим для ультрафіолетового випромінювання.	*Легкоплавке* Це скло виготовляють на основі Р60 (70%) з додаванням B_20_3 (20%) або B_20_3 (68,8%) з додаванням Zn (28,6%)

Будівельне скло випускають таких видів: листове, об*лицювальне* й *вироби й конструкції зі скла.*

Листове скло виготовляють зі скляної маси, до складу якої входять 71-73% $Si0_2$, 13,5-15% Na_20, до 10% Са, до 4% Mg і до 2% $A1_20_3$. Маса 1 $м^2$ листового скла – 2-5 кг. Світлопроникнення - не менш 87%.

Листове скло виробляють трьох сортів і залежно від товщини шести розмірів (марок): 2; 2,5; 3; 4; 5 й 6 мм. Сорт листового скла визначається наявністю дефектів, до яких відносять: полосність - нерівність на поверхні; *свіль* – вузькі ниткоподібні смужки; міхури - газові включення й ін. Ширина листів скла – 250-1600 мм, довжина – 250-2200 мм.

Промисловістю виробляються також спеціальні види листового скла: *вітринне* (полірованє), *теплопоглинальне, увіолеве* (проникність 25-75% ультрафіолетових променів), *загартоване, архітектурно-будівельне* та ін.

Листове скло – основний вид скла, що використовується для скління віконних і дверних прорізів, вітрин, зовнішньої й внутрішньої обробки будинків.

До споживчих властивостей такого скла належать висока декоративність (яскраві кольори, блискуча поверхня),

більша атмосферостійкість і довговічність. До групи лицювального скла належать:

стемаліт – листовий будівельний матеріал із загартованого полірованого (товщиною 6-12 мм) скла, покритого із внутрішнього боку непрозорою (глухою) керамічною фарбою. Покриття захищається з боку приміщення тонким шаром алюмінію, нанесеним у вакуумі. Застосовується для внутрішнього й зовнішнього облицювання будинків;

марбліт – листовий будівельний матеріал товщиною 12 мм із кольорового глушеного скла з полірованою лицьовою поверхнею й рифленою тильною, може імітувати мармур;

скляна емальована плитка – виготовляється з відходів листового скла (скляна емаль), наплавлюваних на поверхню скла, нарізаного на необхідні розміри (150х150, 150х70 мм при товщині 3-5 мм);

скляна мозаїка – килимова мозаїка у вигляді дрібних квадратних плиток (20х20 або 25х25 мм) з непрозорого (глушеного) кольорового скла, викладеного в однотонні або мозаїчні килими;

смальта – кубики або пластинки товщиною 10 мм із кольорової глушеної скломаси, отримані відливкою або пресуванням; застосовується для виготовлення мозаїк.

Вироби й конструкції зі скла. До найпоширеніших виробів і конструкцій зі скла в будівельній промисловості відносять:

склоблоки – порожнисті блоки із двох відформованих половинок, зварених між собою. Світлопроникність – не менш 65%, світлорозсіювання – близько 25% (світлорозсіювання підвищують рифленням внутрішнього боку блоків), теплопровідність – 0,4 Вт/(м•К). Застосовуються для заповнення світлових прорізів у зовнішніх стінах і улаштування світлопрозорих покриттів і перегородок;

склопакети – два-три листи скла, з'єднаних по периметру металевою рамкою (обоймою), між якими створена герметично замкнута повітряна порожнина. Застосовуються для скління будинків;

склопрофіліт – великогабаритні будівельні панелі із профільного скла, виготовлені методом безперервного прокату коробчатого, таврового, швелерного й напівкруглого профілів. Склопрофіліт може бути армованим і неармованим, безбарвним і кольоровим. Застосовується для улаштування світлопрозорих огорож будинків і споруджень.

Матеріали й вироби зі скла

Скловолокно – волокнистий матеріал, одержуваний з розплавленої скломаси. Найбільш широко застосовується безлужне алюмо-боросилікатне Е-скло, а також високоміцне скло на основі оксидів: SiO_2, $A1_2O_3$, Mg. Діаметр скловолокна коливається від 0,1 до 300 мкм. Форма перетину може бути у вигляді кола, квадрата, прямокутника, трикутника, шестикутника. Випускаються й порожнисті волокна. За довжиною волокно поділяється на шпательне (від 0,05 до 2-3 м) і безперервне. Щільність скловолокна – 2400-2600 кг/м^3. Міцність елементарних скляних волокон у кілька десятків разів вища об'ємних зразків скла: міцність на розтягання досягає для безперервних волокон діаметром 6-10 мкм – 1500-3000 Мпа. Скловолокно має високі тепло-, електро- і звукоізоляційні властивості, воно термо- і хімічно стійке, негорюче, не гниє.

Поверхню скляних волокон під час транспортування й різних видах перероблення замаслюють для запобігання стиранню, тому що від стану поверхні волокон залежить їхня міцність. Зі скловолокна виготовляють *скловату, тканини* й *сітки,* а також *неткані матеріали* у вигляді джгутів і полотен, скломатів.

Скловата – матеріал зі скляних волокон, діаметр яких для виготовлення теплоізоляційних виробів не повинен переви-

щувати 21 мкм. Структура вати повинна бути пухкою - кількість пасм, що складаються з паралельно розміщених волокон, не більше 20% за масою. Щільність у пухкому стані не повинна бути більше 130 кг/м^3. Теплопровідність – 0,05 Вт/(м·К) при 25°С. Скляну вату з безперервного волокна застосовують для виготовлення теплоізоляційних матеріалів і виробів при температурах ізольованих поверхонь від – 200 до +450°С.

Скловата із супертонкого волокна має щільність 25 кг/м^3, теплопровідність - 0,03 Вт/(м·К), температуру експлуатації – від -60 до +450°С, звукопоглинання - 0,65-0,95 у діапазоні частот 400-2000 Гц. Скловата із супертонкого волокна, а також вироби на її основі використовуються в будівництві як звукоізоляційний матеріал.

Скломати (АСІМ, АТІМС, АТМ-3) – матеріали, що складаються зі скловолокон, розміщених між двома шарами склотканини або склосітки, прошитої склонитками. Вони застосовуються при температурах 60-600°С як армуючі елементи у композиційних матеріалах.

Склоруберойд і *скловойлок* – рулонні матеріали, одержувані шляхом двостороннього нанесення бітумної (бітумно-гумової або бітумно-полімерної) в'язкої речовини, відповідно на скловолокнисте полотно або скловойлок і покриті з одного або двох боків суцільним шаром посипки. Сполучення біостійкої основи й просочення з підвищеними фізико-механічними властивостями дозволяють досягти довговічності для склоруберойду близько 30 років.

Залежно від виду посипання, що запобігає злипанню при зберіганні в рулонах, і призначення склоруберойд випускають таких марок: С-РК (із грубозернистим посипанням), С-РЧ (з лускатим посипанням), С-РМ (з пилоподібним або дрібнозернистим посипанням). Застосовують руберойд-руберойд-стек-руберойд для верхнього й нижнього

шарів покрівельного килима й для обклеювальної гідроізоляції.

Гідросклоізол — гідроізоляційний рулонний матеріал, призначений для гідроізоляції залізобетонних виробів тунелів (марка Т), пролітних будов мостів, шляхопроводів й інших інженерних конструкцій (марка М).

Гідросклоізол складається зі склооснови (*тканої* або *нетканої сітківки, дубльованої склополотном)*, покритої по обидва боки шаром бітумної маси, у яку входять бітум, мінеральний наповнювач (близько 20%) з меленим тальком, магнезитом, а також пластифікатором. Відрізняється, крім високої водонепроникності, гарними міцнісними показниками при розтяганні в поздовжньому напрямку. Він витримує розривне навантаження при вищій категорії якості 735 Н. Теплостійкість – 60-65°С, температура крихкості - від -20 до -10°С.

Гідросклоізол наклеюють без застосування мастик - рівномірним плавленням (наприклад, використовуючи полум'я газового пальника) його поверхні.

Піноскло (комірчасте скло) – комірчастий матеріал, одержуваний спіканням тонко здрібненого скляного порошку й пороутворювача. Виробляють зі скляного бою або використовують ті самі сировинні матеріали, що й для виробництва інших видів скла: кварцовий пісок, вапняк, соду й сульфат натрію. Пороутворювачами можуть бути кокс і вапняк, антрацит і крейда, а також карбіди кальцію й кремнію, що виділяють при спіканні вуглекислий газ, який утворює пори.

Піноскло має специфічну будову – у матеріалі стінок великих пор (0,25-0,5 мм) утримуються дрібні мікропори, що обумовлює малу теплопровідність (0,058-0,12 Вт/(м·К) при досить великій міцності, водостійкості й морозостійкості. Пористість різних видів піноскла становить 80 - 95%; щільність – 150-250 кг/м^3; міцність – 2-6 МПа. Має

високі тепло- і звукоізоляційні властивості. Піноскло – горючий еріал з високою (до 600°С) теплостійкістю. Легко обробляється (пиляється, шліфується); воно добре склеюється, наприклад, із цементними матеріалами.

Плити з піноскла застосовують для теплоізоляції огорож конструкцій будинків (стін, перекриттів, покрівель й ін.), у конструкціях холодильників (ізоляція поверхонь із температурою експлуатації до 180°С), для декоративної обробки інтер'єрів. З піноскла з відкритими порами виготовляють фільтри для кислот і лугів.

Склопор одержують шляхом грануляції й спучування рідкого скла з мінеральними добавками (крейдою, меленим піском, золою ТЕС й ін.). Випускається трьох марок:
СЛ - ρ_0 = 15-40 кг/м^3, λ = 0,028-0,035 Вт/(м · К);
Л - ρ_0 = 40-80 кг/м^3, λ = 0,032-0,04 Вт/(м·К);
Т - ρ_0 = 80-120 кг/м^3, λ = 0,038-0,05Вт/(м·К).

У сполученні з різними зв'язуючими речовинами склопор використовують для виготовлення штучної, мастичної і заливальної теплоізоляції. Найбільш ефективне застосування склопору в ненаповнених пінопластах, тому що введення його в пінопласт дозволяє знизити витрати полімеру й значно підвищити вогнестійкість теплоізоляційних виробів.

Армоване скло – конструкційний виріб, одержуваний методом безперервного прокату неорганічного скла з одночасним закочуванням усередину листа металевої сітки з відпаленого хромованого або нікельованого сталевого дроту. Це скло має межу міцності при стиску 600 Мпа, підвищену вогнестійкість (до 1,3 год), безосколочне при руйнуванні, світлопроникність - більше 60%. Може мати рівну, кутикову або візерункову поверхню, бути безбарвним або кольоровим.

Армоване скло застосовують для скління ліхтарів верхнього світла, віконних плетінь, облаштування перегородок, сходових маршів та ін.

Сітали

Сітали (склокристалічні матеріали) – штучний матеріал на основі неорганічного скла, одержуваний шляхом повної або частково керованої кристалізації в них.

Термін «сітали» утворений від слів: «скло» й «кристали». За структурою й технологією одержання сітали займають проміжне положення між звичайним склом і керамікою. Від неорганічного скла вони відрізняються кристалічною будовою, а від керамічних матеріалів - більш дрібнозернистою й однорідною мікрокристалічною структурою.

До складу сіталів входять:

• *оксиди* - Li_20, $A1_20_3$, $Si0_2$, Mg, CaO й ін.;

• *нуклеатори* (каталізатори кристалізації) - солі світлочутливих металів - An, Ag, Cu, що є колоїдними барвниками й наявні в склі у вигляді тонкодисперсних частинок, Нуклеатори є додатковими центрами кристалізації. Вони повинні мати кристалічні ґратки, подібні кристалічним фазам, що виділяються зі скла, і сприяти рівномірній кристалізації всієї маси;

• *глушителі* (погано розчинні частинки) – фтористі й фосфатні сполуки, $Ti0_2$ й ін.

Структура сіталів дрібнокристалічна, однорідна, характеризується відсутністю пористості. Середній розмір кристалітів у сіталах 1-2 мкм. Вміст кристалічної фази - не менше 40-50%. Кристаліти зростаються між собою або зв'язані прошарками залишкового аморфного скла. Кількість склофази не перевищує декількох відсотків. Безладна орієнтація кристалітів приводить до відсутності в сіталах анізотропії.

Регулюючи режими термообробки, можна змінювати ступінь кристалізації й розміри кристалів, що відбивається на властивостях виробу. Властивості сіталів ізотропні й в основному визначаються фазовим складом та їхньою структурою. Основними властивостями сіталів є:

• щільність – 2400-2950 кг/м^3;
• температура розм'якшення - 1250-1350°С;
• низька теплопровідність – 2-7 Вт/(м · К);
• температурний коефіцієнт лінійного розширення – (7-300) х 10^{-7} $^0С^{-1}$;
• $\sigma_{сж}$ = 700-2000 МПа, $\sigma_в$ = 112-160 МПа, $\sigma_{зг}$ = 70-350 МПа;
• модуль Юнга - 84 - 141 Гпа;
• крихкість (при ударній в'язкості 4,5 - 10,5 кдж/м^2);
• мікротвердість – 7000 -10500 МПа;
• зносостійкість (0,07 - 300);
• термостійкість -200 -700°С (до1000°С);
• діелектричні властивості;
• хімічна стійкість;
• газонепроникність і нульове водопроникнення.

Рисунок 19 – Схема кристалізації скла при утворенні сіталів за допомогою нуклеаторів

За зовнішнім виглядом сітали можуть бути непрозорими (глухими), прозорими, а також пофарбованими (темних, коричневих, сірих, кремових і світлих кольорів). Міцність їх залежить від температури: до 700-780°С вона знижується незначно, а при більш високих температурах швидко падає. Жароміцність сіталів становить 800-1200°С.

Причина особливо цінних властивостей сіталів полягає в їхній винятковій дрібнозернистості й майже ідеальній полікристалічній структурі. У них зовсім відсутня будь-яка пористість. Усадка матеріалу під час його переробки незначна. Велика абразивна стійкість робить їх малочутливими до поверхневих дефектів.

Деталі із сіталів з'єднують одна з одною й іншими матеріалами за допомогою склокристалічного цементу з подаль-

шою термічною обробкою при 400-600°С, клеїв і замазок на основі епоксидної смоли й рідкого скла, металізацією з подальшим паянням.

Сітали класифікують залежно від *способу виробництва, від характеру вихідних матеріалів і за призначенням.*

Ситалові вироби одержують, як правило, шляхом плавлення скляної шихти спеціального складу, охолодження розплаву до пластичного стану й подальшого формування методами скляної або керамічної технології (витягування, видування, прокатка, пресування), а потім ситалізацією. Такі вироби одержують також порошковим методом спікання.

За характером вихідних матеріалів і властивостей виділяють: *петросітали, шлакосітали* й *технічні сітали.* Різновидом ситалів є *ситалопласти* - композиційні матеріали, одержувані на базі пластичних мас (фторопластів) і ситалів.

Петросітали одержують на основі габроноритових, діабазових й інших гірських порід, шлакосітали - з металургійних або паливних шлаків. Технічні сітали виготовляють на основі штучних композицій з різних хімічних сполук - оксидів, солей.

За призначенням сітали поділяють на *конструкційні* (будівельні й машинобудівні), *технічні, радіо-, електро- і фототехнічні.* На основі ситалів одержують різні клеї для склеювання металу, скла, кераміки. Найбільше поширення в будівництві одержали *шлакосітали* й *піношлакосітали.*

Шлакосітали – сітали з вогненно-рідких металургійних шлаків. Щільність – 600-2700 кг/м^3; $\sigma_{сж}$ = 250-550 МПа, $\sigma_{зг}$ = 65-130 МПа, $E = 11 \cdot 10^4$ МПа, робочі температури – до 750°С, водопоглинання практично дорівнює нулю; високі кислото- і лугостійкість.

Вироби зі шлакоситалу дешеві й відрізняються високою довговічністю. Ці вироби використовуються для сходових маршів, плиток підлог, внутрішніх перегородок, як покрівельний і стіновий матеріал, для облицювання відповідальних

частин гідроспоруджень, а також у дорожньому будівництві як плити для тротуарів, дорожніх покриттів, бортових каменів. Листовий шлакосітал (можна одержувати будь-яких кольорів) використовується як декоративно-оздоблювальний матеріал для зовнішнього й внутрішнього облицювання споруджень. Шлакосітали можуть бути отримані будь-яких кольорів, а за довговічністю вони конкурують із базальтами й гранітами.

Піношлакосітал – спінений шлакосітал із комірчастою структурою. Ефективний теплоізоляційний матеріал з незначним водопоглинанням і малою гігроскопічністю. Робочі температури – до 750°С. Піношлакосітали використовують для утеплення стін і звукоізоляції приміщень, а також для ізоляції трубопроводів теплотраси й промислових печей.

У машинобудуванні сітали застосовують для виготовлення підшипників, деталей двигунів, труб, жаростійких покриттів, лопат компресорів, точних калібрів металорізальних верстатів, метрологічних мір довжини, фільєр для витягування синтетичного волокна, абразивів для шліфування; у хімічному машинобудуванні – пар тертя, плунжерів, деталей хімічних насосів, реакторів, мішалок, запірних клапанів. Радіо- й електротехнічні сітали використовуються для виготовлення підкладок, оболонок, плато, сітчастих екранів, антенних обтічників й ін., а також як жаростійкі покриття для захисту металів від дії високих температур. Фототехнічні сітали застосовуються для виготовлення сітчастих екранів телевізорів, коліматорів світла, дорожніх знаків, дзеркал телескопів, для заміни фотоемульсій діапозитивів, на шкалах приладів й ін. Розподільна здатність і якість зображення у фотосіталів вищі, ніж у звичайних фотоемульсій.

7 ПЛІВКОУТВОРЮВАЛЬНІ МАТЕРІАЛИ

Загальні відомості

Плівкоутворювальні матеріали - це розчини або розплави полімерів, а також неорганічні речовини, які наносяться на яку-небудь поверхню і після твердіння утворюють міцні плівки, що добре прилипають до різних матеріалів.

Залежно від призначення плівкоутворювальні матеріали поділяються на ті, що с*клеюють,* застосовувані для склеювання різних матеріалів, і *герметики, що* забезпечують ущільнення й герметизацію швів, стиків, ємностей та ін.

До складу клеючих і герметизуючих матеріалів уводять наповнювачі. Їх наявність не тільки знижує усадку плівкоутворювальних матеріалів при твердінні, але й надає клею або герметику необхідну консистенцію й форму (шари, плівки або джгути), підвищує міцність з'єднання й поліпшує умови теплопередачі. Як наповнювачі використовують порошки металів, колоїдальний оксид кремнію, деревне борошно, скловолокно, склотканини й тканини із синтетичних волокон. Застосування тканин дозволяє одержувати тонкі клейові плівки з твердіючих полімерів.

Клеючі матеріали

Склеювання - метод одержання нероз'ємного з'єднання деталей за допомогою адгезійної взаємодії матеріалу, що склеюють з підкладкою з подальшим твердінням клейового прошарку.

Для гарної адгезійної взаємодії необхідно забезпечити контакт підкладки й клею на молекулярному рівні. Для цього потрібно, щоб клей був рідким і змочував підкладку, а на поверхні склеювання не було забруднення (оксидів, плівок й ін.).

Клейові з'єднання в порівнянні з іншими видами нероз'ємних з'єднань (клепальними, зварними й ін.) мають ряд переваг:

• можливість з'єднання різних матеріалів (металів і сплавів, пластмас, стекол, кераміки й ін.) як між собою, так й у різних сполученнях;
• атмосферостійкість і стійкість до корозії клейового шва;
• герметичність з'єднання;
• можливість з'єднання тонких матеріалів;
• зниження вартості виробництва;
•економія маси й значне спрощення технології виготовлення виробів.

Найбільш ефективно клейові з'єднання працюють на зсув.

Недоліками клейових з'єднань є відносно низька тривала теплостійкість (до 350°С); невисока міцність склеювання при нерівномірному відриві; необхідність, як правило, підігріву при проведенні склеювання; схильність до старіння; токсичність.

До складу матеріалів, що склеюють, входять такі компоненти:

• *плівкоутворювальна речовина* (в основному термореактивні смоли, каучуки), що визначає адгезійні властивості й основні фізико-механічні характеристики;

• *розчинники* (спирти, бензин й ін.), що створюють певну в'язкість;

• *пластифікатори для* усунення усадочних явищ у плівці й підвищення еластичності;

• *отверджувачі* й *каталізатори* для переведення плівкоутворювальної речовини в термостабільний стан;

• *наповнювачі* у вигляді мінеральних порошків, що підвищують міцність з'єднання й зменшують усадку плівки;

• *інгібітори* й *сповільнювачі* – для запобігання небажаного затвердіння клею під час зберігання.

Для підвищення термостійкості вводять порошки Al, AI_20_3, $Si0_2$, для підвищення токопровідності - срібло, мідь,

нікель, графіт. Високонаповнені клейові суміші називають *мастиками.*

Основні споживчі властивості клеїв - *в'язкість, механічна міцність, водостійкість, хімічна міцність, життєздатність, горючість, токсичність, вибухонебезпечність.*

В'язкість клею *(робоча консистенція)* визначає міцність клейового з'єднання й значно впливає на зручність роботи з ним. В'язкість повинна забезпечити протікання клею в нерівності й пори матеріалу, що клеїться, але таким чином, щоб його значна частина залишилася між склеюючими поверхнями.

Міцність плівки, яка клеїть, повинна бути близькою до міцності матеріалів, що склеюються, тому що тільки виконання цієї умови забезпечить руйнування по одному з матеріалів, які склеюють, а не по клейовому шару.

Життєздатність клею - час, протягом якого клей, отриманий змішуванням окремих складових безпосередньо перед застосуванням, придатний для нанесення й склеювання із заданими якісними показниками. Для органічних клеїв життєздатність значною мірою визначається їхньою біологічною стійкістю.

Для клеїв із синтетичних (поліефірних, епоксидних, фенолоформальдегідних смол й ін.) полімерів характерна висока міцність склеювання й стійкість у різних середовищах. Клеї із природних *полімерів* (наприклад, крохмалю) відрізняються невисокою стійкістю до дії води й мікроорганізмів.

Смоляні клеї можуть бути термореактивними й термопластичними. Вони затвердівають за наявності каталізаторів й отверджувачів при нормальній і підвищеній температурах. При гарячому склеюванні відбувається більше повне твердіння смоли й клейове з'єднання набуває міцності і теплостійкості. Теплостійкість підвищують також введенням мінеральних наповнювачів.

Смоляні клеї на основі термореактивних (фенолоформальдегідних, кремнієорганічних, епоксидних, поліуретанових й ін.) смол дають міцні теплостійкі плівки, застосовувані для склеювання силових конструкцій з металів і неметалічних матеріалів. Так, за потреби склеювання теплостійких гум на основі кремнієорганічного каучуку застосовують клеї на основі кремнієорганічних смол (клеї КТ-15, КТ-30, МАС-ІВ). Клейові з'єднання можуть працювати при температурах 60-300°С.

Смоляні клеї на основі термопластичних смол (полівінілацетату, акрилатів й ін.) мають невисокі міцнісні характеристики, особливо при нагріванні, і застосовуються для несилових з'єднань неметалічних матеріалів.

Формальдегідні клеї діляться на дві групи: *немодифіковані* й *модифіковані.* Немодифіковані формальдегідні клеї (ВІАМ Б-3, ВІАМ Ф-9, ЦНІІМОД-1, ІНІІПС-2 та ін.) становлять собою композиції з резолів й отверджувачів. Твердіють при нормальній температурі, а її підвищення прискорює склеювання. Застосовуються для склеювання деревини, деревних пластиків, фанери. Загальний недолік цих клеїв – гідролізуюча дія на целюлозу деревини й інших матеріалів, що приводить до прискорення старіння.

Фенолкремнієорганічні клеї містять як наповнювачі азбест, алюмінієвий порошок й ін. Клеї є термо- і водостійкими, мають тривалу міцність і вібростійкістю. Клей КК-18М застосовується для склеювання інструментів і дозволяє збільшити їхню стійкість в 1,5 - 4 рази.

Клеї на основі епоксидних смол діляться на дві групи: *холодного* (Л-4, ВК-9, ЕПО й ін.) і *гарячого* (ВК-32-ЕМ, ДО-153, ФЛ-4С, ВК-1 та ін.) *твердіння.* Твердіння клеїв відбувається за допомогою отверджувачів без виділення побічних продуктів, що майже не дає усадочних явищ у клейовій плівці. Епоксидні клеї завдяки полярності мають високу адгезію до всіх матеріалів. Для них характерні гар-

ні механічна міцність, атмосферостійкість, стійкість до палива й мінеральних масел, високі діелектричні властивості. Клеї гарячого твердіння є конструкційними, їх застосовують для склеювання металів, феритів, кераміки, склопластиків. Епоксидно-кремнієорганічні клеї ТКМ-75, Т-73 використовуються для приклеювання різальних частин під час виготовлення інструментів.

Термостійкі клеї готуються на основі ароматичних полімерів, що містять гетероцикли (полібензимидазолів, поліімідів), і карборанутримувальних полімерів. Карборани становлять собою бороргані́чні з'єднання, що мають загальну формулу $B_NC_2H_{N+2}$, за властивостями вони близькі до ароматичних полімерів. Створені карборанутримувальні фенольні, епоксидні, кремнієорганічні й інші клеї.

Гумові клеї становлять собою розчини каучуку в органічних розчинниках. До складу клеїв гарячої вулканізації (140-150°С) входить *вулканізуючий агент.* При введенні до складу клейової композиції активаторів і прискорювачів одержують *самовулканізуючий клей,* вулканізація в якому проходить при нормальній температурі. З'єднання виходять досить міцні; вони відрізняються високими еластичністю й стійкістю до дії масел і палив. Гумові клеї застосовуються для склеювання гуми з гумою або гуми з металом, склом й ін. Поширеним конфекційним (тобто не для промисловості, а для продажу широким верствам населення) гумовим клеєм є розчин натурального каучуку в бензині (ДЕРЖСТАНДАРТ 2199-78).

Неорганічні клеї – це концентровані водяні розчини неорганічних полімерів у вигляді твердих порошків, які спочатку плавляться, а потім затвердівають, і дисперсійних сумішей, які затвердівають або при висиханні, або внаслідок хімічної взаємодії. Неорганічні клеї є високотемпературними. Найбільше поширення одержали *фосфатні, керамічні* й *силікатні клеї.*

Фосфатні клеї є розчинами фосфатів. Ці клеї можуть виготовлятися з інертними або активними наповнювачами. Температура твердіння – 20-250°С. Вогнетривкість – 1000-1800°С. Ці клеї водо- і кислотостійкі. Вони застосовуються для склеювання різних металів, графіту й ін. Термообробка фосфатних клеїв з активними наповнювачами (наприклад, клей АФС із наповнювачами $Zr0_2$ й Ті) може істотно (до 250 МПа) підвищувати межу міцності при стиску.

Керамічні клеї (фрити) є тонкими суспензіями оксидів лужних металів (Mg, $A1_20_3$, $Si0_2$ й ін.) у воді. Такі клеї після нанесення підсушуються, потім при невеликому тиску нагріваються до температури плавлення компонентів і витримуються протягом 15-20 хв. Міцність з'єднання зберігається при температурах 500-1000°С.

Силікатні клеї (рідке скло) можуть виготовлятися з різними наповнювачами. Твердіння відбувається при 120°С за 1-2 год. Вони призначені для склеювання різнорідних матеріалів (металів, скла, кераміки, азбесту, скла з металом). Міцність з'єднання металів: $\sigma_{сж}$ = 455-1100 МПа, $\sigma_в$ = 50-150 МПа. При введенні вуглецевого волокна $\sigma_в$ = 500 Мпа.

Клеї класифікують за рядом ознак:

• *природою плівкоутворювальної речовини* (натуральні, у тому числі тваринні, рослинні й мінеральні, синтетичні речовини);

• *адгезійними властивостями* (універсальні, що склеюють різні матеріали, і з вибірковою адгезією);

• *умовами твердіння* (холодне й гаряче твердіння, водотвердіючі, й клеї, що універсально твердіють);

• *формою випуску* (тверді, пастоподібні, рідкі);

• *деформативністю клейового з'єднання* (тверді й еластичні з'єднання);

• *відношенням до нагрівання* (термопластичні й термореактивні);

• життєздатністю клейового матеріалу;

• *умовами експлуатації клейового з'єднання* (загального призначення, високоміцні, водостійкі, корозійностійкі, масло-, бензино- і розчинностійкі, світлостійкі, температуростійкі, електро- і теплопровідні, електроізоляційні, вакуумщільні, оптично прозорі й ін. спеціального призначення).

Найчастіше використовують класифікацію за природою плівкоутворювальної речовини.

Клеї випускаються у твердому (плівки, порошки, прутки), пастоподібному і рідкому (розчини, емульсії) видах. Тверді клеї перед застосуванням розплавляють або наносять на нагріті поверхні.

Герметики

Герметики (герметизуючі суміші) – матеріали й вироби, застосовувані для ущільнення й герметизації клепаних, зварених і болтових з'єднань, паливних відсіків і баків, різних металевих конструкцій, стикових сполучень будівельних деталей і конструкцій й ін. Основні вимоги до герметиків: висока адгезія до матеріалів, еластичність і непроникність для різних середовищ, тепло- і морозостійкість, висока хімічна стійкість.

Герметики класифікують *за складм (каучукові, смоляні* й *каучуково-смоляні)* і *призначенням (загального* й *спеціального призначення).*

До найпоширеніших каучукових герметиків відносяться *тиоколові,* які одержують на основі полісульфідного каучуку. Сірка, що входить до складу основного молекулярного ланцюга, надає плівці високу газо- і паронепроникність. У них висока адгезія до металів, деревини, бетону. Вони стійкі до палива й масел. Промисловістю випускаються тиоколові герметики У-30М й Ут-31. Термін служби цих герметиків – 25 років. Такі герметики застосовують в авіаційній та автомобільній промисловості, у суднобудуванні, для будівельної техніки.

До смоляних герметиків відносять *анаеробні, кремнієорганічні, епоксидні* та ін.

Анаеробні герметики *(анатерм, унігерм)* одержують на основі поліакрилатів. Ці герметики при затвердінні не дають усадки й не вимагають більших тисків. Плівка герметиків стійка до вібрації й ударів, вони можуть працювати в агресивних середовищах, при високих тисках, довгостроково при температурах -200 - +200°С, короткочасно до температури 300°С. Міцність з'єднання при зсуві у разі використання анатерму – 6-17,5 Мпа. Анаеробні герметики застосовуються для герметизації мікродефектів, у зварних з'єднаннях, виливках, штампованих деталях, для контрування болтів, нарізних сполучень, герметизації трубопроводів й ін.

Кремнієорганічні герметики *(віксинт, еластосил)* відрізняються підвищеною теплостійкістю. Так, віксинт застосовується для поверхневої герметизації металевих з'єднань, в електро-, радіоапаратурі, для внутрішньошовних клепаних і зварених з'єднань; може працювати при температурах -6 - +200°С; має діелектричні властивості.

Епоксидні герметики добре працюють при вібраційних й ударних навантаженнях, в умовах тропічної вологості. Вони можуть бути холодного й гарячого твердіння. Герметики холодного твердіння здатні довгостроково працювати при температурах від - 60 до +75°С, а гарячого - від -60 до +140°С. Епоксидні герметики застосовуються для герметизації металевих і склопластикових виробів. Герметик УП-5-122АТ стійкий до палива й масел, УП-6-103 використовується в шахтних апаратурах, УП-5-105-2 - в електрорадіотехнічних виробах.

До групи каучуково-смоляних герметиків належать, наприклад, *фтор-каучукові герметики,* основою яких служать низько- і середньомолекулярні каучуки (Ф-4Д, СКФ-26 й ін.). У них винятково високі герметизуючі властивості, а також кислото-, масло-, паливо-, тепло- і паростійкість. Довгостроково вони можуть працювати при температурі 250°С, а 100 -

200 год – при температурі 300°С. Ці герметики негорючі. Недоліками фторкаучукових герметиків є низька пластичність, невисокі морозостійкість (-22°С) і стійкість проти більшості гальмівних рідин. Основне застосування ці герметики знаходять в автомобільній й авіаційній промисловості.

Залежно від стану, у якому герметизуючі матеріали вводять у шов, вони підрозділяються на *мастичні, погонажні* (еластичні прокладки) і *обклеювальні* (стрічки) *герметики.*

Мастичні герметики діляться на три групи. До першої групи відносять полімерні мастики, що твердіють, на основі поліізобутилену. Вони працюють у конструкції в тому стані, у якому покладені в неї. До другої групи відносять еластомери холодного твердіння – тіоколові, бутилкаучукові, силіконові, які після введення в стик у пастоподібному стані під впливом добавок, що вулканізують, при температурі навколишнього середовища переходять в еластичний гумоподібний стан. До третьої входять бітумно-полімерні герметики, застосовувані в гарячому вигляді.

Погонажні герметики – пористі або пустотілі елементи, виконані у вигляді джгутів різного поперечного перерізу з різних гумових сумішей *(пороізол, герніт* та ін.). Використання цих герметиків ефективне при певному (не менш 30-50% діаметра) обтисненні їх у стиках.

Обклеювальні (рулонні) герметики становлять собою смуги зі склотканини з нанесеним на них герметизуючим шаром мастики.

До групи герметиків спеціального призначення відносять *компаунди* – полімерні композиції на основі різних полімерів або мономерів, призначені для заливання або просочення струмопровідних схем і деталей з метою їхньої ізоляції в електро- і радіоапаратурі. Компаунди не містять розчинників. Вони можуть бути термореактивними (на основі епоксидних, поліефірних й інших смол) і термопла-

стичними (на основі бітумів, воскоподібних діелектриків і термопластичних полімерів – полістиролу, поліізобутилену та ін.). Найбільшою теплостійкістю володіють епоксидні й кремнієорганічні компаунди.

Напівпровідникові матеріали

Напівпровідникові матеріали – речовини (напівпровідники), здатні сильно змінювати свої властивості (електричні, гальваномагнітні, термо- і фотоелектричні, оптичні й ін.) у широкому інтервалі температур, що включає кімнатну Т - 300 К, під впливом незначних зовнішніх впливів: температури, тиску, освітлення, електричних і магнітних полів й ін.

Для напівпровідників характерна висока чутливість електропровідності до зовнішніх впливів (світла, потоку швидких часток, сильних електричних полів та ін.), а також до складу домішок і дефектів будови. Напівпровідникові властивості проявляються тільки в особливо чистих речовин. На властивості напівпровідників сильний вплив роблять навіть дрібні кількості домішок.

Напівпровідникові матеріали класифікуються за *походженням речовини, агрегатним станом, складом, технологією виготовлення* й *можливістю застосування.*

За походженням речовини вони можуть бути *органічними* й *неорганічними.* Органічні напівпровідникові речовини (антрацен, поліакрилонітрил, індиго й ін.) відрізняються високою радіаційною стійкістю й широко використовуються для виготовлення термісторів, п´єзоелементів, детекторів інфрачервоного випромінювання та інших приладів. Більш широке застосування одержали неорганічні напівпровідникові матеріали.

За агрегатним станом цих матеріалів виділяють *тверді* й *рідкі напівпровідникові речовини,* а тверді, у свою чергу, ділять на *кристалічні* й *аморфні* (склоподібні).

За складом напівпровідникові матеріали можуть бути *простими* й *складними.* До простих відносять такі напівпровідники, як Ge, Si й Se, складними є, наприклад, хімічні сполуки типу $A_{III}B_{V}$ (InP, ZnS, GaAs), тверді розчини заміщення (In_xGa_{1-x}, As_yP_{1-y}) та ін.

За технологією виготовлення напівпровідникові матеріали виконують у вигляді *монокристалів, підкладок* і *моношарових епітаксиальних структур.*

Епітаксією називається процес орієнтованого наростання кристалічного шару на орієнтованій кристалічній пластині - підкладці. Отримані в результаті епітаксіального процесу шари напівпровідника, що перебувають на підкладці з напівпровідника або діелектрика, називають *епітаксіальною структурою.* За числом шарів напівпровідника такі структури можуть бути одно- і багатошаровими.

За можливістю застосування напівпровідникові матеріали можуть розглядатися і як *матеріал,* і як *напівпровідниковий прилад,* готовий до практичного використання. Критерієм для віднесення продукції до матеріалу або приладу є характер споживчих властивостей, які можуть бути матеріалознавчими (хімічний склад, структура, фізико-хімічні властивості) або приладовими (вольт-амперна характеристика, пробивна напруга й ін.).

Прості напівпровідники. До цих матеріалів належать 12 елементів: Bi, C (алмаз), Si, Ge, Sn, P, As, Sb, S, Se, Ti, I. Найбільше поширення одержали кремній і германій.

Кремній – Si. Тип кристалічних ґраток – алмаз. Температура плавлення – 1417°С. Щільність твердого кремнію – 2330 кг/м^3, рідкого при температурі плавлення – 2530 кг/м^3. Ширина забороненої зони при 300 К – 1,10 ев. Власна концентрація носіїв зарядів – 10^8 см^3. Рухливість носіїв заряду в безпримісному напівпровіднику при 300 К: електронів – 1450 см^2/(В · с), дірок – 480 см^2/(В · с). Коефі-

цієнт термічного розширення – $6{,}0 \cdot 10^{-6}$ $К^{-1}$. Кремній хімічно стійкий при нагріванні на повітрі до 900°С, у воді не розчинний.

Щільність дислокацій у монокристалічних зливках кремнію (ДЕРЖСТАНДАРТ 19658 - 81) – менше 10 $см^2$, що дозволяє вважати їх бездислокаційними. Зливки кремнію легують бором (Б), що створює дірчатий тип електропровідності, фосфором (Ф) або сурмою (С), що створюють електронний тип електропровідності.

Кремній є основним матеріалом для виробництва напівпровідникових приладів: випрямних, потужних і малопотужних біполярних транзисторів, польових транзисторів і приладів із зарядовим зв'язком. Кремній застосовують також для створення детекторів ядерних випромінювань, датчиків Хола й тензодатчиків. Досить велике значення ширини забороненої зони дозволяє кремнієвим приладам працювати при температурах до 180-200°С.

Германій – Ge, хімічний елемент 4-ї групи періодичної системи елементів, атомний номер – 32, атомна щільність – 72,59. Сірувато-біла крихка кристалічна речовина; кристалізується в кубічні ґрати типу алмазу (щільність – 5327 $кг/м^3$, ($t_{пл}$ = 937,5°С). Концентрація носіїв струму при 25°С дорівнює $2 \cdot 10^{13}$ $см^3$, ширина забороненої зони - 0,665 еВ, питомий електричний опір монокристалічного германію дорівнює 5,6-6,0 кОм/м.

Металевий германій стійкий на повітрі при кімнатній температурі й швидко окисляється при температурі вище червоного розжарювання (600-700°С) з утворенням двоокису; твердий германій не реагує з азотом, воднем; рідкий германій при температурах 1000-1100°С взаємодіє з воднем.

Германій – важливий напівпровідниковий матеріал для різних електронних приладів (діоди, транзистори, фотодіоди, фоторезистори та ін.). З нього виготовляють лінзи для

ІЧ оптики, фотодіоди, фоторезистори, дозиметри рентгенівської спектрометрії, перетворювачі енергії радіоактивного розпаду в електричну енергію й т.д. Деякі сплави германію з іншими хімічними елементами є надпровідниками.

Органічні напівпровідники – тверді речовини, які мають (або здобувають під впливом зовнішніх впливів) електронну або дірчату провідність і позитивний температурний коефіцієнт електропровідності. До них відносять *органічні барвники, ароматичні з'єднання, полімери зі сполученими зв'язками, деякі природні пігменти* (наприклад, хлорофіл), а також *іонрадикальні солі.* Ці напівпровідники існують у вигляді монокристалів, полікристалів, аморфних порошків або плівок. Їх питомий електроопір – 10^{18} - 10^{-2} Ом · см. В органічних напівпровідників з низькою електропровідністю спостерігається фотопровідність.

Органічні напівпровідники знаходять застосування як світлочутливі матеріали в мікроелектроніці.

Аморфні напівпровідники – аморфні речовини, що володіють властивостями напівпровідників. Розрізняють *ковалентні аморфні напівпровідники* (Ge й Si, CaAs та ін. в аморфному стані), *халькогенідне скло* (наприклад, $As_{31}Ge_{30}Se_{21}Te_{18}$), оксидні стекла ($V_20_5$ - P_20_5) і діелектричні плівки (SiO_x, $A1_20_3$, SiN_4 та ін.).

Аморфні напівпровідники володіють рядом унікальних властивостей. Наприклад, у них яскраво виражений ефект електричного перемикання з високоомного стану в низькоомний і назад. Цей ефект дозволяє створювати елементи з часом спрацьовування менш 10^{19} - 10^{12} с.

Халькогенідне скло завдяки прозорості в інфрачервоній області спектра й високих значень опору й фоточутливості застосовуються для виготовлення електрофотографічних пластин передавальних телевізійних трубок і запису голограм.

8 ЛАКОФАРБОВІ ЗАХИСНІ МАТЕРІАЛИ

Загальні відомості

Лакофарбовими матеріалами називають в´язкорідкі суміші, що наносяться на поверхню конструкції тонким шаром (60-600 мкм), що через якийсь час твердіють і утворюють плівку, яка щільно зчіплюється з підкладкою. Основними компонентами лакофарбових матеріалів є *пігменти, наповнювачі* й *плівкоутворювальні речовини.*

Пігмент для лакофарбових матеріалів – речовина у вигляді дрібнодисперсних частинок, практично нерозчинних у лакофарбовому середовищі, що використовуються завдяки своїм оптичним, захисним або декоративним властивостям. Пігменти визначають не тільки кольори, але й технологічність (наприклад, усадку) і довговічність лакофарбового покриття.

Лакофарбове середовище – сукупність компонентів, що належать до рідкої фази фарби (лаку).

Пігменти бувають *мінеральні* (природні й штучні), *органічні й металеві.*

Мінеральні природні пігменти одержують шляхом збагачення й здрібнювання природної сировини. До них належать крейда природна, суха охра (глина зі змістом більше 15% оксиду заліза Fe), сурик залізний (Fe_2O_3), графіт сірий й ін.

Мінеральні штучні пігменти одержують шляхом хімічної переробки природної сировини. До цієї групи відносяться діоксид титану TiO_2, білила цинкові, літопон (суміш сірчистого цинку й сірчанокислого барію), крон цинковий, сурик цинковий, ультрамарин, оксид хрому, сажу газову та ін.

До органічних пігментів, використовуваних у фарбах, відносять пігменти жовтий, міцний лимонних кольорів, жовтогарячий міцний, червоний, голубий фталоціанітовий, ясно-синього кольору, лак рубіновий, і т.п. Органічні піг-

менти з великою барвною здатністю часто розбавляють тонко здрібненими мінеральними наповнювачами (крейдою, вапняком, гіпсом й ін.), що не знижують атмосферостійкості покриття.

Металеві пігменти застосовуються у вигляді металевих порошків (алюмінієва пудра, бронзовий порошок). Гарними властивостями володіють молібденові й вольфрамові фарби, наприклад *«молібден жовтогарячий»* - поліграфічна фарба величезної покривної здатності, блискучих жовтогарячих кольорів, стійка на світлі й при нагріванні. З гетерополіз´єднань молібдену й вольфраму одержують кольорові лаки синіх тонів, стійкі до атмосферних впливів, однак не дуже довговічні, що блякнуть і вигорають на світлі.

Основними споживчими властивостями пігментів є колір, *світло- і атмосферостійкість, барвна здатність, укривистість, тонкість помолу, хімічна стійкість, вогнестійкість, антикорозійна здатність, маслоємність* й ін. До споживчих властивостей лакофарбових матеріалів відносяться також *час* і *ступінь висихання, здатність шліфуватися* й *поліруватися* й ін.

Барвна здатність - властивість пігменту передавати свої кольори в суміші його з білими, чорними й синіми пігментами.

Покривність (покривна здатність) - здатність фарби при рівномірному її нанесенні на одноколірну поверхню робити невидимими кольори останньої або, у разі її нанесення на чорно-білу підкладку, зменшувати контрастність між чорною й білою поверхнями до зникнення різниці між ними.
Тонкість помолу пігменту сильно впливає на його барвну здатність і покривність.

Наповнювач для лакофарбових матеріалів – порошкоподібна речовина, звичайно біла або слабозафарбована, практично нерозчинна в лакофарбовому середовищі, що

має показник переломлення менше 1,7 і використовується завдяки своїм фізичним або хімічним властивостям. Наповнювачі, як правило, *неорганічні природні* або *синтетичні речовини,* застосовувані для поліпшення технологічних і споживчих властивостей покриттів й економії пігментів. Наповнювачі надають лакофарбовим матеріалам міцності, атмосферо- і вогнестійкості й ін. Як наповнювачі використовують каолін, мелений тальк, діабаз, азбестовий пил, волокно та ін.

Плівкоутворювальна речовина для лакофарбових матеріалів – нелетка частина лакофарбового середовища, що утворює плівку й зв'язує пігмент. Як плівкоутворювальні речовини використовують рідкі або доведені до рідкого стану тверді матеріали, які після твердіння (висихання) зв'язують між собою частки пігментів і наповнювачів й утворюють тонку фарбувальну плівку, яка міцно зчіплюється з поверхнею, що фарбується. Плівкоутворювальна речовина – головний компонент барвистої суміші, що визначає робочу консистенцію фарби, міцність, твердість і довговічність плівки, що утвориться.

Плівкоутворювальні речовини підрозділяють на *зв'язувальні речовини для водних фарбувальних сумішей* (клеї, вапно, цемент), *зв'язувальні речовини для неводних фарбувальних сумішей* (оліфи, лаки, смоли) і *емульсії (водомасляні* й *синтетичні).* Зв'язувальні речовини для водних фарбувальних складів твердіють як за рахунок випаровування води, що втримується в них, так і за рахунок хімічних процесів - карбонізації, гідратації, кристалізації та ін.

Допоміжними речовинами для виробництва лакофарбових матеріалів є *сикативи, отверджувачі, пластифікатори, розчинники, розріджувачі* та ін.

Сикатив – металоорганічне з'єднання, розчинне в органічних розчинниках і плівкоутворювальних речовинах, що дода-

ється до продуктів, що висихають за рахунок каталітичного окислювання, для прискорення процесу сушіння.

Сикативи є каталізаторами висихання рослинних масел і маслоутримувальних лакофарбових матеріалів, що прискорюють їх плівкоутворення при кімнатних і підвищених температурах. Як правило, це солі металів (свинцю, марганцю, цинку та ін.) і жирних кислот, масел, нафтонатів та ін.

Отверджувачі – речовини, що обумовлюють твердіння деяких рідких полімерів й їхній перехід у тверді, нерозчинні й неплавкі полімери.

Пластифікатор – продукт, використовуваний для підвищення еластичності плівки, що твердіє. Пластифікаторами служать речовини, що підвищують пластичність, еластичність і м'якість полімерів і лакофарбових полімерних матеріалів. Деякі пластифікатори надають полімерним матеріалам негорючості, вологостійкості й інших властивостей. Пластифікаторами є дибутилфталат, нафтові масла, каніфоль та ін.

Розчинник для лакофарбових матеріалів – рідина одно- або багатокомпонентна, летка в умовах сушіння, у якій плівкоутворювальна речовина повністю розчиняється. Розчинники застосовуються для доведення малярських сумішей до робочої в'язкості, миття посуду, пензлів, інструментів і механізмів після роботи з неводними сумішами. До розчинників належать вода, скипидар, уайт-спирит, ацетон, спирт та ін.

Розріджувач для лакофарбових матеріалів – рідина одно або багатокомпонентна, яка, не будучи розчинником для плівкоутворювальної речовини, може бути використана в сполученні з розчинником, не викликаючи небажаних ефектів.

Розріджувачі, на відміну від розчинників, містять плівкоутворювальні речовини й служать для розведення густотертих або сухих неорганічних фарб. Розріджувачами є оліфи, емульсії.

Лакофарбові матеріали (ДЕРЖСТАНДАРТ 9825) класифікують за *видом, хімічним складом* й *призначенням.*

Лакофарбові матеріали за видом ділять на *лаки, фарби* (у тому числі порошкові фарби й емалі), *грунтовки* й *шпаклівки.*

За хімічним складом (за складом плівкоутворювальної речовини) лакофарбові матеріали класифікують і позначають у такий спосіб: АБ - ацетобутиратцелюлозні; АД – поліамідні; АК – поліакрилові; АС – алкідно-акрилові; АУ - алкідно-уретанові; АЦ – ацетилцелюлозні; БТ – бітумні; ВА – полівінілацетатні; ВЛ – полівінілацетальні; ВН – вініл- і дивінілацетиленові; ВР – сополімер-вінілацетатні; ГФ – гліфталеві; ІД – поліамідні; КО – кремнієорганічні; КП – копалові; КС – сополімер-карбонільні; КТ – ксифталеві; КФ – каніфольні; КЧ – каучукові; МА – масляні; МЛ – меламінні; МС – масляно- і алкідностирольні; МЧ - сечовинні; НП – нафтополімерні; НЦ – нітроцелюлозні; ПЛ – поліефірні насичені; ПФ – пентафталеві; ПЕ – поліефірні ненасичені; УР – поліуретанові; ФА – фенолоалкідні; ФЛ – фенольні; ФП – фторопластові; ФР – фурилові; ХП – хлоровані поліетиленові; ХС – сополімер-вінілхлоридні; ХФ – перхлорвінілові й полівінілхлоридні; ЦГ – циклогексанові; ШЛ – лужні; ЕП – епоксидні; ЕТ – етрифталеві; ЕФ – епоксиефірні; ЕЦ – етилцелюлозні; ЯН – бурштинові.

За призначенням лакофарбові матеріали поділяють на групи відповідно до табл. 4.

Позначення основних лакофарбових матеріалів складаються з п'яти груп буквено-цифрових знаків для емалей, фарб, ґрунтовок, шпаклівок і чотирьох груп знаків для лаків. Перша група знаків визначає вид лакофарбового матеріалу й складається зі слова, наприклад «емаль», «лак» та ін. Друга група знаків визначає плівкоутворювальну речовину й позначається двома буквами, наприклад БТ, МА, ЕП та ін. Для лакофарбових матеріалів без активного розчинника між першою й другою групами знаків ставиться індекс, що визначає різновид матеріалу: Б – без активного розчинника, В – водо-

розчинні, ОД – органодисперсні, П – порошкові, Е – водоемульсійні. Індекс від другої групи знаків відокремлюється тире.

Третя група знаків характеризує переважне призначення лакофарбового матеріалу й позначається цифрою відповідно до табл. 4.

Третю групу знаків ґрунтовок і масляних густотертих фарб позначають цифрою 0, шпаклівок – цифрами 00. Між другою й третьою групами знаків ставиться тире.

Четверта група знаків визначає присвоєний матеріалу порядковий номер і складається з однієї, двох або трьох цифр. Для олійних фарб замість порядкового номера ставиться цифра, що визначає вид оліфи, на якій виготовлена фарба: 1 – натуральна; 2 – оксоль; 3 – гліфталева; 4 – пентафталева; 5 – комбінована.

Іноді після порядкового номера допускається буквений індекс, що характеризує особливості лакофарбового матеріалу, наприклад, М – матовий, ПМ – напівматовий, ГС – гарячого сушіння й т.д.

П'ята група знаків характеризує кольори лакофарбового матеріалу й складається зі слова.

При великій різноманітності відтінків того самого кольору колір вказується порядковим номером, наприклад зелена – 1, зелена – 2 і т.д.

Приклади позначень лакофарбових матеріалів: лак БТ-783; фарба МА-025 зелена; емаль ХВ-113 блакитна; ґрунтовка ГФ-020 червоно-коричнева; шпаклівка ЕП-0010 червоно-коричнева.

Лакофарбові матеріали застосовують для захисту матеріалів від руйнівного впливу середовища, для архітектурної обробки фасадів будинків і створення гарного виду й необхідних санітарно-гігієнічних умов у приміщеннях. Використовуються лакофарбові матеріали спеціального призначення: жаротривкі, хімічно стійкі, антисептичні й антикорозійні та ін.

Таблиця 4 – Класифікація лакофарбових матеріалів за переважним призначенням

Лакофарбові матеріали	Позначення групи	Переважне призначення (умови експлуатації покриттів)
Атмосферостійкі	1	Покриття, стійкі до атмосферних впливів у різних кліматичних умовах, експлуатовані на відкритих майданчиках
Обмежено атмосферостійкі	2	Покриття, експлуатовані під навісом й усередині неопалюваних приміщень
Консерваційні	3	Покриття, застосовувані для тимчасового захисту фарбованих поверхонь у процесі виробництва, транспортування й зберігання виробів
Водостійкі	4	Покриття, стійкі до дії прісної води і її парів, а також морської води
Спеціальні	5	Покриття, стійкі до випромінювань; покриття світні, просочувальні, фарбувальні, протинарісні, теплорегулювальні й т.д.
Маслобензостійкі	6	Покриття, стійкі до впливу мінеральних масел і консистентних змащень, бензину, гасу й ін.
Хімічно стійкі	7	Покриття, стійкі до впливу лугів, кислот й інших рідких реагентів й їхніх парів
Термостійкі	8	Покриття, стійкі до впливу підвищених температур
Електроізоляційні	9	Покриття, що піддаються впливу електричного струму, дуги й поверхневі розряди

Характеристика основних видів лакофарбових матеріалів

Фарби

Фарба (емаль) – рідкий або порошкоподібний продукт, що містить пігменти, які після нанесення на поверхню утворюють непрозору плівку, що володіє захисними, декоративними або спеціальними технічними властивостями.

Плівкоутворювальними речовинами у фарбових складах є: у полімерних фарбах, лаках – полімери; у каучукових фарбах – каучуки; у нітролаках – похідні целюлози; в олійних фарбах

– оліфи; у клейових фарбах – клеї (тваринний і казеїновий); у цементних, вапняних, силікатних фарбах – неорганічні в'язкі речовини.

Фарби за призначенням підрозділяють на *будівельні, поліграфічні, художні* й *спеціальні* (світні, термочутливі, що не обростають у воді морськими організмами та ін.). До будівельних фарб відносять *фарби масляні, водорозчинні* й *емалеві.*

Водорозчинні фарби – це вапняні, водоемульсійні, цементні, клейові, силікатні та ін.

Олійні фарби – суміші пігментів і наповнювачів на основі оліф, у яких кожна частка пігменту оточена адсорбованою на її поверхні зв'язувальною речовиною – оліфою. Олійні фарби утворюють покриття із задовільною атмосферостійкістю, невисокою твердістю, що повільно набухають у воді й руйнуються в лугах. Випускають *густотерті* й *рідкотерті олійні фарби.* Густотерті фарби – у вигляді паст – доводять до робочої в'язкості додаванням оліфи на місці роботи; *рідкотерті* фарби (титанові й цинкові білила) випускають готовими до використання зі вмістом 40-50% оліфи.

Олійні фарби застосовують із урахуванням виду оліфи й пігменту, що входять до їхнього складу. Вони використовуються в основному в будівництві (зовнішнє й внутрішнє фарбування по металу, дереву, штукатурці й бетону), а також у живописі. Фарби на натуральній оліфі використовуються для захисного фарбування сталевих конструкцій мостів і гідротехнічних споруджень, сталевих опор й ін., а також для фарбування віконних плетінь, підлог й інших дерев'яних елементів з метою запобігання деревини від зволоження. Матове покриття одержують, застосовуючи водоемульсійні масляні суміші – більш дешеві, ніж олійна фарба.

У цементних фарбах зв'язувальною речовиною є білий портландцемент; пігменти повинні бути лугостійкими. Цементні фарби застосовують для зовнішніх малярських

робіт і внутрішнього фарбування вологих виробничих приміщень по бетону, цеглі, штукатурці (фарбує поверхню, яку попередньо зволожують).

У вапняних фарбах плівкоутворювальною речовиною служить гашене вапно. Пігменти застосовують тільки лугостійкі (охра й ін.). Для успішної карбонізації до складу вводять *водоутримувальні добавки* (кухонну сіль, хлористий кальцій або алюмінієві квасці). Вапняну фарбу повсюдно застосовують для фарбування фасадів, але її доводиться часто відновляти через слабку атмосферостійкість таких покриттів.

Силікатні фарби – фарби на основі рідкого скла, тобто в силікатних фарбах плівкоутворювальною речовиною є силікат калію K_2O - SiO_2 у вигляді водного колоїдного розчину. У барвисту суміш входять, крім зв'язувальної суміші речовини, мінеральний лугостійкий пігмент (охра, залізний сурик й ін.) і кремнеземистий наповнювач (мелений кварцовий пісок, діатоміт або трепел), що підвищує водостійкість плівки.

Силікатні фарби застосовуються головним чином у будівництві для одержання довговічних покриттів по штукатурці, цеглі, бетону, каменю. Дерев'яні конструкції фарбують силікатними фарбами для захисту від загоряння; їх використовують для фарбування фасадів й усередині приміщень.

Клейові фарби – фарби на основі водяних розчинів ефірів целюлози, полівінілового спирту, крохмалю, казеїну. Клейова фарба становить собою суспензію пігменту й наповнювача (крейди) у колоїдному водяному розчині. Твердіння такого покриття відбувається в міру висихання клейової складової. При цьому утворюються пористі, звичайно неводостійкі, покриття. Клейові фарби неводостійкі; їх застосовують для внутрішніх малярських робіт із сухої штукатурки й дерева. Казеїнові атмосферо- і водостійкі

клейові фарби використовують для фарбування фасадів й одержання покриттів, що миються.

Полімерною емульсійною фарбою називають барвисту суміш із двох рідин, що не змішуються, у якому частки однієї рідини (дисперсної фази – *суспензії пігменту*) розподілені в іншій рідині (дисперсійному середовищі – *розчині полімеру).* Навколо частинок дисперсної фази утворюється механічно міцна оболонка, що перешкоджає їхньому укрупненню й злиттю.

Емульсії – дисперсні системи з рідким дисперсійним середовищем і рідкою дисперсною фазою. Емульсії з водним дисперсійним середовищем називаються *прямими* (наприклад, водоемульсійні фарби), з водною дисперсною фазою – *зворотними* (нафтові емульсії). Обов'язковий компонент емульсійної фарби – *емульгатор,* тобто поверхнево-активна речовина, що адсорбується однією з рідин на поверхні розподілу фаз, знижуючи її поверхневий натяг.

Кількість полімерного розчинника в таких фарбах 30-50%, що забезпечує суміші малярську консистенцію. Після нанесення покриття розчинник випаровується, і на пофарбованій поверхні утворюється атмосферостійка плівка. Дисперсія полімеру в леткому розчиннику повинна забезпечувати змочуваність основи, тоді полімер проникає в його (бетону, цегли й ін.) пори, забезпечуючи міцне зчеплення плівки, що утворюється, з основою.

Полімерні емульсійні фарби швидко висихають, однак при цьому безповоротно втрачаються леткі органічні розчинники. Більшість цих розчинників горючі, їхні пари вогне- і вибухонебезпечні. Ці пари, накопичуючись у приміщенні, шкідливо впливають на здоров'я людей. Полімерні емульсійні фарби поставляють у вигляді паст, які на місці застосування розбавляють водою до малярської консистенції. Вода після нанесення фарби частково випаровується, частково усмоктується підкладкою. У результаті емульсія

розпадається, утворюючі міцне гладке матове покриття, водо- і світлостійке. Завдяки своїй пористості ці покриття газопроникні.

Водоемульсійні *(латексні)* фарби містять, крім пігменту й наповнювача водну дисперсію полімерів (поліакрилатів, полівінілацетату, сополімерів стиролу з бутадієном та ін.). Ці фарби нетоксичні, пожежо- і вибухобезпечні, тому що не містять органічних розчинників. Застосовуються для фарбування стін, транспортних засобів, шкіри, меблів.

Порошкова фарба – суха композиція плівкоутворювальної речовини з пігментами й наповнювачами, що створюють після наплавления, охолодження й твердіння тверду непрозору плівку.

Порошкову фарбу наносять на поверхню методом напилювання. Переваги перед рідкими фарбами – простота застосування, легкість зберігання й транспортування. Порошкові фарби наносять головним чином на термостійкі матеріали – метали, кераміку, скло, бетон.

Лаки

Лак – фарбова суміш у вигляді дисперсії *плівкоутворювальної речовини* (природної або синтетичної смоли, бітуму, оліфи) у *леткому розчиннику,* що після нанесення на поверхню утворює тверду прозору плівку, яка володіє захисними, декоративними або спеціальними технічними властивостями. Крім цих двох головних компонентів, лак звичайно містить *пластифікатор, отверджувач* й інші *спеціальні добавки, що* поліпшують його якість. Більшість лаків безбарвні, але застосовують також лаки, зафарбовані барвниками, й чорні (на основі бітумів і кам'яновугільних пеків).

Нітролаки – розчини, похідні целюлози в органічних розчинниках, як правило, утримуючі пластифікатор. Нітролак швидко висихає, утворюючи як безбарвну, так і коричневого або жовтого кольору блискучу плівку. Використовується для

фарбування дерев'яних виробів. Нітролаки вогненебезпечні і токсичні під час використання.

Спиртові (смоляні) лаки й політури – розчини синтетичних (алкідних, поліуретанових та ін.) або природних смол у спирті, що мають коричневий, жовтий або інший кольори. Покриття еластичні, зносостійкі, мають антикорозійні й електроізоляційні властивості. Їх використовують для полірування дерев'яних деталей, меблів, для покриття виробів зі скла й металу. Цими лаками захищають також хімічну й радіоелектронну апаратуру, деталі судів і літаків.

Бітумно-смоляні лаки становлять собою розчини бітумів й органічних масел в органічних розчинниках. Утворюють водостійкі плівки чорних кольорів. При додаванні алюмінієвої пудри одержують теплостійку фарбу, що йде для фарбування санітарно-технічного устаткування. Бітумно-смоляні лаки застосовують для антикорозійного покриття металевих деталей санітарно-технічного обладнання, каналізаційних і газових труб; ними ж покривають «чорні» залізні вироби.

Бітумно-масляні лаки мають у своєму складі рослинні масла, що поліпшують властивості покриттів (збереження еластичності на морозі, більша довговічність). Вони використовуються для фарбування металевих конструкцій і деталей (поручнів, огорож та ін.).

Ґрунтовки

Ґрунтовка – суспензія пігменту або суміші пігментів з наповнювачами в плівкоутворювальній речовині, що створює після висихання однорідну непрозору плівку з гарною адгезією до підкладки й покривних шарів і призначена для підвищення захисних властивостей системи покриттів.

Ґрунтовки утворюють нижні шари лакофарбових захисних покриттів, створюючи надійне зчеплення верхніх шарів покриття із забарвлювальною поверхнею. Крім того, вони захищають метал від корозії. виявляють текстуру де-

ревини, закривають пори матеріалу, вирівнюють і створюють однорідну поверхню перед фарбуванням. Висушену заґрунтовану поверхню покривають фарбою або лаком.

Шпаклівка

Шпаклівка – продукт пастоподібної або рідкої консистенції, застосовуваний для усунення невеликих дефектів поверхні перед фарбуванням.

Шпаклівка – густа грузла маса, що складається із суміші пігментів з наповнювачами у зв'язувальній речовині. Розрізняють *лакові, масляні* й *клейові шпаклівки.* Шпаклівкою заповнюють нерівності й вирівнюють забарвлювальну поверхню. Її наносять по шару висохлої ґрунтовки. Висохлу шпаклівку обробляють шліфувальною шкуркою.

Лакофарбове покриття звичайно складається із ґрунтовки, шпаклівки й покривних шарів фарбового складу (лаку, емалевої або емульсійної фарби). Одержали поширення покриття, армовані волокнами або тканинами (бавовняною, синтетичною або склотканиною – залежно від середовища). Для створення більш надійного захисту застосовують стовщені покриття – *обмазки.*

Обмазки – суміші, приготовлені для захисту покриття, наприклад, на основі розчинів хімічно стійких синтетичних смол і портландцементів. До найпоширеніших обмазок належать цементно-полістирольна й цементно-поліхлорвінілова; застосовують також цементно-бітумну мастику, цементно-казеїнову суміш, глинобітумну пасту й ін.

Розчинники для лакофарбових матеріалів

Розчинники для лакофарбових матеріалів повинні мати такі споживчі властивості: хімічну стійкість, тобто не повинні взаємодіяти з розчинами, негігроскопічність, тому що навіть невелика кількість води затрудняє процеси склеювання, герметизації, фарбування й ін.; швидкість випаровування, що забезпечує необхідний плин технологіч-

ного процесу; мінімальну токсичність і вогненебезпечність.

Залежно від приналежності до видів хімічних сполук розчинники підрозділяють на *терпенові, вуглеводневі, кисневмісні* й *хлоровані розчинники.*

Терпенові розчинники одержують під час переробки соснової деревини або смоли. Найбільшого поширення дістав *скипидар* (ДЕРЖСТАНДАРТ 1571-82) - безбарвна, іноді з жовтуватим відтінком рідина щільністю 855-863 кг/м^3. Температура кипіння – близько 150°С, а температура спалаху дорівнює 30-32°С. Добре розчиняє органічні масла, каніфоль, гліфталеві, поліефірні й епоксидні смоли і їх сополімери зі стиролом. Скипидар нетоксичний, але його пари при концентрації вище 0,3 мг/л викликають головний біль. Через відносно високу вартість скипидар застосовують обмежено в опоряджувальних роботах.

До вуглеводневих розчинників, що дістали найбільшого поширення, належать легкі фракції, одержувані під час перегонки сирої нафти: *гас, бензин, бензин-розчинник (уайт-спірит).*

Гас – прозора безбарвна або жовтувата рідина із блакитним відливом щільністю 820-840 кг/м^3. Розчинна здатність невелика. Через різкий запах застосовують тільки для розчинення бітуму.

Бензин (ДЕРЖСТАНДАРТ 8505) – прозора, здебільшого безбарвна рідина з характерним запахом щільністю 700-780 кг/м^3. Він легко випаровується й запалюється. Суміш його парів з повітрям вибухонебезпечна. Бензин випускається різного ступеня очищення, показником чого служить розмір інтервалу температури кипіння: автомобільного бензину – 70-225°С, авіаційного – 40-180°С, екстракційного – 80-120°С. Останні найменш токсичні.

Уайт-спірит (ДЕРЖСТАНДАРТ 3134) – середня фракція між важким бензином і тракторним гасом. Інтервал температур

кипіння 150 - 210°С. Щільність 762 - 795 кг/м^3. Ефіроцеллюлозні й деякі епоксидні состави уайт-спірит не розчиняє. Має малу токсичність і невисоку вартість.

До кисневмісних розчинників відносять органічні сполуки, до складу яких крім вуглецю й водню, входять атоми кисню: *спирти, складні ефіри* (ацетати) і *кетони.* Кисневмісні розчинники добре розчиняють нітроцелюлозу, сечовино- і меламіноформальдегідні й вінілові полімери.

Зі спиртів як розчинники найчастіше використовують *метилові* й *етиловий* (ДЕРЖСТАНДАРТ 17299) *спирти.* За хімічним складом це найпростіші вуглеводні - метан CH_4 й етан C_2H_6, у яких один атом водню заміщений гідроксильною групою ОН. За зовнішнім виглядом це безбарвні прозорі рідини з характерним запахом. Щільність метилового спирту – 793, а етилового - 791 кг/м^3. Молекулярна маса відповідно дорівнює 32,04 й 46,0; температура кипіння - 64,5 й 78,5°С. З водою змішуються в необмеженій кількості. Етиловий і метиловий спирти токсичні, особливо отруйний метиловий спирт. Добре розчиняють масла й жири.

Зі складних ефірів як розчинники найчастіше застосовують сполуки спиртів з оцтовою кислотою – *ацетати: метилацетат* – з метилового спирту; *етилацетат* – з етилового спирту; *бутилацетат* – з бутилового спирту. Вони становлять собою безбарвні рідини з більш-менш сильним солодкуватим фруктовим запахом. Щільність метилацетату 935, етилацетату – 886 і бутилацетату – 872-883 кг/м^3. Температури кипіння відповідно дорівнюють 60; 77,1; 118-128°С. Вони добре розчиняють нітроцелюлозу, фенолоформальдегідні й фталевогліцеринові полімери. Всі вони токсичні.

Кетони становлять більшу групу органічних сполук, але як розчинник широко застосовують найпростіший з них – *технічний ацетон* (ДЕРЖСТАНДАРТ 2768), що становить собою безбарвну рідину з характерним ефірним запахом і щільністю 790 кг/м^3. При звичайній температурі він легко випаровується.

Ацетон добре змішується в заданому співвідношенні з водою, спиртом, ефіром, мінеральними й рослинними маслами, бензином, гасом, скипидаром і деякими іншими речовинами. Добре розчиняє органічні смоли й більшість синтетичних смол.

Із хлорованих вуглеводнів як розчинник використовують *дихлоретан* – безбарвну рідину зі слабким запахом, щільністю 1250 кг/м^3, з температурою кипіння 84,5°С. Дихлоретан – сильний розчинник. Горючість його помірна. Застосовується рідко, тому що це сильно діюча отрута.

9 МАСТИЛЬНІ МАТЕРІАЛИ

Загальні відомості

Метою змазування зон тертя є забезпечення переважно рідинного тертя, при якому втрати на тертя малі, а зношування деталей практично відсутнє.

Мастильний матеріал – матеріал, що вводиться на поверхні тертя для зменшення сили тертя й (або) інтенсивності зношування.

Мастильні матеріали повинні мати строго задані властивості, які визначаються величинами питомого й повного навантажень у зоні тертя; максимальною, середньою й об'ємною температурами в зоні контакту; кінематикою руху в зоні тертя (кочення, ковзання, змішане). При цьому повинні враховуватися природа матеріалів обох деталей тертя, характеристики хвилястості й шорсткості поверхонь у зоні тертя, властивості навколишнього середовища та ін.

До основних показників якості й працездатності мастильних матеріалів належать *в'язкість* і *вязкісно-температурні властивості, стійкість до окислювання* й *корозійна стійкість, зольність, температури застигання, спалаху* й *запалення, коксівність, антипінні властивості, щільність, кольори* та ін.

В'язкість рідкого мастильного матеріалу – внутрішнє тертя, що виникає між його молекулами й шарами при їхньому відносному переміщенні під дією зовнішньої сили. Розрізняють *динамічну, кінематичну* й *умовну в'язкість.* Залежність в'язкості від температури прийнято характеризувати відношенням значень кінематичної в'язкості при 50 і при 100°С. Чим менше це відношення, тим вищі вязкісно-температурні властивості масла.

Коксівність масла – це здатність масла під впливом високих температур розкладатися з утворенням твердих осадів (коксу).

За агрегатним станом мастильні матеріали можуть бути *рідкими, пластичними, твердими* й *газоподібними.* Найбільше поширення дістали рідкі мастильні матеріали *(масла)* і пластичні мастильні матеріали *(мастила).*

Мастила

Мастила як конструкційний матеріал вузла тертя виконують такі функції:

1) зменшують тертя, що виникає між сполученими деталями:

2) знижують зношування й запобігають задиранню тертьових поверхонь;

3) відводять тепло від тертьових поверхонь;

4) захищають поверхні тертьових деталей й інші неізольовані частини від корозійного впливу навколишнього середовища;

5) ущільнюють зазори між сполученими деталями;

6) видаляють із зони тертя продукти зношування, корозії та інші забруднення.

Залежно від призначення й умов експлуатації використовуване масло повинне надійно виконувати дві-три основні функції.

За походженням (способом одержання) виділяють *нафтові, синтетичні* й *рослинні масла.* У найбільших масш-

табах використовуються нафтові масла, одержувані шляхом переробки нафтової сировини. Синтетичні масла, одержувані на основі вуглеводневої або інших видів сировини, частіше використовуються в суміші з нафтовими маслами - *напівсинтетичні масла.*

До складу товарних масел часто входять, крім *основного компонента* (нафтового, синтетичного масла або їхньої суміші), *спеціальні присадки* й *тверді антифрикційні добавки.* Як присадки використовуються органічні сполуки в кількості до 30%, що поліпшують ті або інші властивості (антиокисні, миючо-диспергуючі, в´язкісні, антифрикційні, протизносні, депресорні, протипінні й ін.). Як тверді антифрикційні добавки (0,5-3,0%) використовуються графіт, дисульфід молібдену, нітрид бору, деякі селеніди, сульфіди та йодиди металів, а також високодисперсні порошки металів й їхні оксиди. Метою введення твердих добавок є підвищення мастильної здатності масел і їхньої стабільності до окислювання. Перевага цих добавок полягає в тому, що їхня дія проявляється як при низьких, так і при високих температурах.

Основними споживчими властивостями мастил є *рухливість, індекс в'язкості, стабільність до окислювання, випаровуваність, займистість, срийнятливість до присадок, мастильна здатність, сумісність із нафтовими основами, сумісність із ущільнювальними матеріалами.*

Індекс в'язкості (ІВ) – ступінь зміни в'язкості масла залежно від температури. Чим вище його значення, тим краще масло.

За призначенням виділяють такі основні групи масел: *моторні, індустріальні, трансмісійні, турбінні, компресорні, гідравлічні, концерваційні, для технологічних операцій* і *спеціального призначення.*

До групи моторних масел відносять *масла для змазування карбюраторних, дизельних* й *авіаційних поршневих двигунів,* а також *універсальні.*

Індустріальні масла ділять на чотири групи: 1) *для гідравлічних систем;* 2) *вузлів напрямного ковзання;* 3) *для зубчатих передач;* 4) *для шпинделів, підшипників і сполучених з ними з'єднань.* Специфічними споживчими властивостями індустріальних масел є індекс задиру, навантаження зварювання, показник зношування й протистрибкові властивості.

Турбінні масла розрізняються за конструкцією й потужністю мастильних систем турбін: *гравітаційні* (малопотужні) і *напірні* (великої потужності). Турбінне масло піддається впливу температур 60-100°С в умовах контакту з киснем повітря й водою й за наявності металів, каталізуючих процес його окислювання. З урахуванням умов експлуатації до турбінних масел ставляться такі споживчі вимоги: стійкість до окислювання в умовах контакту з повітрям при температурах 100-120°С; відсутність схильності до емульгування з водою; низьке піноутворення; гарні змазувальні і протизношувальні властивості; низьке кислотне число для свіжого мастила й на початку роботи; великий коксовий залишок; відсутність механічних забруднень, опадів і шламів; висока температура спалаху.

Трансмісійні масла призначені для змазування різного роду механічних і гідравлічних трансмісій. Умови роботи масел визначаються конструкцією агрегату трансмісій (циліндричний, конічний, спірально-конічний й інший агрегати).

Позначення моторних, трансмісійних і гідравлічних масел установлені ДЕРЖСТАНДАРТом 17479.1, ДЕРЖСТАНДАРТом 17479.2 і ДЕРЖСТАНДАРТом 17479.3.

Компресорні масла, застосовувані в повітряних, газових, холодильних компресорах, повітродувках і вакуумних

насосах різного типу й призначення, поділяються на три основні групи: *для повітряних і газових компресорів; для холодильних компресорів; для вакуумних насосів.* Споживчі вимоги до масел для повітряних і газових компресорів визначаються температурою стиснення газу, тиском стискання й чистотою газу. Компресорне масло повинне володіти *термічною* й *термооксидоційною стабільністю, відсутністю схильності до коксоутворення* й *температурою спалаху на 50°С вище найвищої робочої температури.* У маслі не повинно бути летких компонентів, а масляний туман повинен відразу осідати на стінках циліндрів, у протилежному разі може відбутися вибух парів масла. Компресорне масло для холодильних компресорів повинне протистояти агресивності холодоагенту, температура його застигання повинна бути нижче від мінімальної робочої температури.

Консерваційні масла застосовуються для захисту від корозії й зношування металовиробів, конструкційних матеріалів, запасних частин, інструментів, апаратури й ін. Ці масла утворюють на поверхні тонку масляну плівку, що захищає поверхню від зовнішнього середовища, а також є мастильним матеріалом при переході від консервації до експлуатації. Консерваційне масло, як правило, несумісне з ходовим і перед запуском законсервованого пристрою повинне бути повністю замінене або в нього додане ходове масло.

Масла для технологічних операцій - це мастильний матеріал, що відіграє роль допоміжного засобу в різних технологічних процесах: обробці різанням, пластичній і тепловій обробці, для ливарних форм, керамічних виробів, для виробництва бетонних виробів та ін.

Спеціальні масла – це такі види масел, які за своїми властивостями пристосовані до виконання особливих певних функцій і практично не застосовуються у звичайних умовах змащення. До цієї групи відносять просочувальні масла й масляні розчинники, масло для ланцюгів тунельних печей, масло

для герметизації шпарин, масляні теплоносії й ін. Спеціальне масло одержують шляхом введення в мінеральне або синтетичне основне масло спеціальних присадок.

За специфікою експлуатації розрізняють *робочі, консерваційні* й *консерваційно-робочі масла.*

За умовами застосування масла можуть бути *літні, зимові, всесезонні,* а також *для застосування в регіонах з особливими кліматичними умовами,* наприклад, у північних (арктичних).

Пластичні мастила

Основне завдання пластичних мастил – зниження коефіцієнта тертя. Менше застосування мають пластичні захисні мастила, що наносяться на поверхню для захисту від корозії й для герметизації. Всі пластичні мастила повинні відрізнятися високою липкістю до змащувальної поверхні.

Основним компонентом пластичних мастил є мінеральне або синтетичне масло різної в'язкості. Як сгущувач використовуються консистентні вуглеводні, а також мила різних металів і жирних кислот.

Згущувач утворює із мастилом просторовий каркас (рис. 20), в осередках сітки якого закріплене мастило. Переміщення масла обмежене перегородками каркаса. Просторовий каркас звичайно побудований із кристалічних агрегатів з волокнистою ниткоподібною або кулястою структурою.

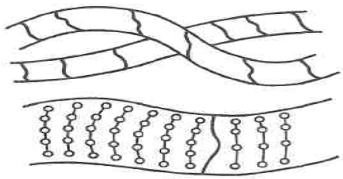


Рисунок 20 – Структура волокна згущувача мастил

Між молекулами в агрегатах і самих агрегатах здійснюється вандерваальсова взаємодія. Форма агрегатів й особ-

ливо форма волокон й їхнє розміщення в просторовій структурі визначають механічні властивості мастила, так, наприклад, пластичне мастило має межу текучості.

Пластичні мастила не деформуються під дією сили ваги, а під дією сил, що зрушують, після подолання межі текучості течуть, як рідини.

Відновлення просторової структури й пов'язані із цим реологічні властивості називаються *тиксотропними властивостями.*

Властивості пластичних мастил оцінюють так само, як і властивості інших мастильних матеріалів. Додатково (через специфіку їхньої структури) визначаються *коефіцієнт тиксотропії, межа текучості, температура каплепадіння* та ін., серед яких, наприклад, *мікробіологічна стійкість,* оскільки компоненти пластичних мастил можуть бути поживою для бактерій, розвиток яких призведе до часткового руйнування або зміни просторової структури мастила.

Пластичні мастила класифікуються *за основним компонентом* (маслом), *видом згущувача, призначенням* (для підшипників кочення, ковзання, для передач; канатне мастило, ущільнювальне мастило, мастило для газових кранів, насосне й вакуумне мастило та ін.) і *особливими властивостями* (термостійкі, негорючі, стійкі до високого тиску та ін.).

Найбільшого поширення дістали кальцієві мастила *(солідол), що* виготовляються з натуральних тваринних і рослинних жирів або жирних синтетичних кислот. Як згущувачі застосовуються гідроксид кальцію в порошковому вигляді (сухогашене вапно) або у вигляді водної суспензії (вапняне молоко). Солідол випускається різної консистенції, що визначає в'язкість масла й кількість згущувача.

Тверді мастильні матеріали

У багатьох специфічних випадках у вузлах тертя можуть застосовуватися тільки *тверді мастильні матеріали.* До таких випадків відносяться, наприклад, такі, що випливають умови

роботи вузлів тертя: експлуатація нижче температур застигання масел і мастил; експлуатація при високих температурах, при яких мастила розкладаються й випаровуються; неприпустимість наявності рідини; неможливість періодичного підведення мастильного матеріалу до поверхонь тертя та ін.

Природні й штучні тверді мастильні матеріали можна розділити на дві групи:

• *неорганічні* - шаруваті (графіт, дихалькогеніди перехідних металів, нітрид бору й ін.); нешаруваті (хлориди, фториди та йодиди металів, оксиди й ін.); м'які метали і їхні сплави (Pb, Sn, Cd та ін.);

• *органічні* - полімерні матеріали (політетрафторетилен, полііміди та ін.).

Тверді мастильні матеріали застосовуються у вигляді покриттів конструкційних матеріалів й антифрикційних наповнювачів у композитах.

Основними вимогами до твердих мастильних покриттів є *низький опір зрізу; висока адгезія матеріалу покриття до підкладки; якомога менша товщина шару покриття; високий опір зношуванню; відсутність корозійного впливу на метали; висока температурна стійкість*. Перелічені вимоги істотно залежать як від природи твердого мастильного покриття, так і від способу його нанесення на деталь.

Способи нанесення покриттів можуть бути розділені за такими групами: *механічні* (натирання, галтування й ін.), *зі зв'язувальною речовиною* (занурення, нанесення пензлем, розпилення й ін.), *хімікотермічні* й *фізичні* (плазмовий, детонаційний та ін.).

Змазувально-охолоджувальні рідини

Змазувально-охолоджувальні рідини (ЗОР) - складні багатокомпонентні (у середньому 8-10 складових) сполуки продуктів нафтохімічного й хімічного виробництва. Вони володіють рядом властивостей, що забезпечують при введенні їх у зону різання підвищення стійкості інструмента,

поліпшення якості оброблюваної поверхні, зменшення сил різання й видалення стружки.

В основі дії ЗОР на процес різання лежать три ефекти: мастильний, охолоджувальний і миючий.

Застосування ЗОР не завжди дає позитивний результат. Так, хімічно активні речовини під час різання швидкорізальним інструментом у багатьох випадках знижують стійкість інструмента внаслідок збільшення абразивно-хімічного зношування, а також зменшення захисної дії наросту на контактних поверхнях. Особливо значний прояв негативного впливу ЗОР на стійкість при малих швидкостях різання.

У промисловості застосовуються два основних види ЗОР: *масляні* й *водорозчинні*.

Масляні ЗОР складаються з мінерального масла (60-95%) і різних присадок: антифрикційних, антизадирних, антипінних й антимрячних інгібіторів корозії. Масляні ЗОР (сульфофрезол, МР-1, ОСМ-3) мають найбільш високу мастильну дію й застосовуються в основному при обробці швидкорізальним інструментом на низькій швидкості різання й за необхідності знизити шорсткість обробленої поверхні.

Водорозчинні ЗОР *(емульсоли)* містять 70-85% мінерального масла і 30-15% емульгаторів разом із різними присадками. З емульсолів (Е-1-3, ЕТ-2 та ін.) виготовляють водні емульсії (як правило, 1-10% емульсолу). Водні охолоджувальні емульсії завдяки мастильній і високій охолоджувальній дії одержали найбільш широке застосування.

10 МАТЕРІАЛИ З ОРГАНІЧНИХ РЕЧОВИН

Органічна речовина (органічна сполука) – речовина, що становить собою комплекс сполучень вуглецю з іншими елементами, що виникає прямо або побічно із живої речовини або продуктів її життєдіяльності.

10.1 Лісоматеріали

Загальні відомості

Дерево – багаторічна рослина з головним стеблом, яке одерев'яніло (стовбур), що зберігається протягом всього його життя (від десятків до сотень років) і гілками, що утворюють крону. За структурою поперечного розрізу стовбура дерева як елементи розрізняють *кору, камбій, серцевину і деревину* (рис. 21). ***Кора рослини*** – багатошарова периферична тканина стебел і коріння рослин. Кора, що розвивається, складається із зовнішнього шару – кірки і внутрішнього – лубу. *Луб (флоема)* – тканина вищих рослин, яка служить для проведення органічних речовин, що синтезуються головним чином у листі, з крони дерева вниз і містить їх запаси.

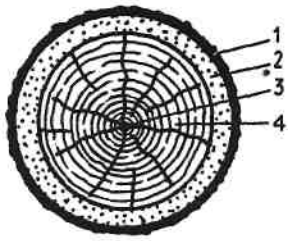


Рисунок 21 – Схема поперечного розрізу стовбура дерева:
1 – кора рослини; 2 – камбій; 3 – серцевина дерева; 4 – деревина (ксилема)

Кора може містити дубильні речовини, лікарські, пряні й інші речовини. ***Камбій*** – твірна тканина в стеблах і корінні рослин, що дає початок вторинним провідним тканинам і забезпечує їх

ріст у товщину: до центру дерева відколюються клітини деревини, а у бік лубу – лубові клітини. Сезонні зміни активності камбію в результаті зміни теплої і холодної пір року обумовлюють утворення річних кілець (шарів приросту деревини). Річні кільця видно на зрізі стовбура дерева і дозволяють визначити його вік і умови життя. ***Серцевина дерева*** –центральна частина стебла або кореня, зайнята пухкою первинною тканиною дерева, в якій відкладаються крохмаль, масла і дубильні речовини. Вона складається з найбільш тонкостінних клітин і має малу міцність. Серцевина легко загниває. Частина деревини, прилегла до серцевини, складається з клітин, що омертвіли, і називається *ядром.* Рух вологи за клітинами припинився. Ядро оточене кільцями молодшої деревини – *заболонню,* по живих клітинах якої, розміщених рядами тонких концентричних кілець, переміщається волога з розчиненими в ній живильними речовинами. Якщо у деревної породи ядро відсутнє, то її називають *заболонною* (береза, клен, вільха).

Деревина (ксилема) – тканина вищих рослин, що служить для проведення води і розчинів мінеральних солей від коріння до листя та інших органів.

Мікроструктура деревини волокниста, пориста. Деревина утворена з витягнутих веретеноподібних клітин-осередків, стінки яких складаються в основному з *целюлози.* Ці порожнисті клітини-осередки утворюють волокна.

Целюлоза – полісахарид, утворений залишками глюкози, є природним лінійним полімером, ниткоподібні ланцюги якого жорстко зв'язані гідрооксидними зв'язками. Будову целюлози пояснює відсутність у деревини області високоеластичного стану, що виникає при нагріванні багатьох лінійних полімерів.

Макроструктуру деревини вивчають за трьома розрізами стовбура дерева: поперечному, радіальному подовжньому (по діаметру або радіусу) і тангенціальному подовжньому (по хорді).

Під час росту дерева, під час зберігання на складах і експлуатації з'являються так звані *дефекти деревини.*

Дефекти деревини – це відхилення від нормальної будови, а також пошкодження, які роблять вплив на її властивості. Залежно від причин появи пороки згідно з ГОСТ 2140-71 поділяють на групи, види і різновиди. Групи пороків можуть бути умовно розділені за чотирма основними причинами появи:

– дефекти, що залежать від неправильного росту деревини *(сучки, тріщини, дефекти форми стовбура* і *будови деревини, хімічні забарвлення);*

– пошкодження деревини грибками;

– біологічні пошкодження деревини комахами *(червоточина),* паразитними рослинами і птахами;

– механічні пошкодження, чужорідні включення, дефекти обробки і пожолобленості.

Породи дерев, що використовуються в промисловості, можна розділити на дві групи:

1) хвойні породи – сосна, ялина, модрина, ялиця, кедр сибірський і др.;

2) листяні породи – дуб, ясен, осика, береза, клен, бук та ін.

Деревина хвойних дерев просочена *смолою,* а деревина листя – *дубильними речовинами.*

У різних порід дерев деревина різна за своїми фізико-хімічними властивостями. Властивості деревини прийнято розглядати:

а) у трьох напрямках – подовжньому, радіальному і тангенціальному;

б) при стандартній вологості – 15% (для промислового використання дозволяється вологість деревини не більше 25%);

в) при стандартних нахилі волокон і кількості дефектів (тріщин, червоточини, сучків та ін.).

Фізико-хімічні властивості деревини є унікальними і широко використовуються в промисловості. Розглянемо деякі з них на прикладі сосни.

Фізичні властивості сосни: щільність – від 490 до 750 кг/м^3; пористість – від 46 до 85%; електропровідність – від 104 до 107 Ом • м (електропровідність сирої деревини зменшується приблизно в 10 разів); діелектрична проникність – від 19 до 33 пФ/м, теплопровідність – від 0,15 до 0,33 Вт/(м-К). Низька теплопровідність деревини пояснюється тим, що дерево має багато пор, заповнених деревиною.

Механічні властивості: міцність на стиснення – 55 МПа, на вигин – 100 МПа; модуль Юнга – 1 • 10-4 МПа.

Питома міцність деревини при розтягуванні уздовж волокон приблизно така сама, як у високоміцної сталі і склопластика. Проте її сильно знижують сучки, тріщини та інші дефекти.

Особливістю деревини є текучість, яка найяскравіше виявляється у вологих умовах. Деревина не розчиняється у воді й органічних розчинниках.

До основних технологічних властивостей деревини належать: оброблюваність різанням; опір розколюванню, стисненню, зношуванню; здатність утримувати шурупи, цвяхи; можливість скріплення за допомогою склеювання, врубок, цвяхів тощо; довговічність. Одна з негативних технологічних властивостей дерева – нерівномірна зміна лінійних розмірів під час усихання і набухання.

Недоліками деревини є її *займистість* і *гниття.*

Температури займання деревини (відповідна спалаху горючих газів) – 250-300°С. При температурах вище 350°С гази, що виділяються з деревини, загораються навіть за відсутності відкритого полум'я. Для попередження спалаху дерев'яних конструкцій слід використовувати відповідні конструктивні заходи, а також оберігати від вогню поверхню дерев'яних конструкцій фарбовими вогнезахисними складами або просочувати деревину вогнезахисними речовинами – антипіринами.

Гниття деревини – розкладання целюлози деревини унаслідок діяльності дереворуйнівних грибів і мікроорганізмів. Способами запобігання гниттю є створення умов, не сприятливих для розвитку дереворуйнівних грибів, і введення в деревину речовин, отруйних для грибів, – антисептиків. Антисептування дерев'яних елементів, що піддаються дії води (рудничні стійки, стовпи, палі, шпали та ін.), здійснюють маслянистими антисептиками, що не розчиняються, або антисептичними пастами.

Способом дії на властивості деревини є *модифікування.*

Модифікування – направлена зміна фізико-механічних, теплофізичних, триботехнічних, біохімічних та інших властивостей деревини стосовно умов експлуатації виробів з неї.

Спилене й очищене від сучків дерево називають *стовбуром* (або *прутом).* Після розпилювання стовбура отримують *ділову* і *дров'яну частини.*

Ділова деревина – частини стовбура дерева певних розмірів і якості, що є кінцевим продуктом лісозаготівельного виробництва або використовувані як напівфабрикати для подальшої механічної або хімічної переробки в *лісоматеріали.*

Лісоматеріали – матеріали з деревини, що зберегли її природну структуру і хімічний склад. Розрізняють круглі та оброблені лісоматеріали.

Круглі лісоматеріали

Круглі лісоматеріали – відрізки стовбурів дерев різної товщини (діаметра) у верхньому відрізі і змінній за довжиною. Круглі лісоматеріали підрозділяють на *колоди, підтоварник* і жердини.

Колоди – круглі лісоматеріали завдовжки від 3 до 6,5 м, очищені від сучків урівень з поверхнею і обкоровані з повним видаленням лубу. Класифікація колод здійснюється за товщиною стовбура у верхньому відрізі, за наявністю дефектів і за довжиною.

За товщиною стовбура у верхньому відрізі колоди підрозділяють на три групи:

Таблиця 5 – Призначення і загальні вимоги до круглих лісоматеріалів

Призначення матеріалів	Порода деревини	Сорт	Товщина, см	Довжина, см
Хвойні породи (за ГОСТ 9463)				
1 Для сваїв гідротехнічних споруд і елементів мостів	Сосна, ялина, ялиця, пихта європ. і кавказька	2	22-34	6,5-4,5
2 Для опор ліній електропередач напругою, кВ	сосна, ялина, ялиця, пихта		16-22 4,5-6,5 за спеціальним замовленням	
а) нижче 35	Сосна	1; 2		
б) 35 і більше	Ялиця	1; 2		
3 Для будівництва	сосна, ялина, ялиця, пихта	1; 2	14-24	3,0-6,5
4 Для допоміжних і тимчасових споруд різного призначення	Те саме	2	6-13	3,0-6,5
5 Для поділу на копалову стійку		1; 2	7-24	4,0-6,5
Листяні породи (за ГОСТ 426-82)				
1 Для виготовлення шпал залізниць		-	-	3,0-5,5
а) широкої колії	береза	2; 3	26 і більше	1,8-3,2
б) вузької колії	те сааме	2; 3	20 і більше	3,5
2 Для будівництва	всі породи	2	12-24	4,0-6,5
3 Для допоміжних і тимчасових споруд різного призначення	те саме	2	8-11	не меньше 3,0

Примітка. У лісоматеріалах, призначених для оброблення на копалову стійку, не допускаються заруби, запили, виколи сучків та інші поверхневі пошкодження завглибшки більше за 1/20 діаметра торця в місці пошкодження; наявність двох радіальних тріщин, направлених по одному діаметру з двох протилежних сторін бічної поверхні, що перевищує в загальній сумі по глибині l/2 діаметра відповідного торця.

– дрібні – з товщиною стовбура для хвойних колод 6-13 см, для листя – 8-13 см;

– середні – від 14 до 24 см;

– великі – 26 см і більше.

За наявністю дефектів колоди поділяються на три сорти (1, 2 і 3). Сортність визначають шляхом встановлення норм дефектів деревини (ГОСТ 2140-71). При цьому до дефектів відносять сучки, грибні пошкодження, червоточину, тріщини, кривизну стовбура та ін.

За довжиною колоди використовують з градацією через 0,5 м.

Підтоварник і ***жердина*** – круглі лісоматеріали завтовшки у верхньому відрізі відповідно 8-11 і 3-7 см.

Призначення для промислового застосування круглих матеріалів із загальними вимогами до них наведене в табл. 5.

Зберігати круглі лісоматеріали потрібно піднятими від землі мінімум на 50 см. Торці колод рекомендується замазати глиною, вапном або крейдою, щоб вони не розтріскувалися, а колоди, укладені в штабелі, потрібно тримати під навісом у тіні, закривши з усіх боків. Лісоматеріал необхідно періодично оглядати і обробляти антисептиком проти грибів і жуків-короїдів.

10.2 Пиломатеріали

Після природної попередньої сушки круглий ліс може бути оброблений на *пиломатеріали* (рис. 22).

Пиломатеріали – матеріали з деревини, отримані розпилюванням колод уздовж волокон. Розрізняють пиломатеріали радіального, тангенціального і змішаного розпилювання. Пиломатеріали з обпиляними кромками називаються *обрізами,* з необпиляними кромками – необрізами (рис. 22 з, к). Пиломатеріали, що піддалися після розпилювання подальшій обробці (для згладжування поверхонь або фасонної профілізації), називаються струганими.

Пиломатеріали залежно від товщини, ширини і форми підрозділяють на *дошки, брус, брусок* і обаполок.

Дошки, що дістали найбільшого поширення в будівельних роботах, бувають завтовшки від 16 мм і більше, причому ширина повинна бути більше подвійної товщини. Дошки, у свою чергу, класифікуються за *способом обробки* і за товщиною.

За способом обробки дошки діляться на *необрізані, напівобрізні* і обрізи.

Необрізані дошки отримують при розпилюванні колоди в подовжньому напрямі. Вони мають ширину, що змінюється по довжині дошки (один їх кінець уже є). Кромки у таких дощок гострі. У напівобрізних дощок (рис. 22 і) теж міняється ширина, але тільки частина кромки залишається необпиляною *(обзел).* Відбувається це тому, що для напівобрізних дощок відпилюють обаполки декілька вужчі, ніж для дощок обрізів. Дошки обрізів отримують, коли колода заздалегідь обпиляна з двох сторін, щоб при розпилюванні виходили повністю дошки обрізів без обзелу і однакової ширини.

За товщиною для дощок у практиці прийнята така класифікація: *тес* (20-30 мм), *двадцятка* (20 мм), *дюймовка* (25 мм), *тридцятка* (30 мм).

Брус – пиломатеріали завтовшки і шириною більше 100 мм. Відповідно числу обпиляних сторін бруси бувають дво-, три- і чотирибітові.

Брусок – обрізний пиломатеріал завтовшки до 100 мм і шириною не більше подвійної товщини.

Обаполок – пиломатеріал, що отримується при подовжньому розпилюванні шляхом зрізу зовнішньої частини колоди (з пропилом на всю довжину з однієї сторони і горбом - з іншої).

Обаполки можуть бути різної товщини і ширини: найтовщий і ширший – з комлевої (прикореневої) частини колоди, найтонший і вужчий – у відрубі.

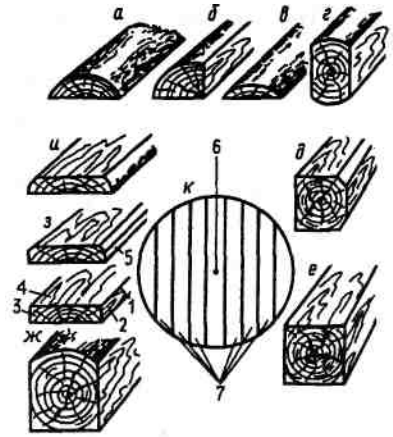


Рисунок 22 – Способи оброблення круглого лісу на пиломатеріали і дошки різних видів: а – пластина: б – четвертина; в – обаполок; г – двокантний брус; д – чотирикантний брус із обзелом; е – чистий брус; ж – чотирикантний брус; з – дошка обрізу; і – напівобрізна дошка з обзелом; к – дошки необрізів; 1 – кромка; 2 – ребра; 3 – ліва, або внутрішня, пластина; 4 – правляча, або зовнішня, пластина; 5 – обзел; 6 – серцевина дошки; 7 – бічні дошки

Обаполок застосовують головним чином для допоміжних споруд, настилки чорнової полови і накату на горищному перекритті, кріплення гірських вироблень, пристрою огорож, стін сараїв та ін.

Пиломатеріали хвойних порід залежно від дефектів деревини, що допускаються, підрозділяють на дошки і бруски п'яти сортів, а бруси – чотирьох сортів. Кращі сорти (добірний і перший) пиломатеріалів застосовують для деталей обшивки внутрішньої палуби суден, поперечних

балок і бортів вантажних автомобілів, у сільськогосподарських машинах та ін. Пиломатеріали хвойних порід четвертого сорту застосовують для дрібних заготовок і виготовлення тари.

Пиломатеріали з листяних порід підрозділяють на три сорти. У столярній справі використовують тільки 1-й і 2-й сорти, в будівництві – всі сорти. Максимально допустима вологість не повинна перевищувати 25%.

Пиломатеріали, нарізані за певними габаритними розмірами, називаються *заготовками.* Промислові підприємства поставляють заготовки *цілісними* і клеєними, пиляними (чорновими) і такими, що калібруються (струганими). Якість деревини і обробка заготовок хвойних порід повинні відповідати ГОСТ 9685-61, а листяних – ГОСТ 7897-83.

Пиломатеріали за призначенням ділять на *будівельні, столярні, тарні, експортні* і спеціальні.

Деревні матеріали і вироби з них

Деревними матеріалами є *шпона, деревна шерсть, стружка, драні* і гонт.

Для виробництва деревних матеріалів використовуються *кряжі* – товсті короткі прикореневі відрізки стовбурів, а також відходи лісообробки і переробки деревини (обаполок, рейки, стружки, тирса).

Лущена шпона – тонка безперервна стружка, знята з поверхні колоди, що обертається навколо своєї осі: товщина – від 0,55 до 1,5 мм; ширина – від 150 до 1900 мм; вологість 6-10%. Лущена шпона застосовується для виготовлення клеєної фанери.

Деревна шерсть – стружка коротких колод ялини, ялиці або сосни завдовжки 200-500, шириною – 2-5 і завтовшки 0,3-0,5 мм.

Стружка, драні і ***гонт*** – покрівельні матеріали, що виготовляються з осики, сосни, ялини, ялиці.

Стружку проводять завдовжки (уздовж волокна) 40-50 см, шириною 7-12 см і завтовшки 0,3 см. *Драньо* (дранка, драниця) – тонкі (3-5 мм) дерев'яні дощечки для обшивки стін і стелі під штукатурку (довжина 1,25-2,5 м, ширина 12-30 мм) і для пристрою крівлі (довжина 0,4-1 м, ширина 90-130 мм). *Гонт* – клиноподібні дощечки з подовжнім пазом у товстій кромці (торці). Довжина 50-70 см, ширина – близько 10 см, товщина – 1,5 см. Під час спорудження покрівлі вузька кромка однієї дощечки вставляється в паз іншої.

***Деревні** вироби* – штучні матеріали, що отримуються з деревини шляхом розпилювання, подрібнення волокон, склеювання та інших процесів. Ці вироби виготовляють за найбільш поширеними технологіями в чотирьох видах:

– *шаруваті матеріали (фанери)* – склеювання шарів шпони під дією тиску і тепла;

– *деревностружкові плити* – гаряче пресування деревної стружки і клею (частіше за все карбамідної смоли);

– *деревноволокнисті плити* – склеювання або гаряче пресування деревних волокон;

– *полегшені плити (фіброліт)* – пресування довгих стружок і мінеральної речовини, що зв'язує.

Фанера – штучний деревний матеріал, що отримується склеюванням із трьох і більше шарів лущеної шпони. Число шарів у фанері обов'язково повинне бути непарним, оскільки при цьому зменшується викривлення виробу. Для виробництва клеєної фанери використовують лущену шпону трьох сортів з деревини дуба, бука, берези, ясена, вільхи і липи. Фанеру класифікують *за напрямом волокон у суміжних листах шпони, водостійкістю, видом обробки поверхні* і *числом шарів.*

За напрямом волокон у суміжних листах шпони в промисловості використовуються такі величини кутів між волокнами: 90, 60, 45 (діагональна) і 30°.

Водостійкість фанери визначається типом застосованого клею. За водостійкістю виділяють три групи фанери:

– *підвищеної водостійкості* – фенолоформальдегідний клей;

– *середньої водостійкості* – карбамідний або альбумін-казеїновий клей;

– *обмеженої водостійкості* – казеїновий клей.

Водостійку фанеру (марка ФСФ) застосовують для обшивки зовнішніх стін, покрівельних робіт, виготовлення несучих і захисних конструкцій, а інших марок – для облаштування внутрішніх перегородок та обшивки стін і стель усередині приміщень.

За виглядом обробки поверхні фанера може бути *шліфована* з однієї або двох сторін і нешліфована.

Для декоративних цілей фанеру обклеюють струганою шпоною. Стругану шпону виготовляють з тих самих порід деревини, що й лущений, а також з горіха, в'яза, каштана, платана, груші, яблуні, черешні та інших цінних порід.

За числом шарів розрізняють *три-, пяти-* і багатошарові фанери.

Розміри фанери визначені стандартами: максимальний – 2440х1525 мм; мінімальний – 1220х725 мм; товщина – від 1,5 до 12 мм.

Деревностружкові плити (ГОСТ 10632-89) – штучний деревний матеріал, що виготовляється гарячим пресуванням спеціально приготованих деревних стружок з рідкими термореактивними полімерами (фенолоформальдегідними, карбамідними та ін.).

Структурно деревностружкові плити складаються з трьох шарів. Середній шар складається з відносно товстих стружок товщиною 1 мм, а зовнішні шари – з тонких стружок завтовшки до 0,2 мм. Такий характер структури плит підвищує їх міцність.

Деревностружкові плити випускають різної щільності, кг/м^3: *дуже високою* – 660-800, *середньою* – 510-650, *малою* – 360-500 і *дуже малою* – 350.

Плити середньої і високої щільності застосовуються як конструкційний і обробний матеріал, плити малої щільності – як тепло- і звукоізоляційний матеріал.

Для додавання деревностружковим плитам біостійкості в полімерно-стружкову масу додають антисептики (фторид і кремнефторид натрію, бура та ін.). Як антипірен використовують добавки сульфату амонія і діамонійфосфат. Для зменшення набухання плит у вологому повітрі в початкову масу вводять гідрофобізуючі речовини (парафінову емульсію, розчин кремнієорганічного полімеру та ін.).

Як декоративну обробку, що захищає плити від зволоження і стирання, застосовують полімерні плівкові матеріали, папір, просочений смолами. Нерідко заздалегідь відшліфовану поверхню плит покривають водостійкими фенольними або епоксидними лаками.

Зберігають деревностружкові плити в закритих приміщеннях, що виключають різкі коливання температури і вологості. Плити укладають у штабелі на піддони.

Деревоволокнисті плити (ГОСТ 4598-86) – штучний деревний матеріал, що виготовляється шляхом гарячого пресування або сушки волокнистої маси, що складається з деревних волокон, наповнювачів, полімеру і добавок (антисептиків, антипіринів, гідрофобізуючих речовин) і сформованою у вигляді килима. При виготовленні надтвердих плит у суміш вводять фенолоформальдегідний полімер. Гаряче пресування при температурі 150-165°С і тиску 1-5 МПа прискорює тверднення що зв'язує, а змінюючи тиск пресування, можна отримати плити різної щільності і з різними фізико-хімічними властивостями.

Деревоволокнисті плити залежно від призначення підрозділяють на тверді і м'які типи.

Плити твердого типу залежно від міцності, щільності і виду лицьової обробки підрозділяють на марки:

Т – з необлагородженою лицьовою поверхнею;

Т-С – з лицьовим шаром з тонкодисперсної деревної маси;

Т-П – з підфарбованим лицьовим шаром;

Т-СП – з підфарбованим лицьовим шаром із тонкодисперсної деревної маси;

Т-В – з необлагородженою лицьовою поверхнею підвищеної водостійкості; ρ_0 = 850-1100 кг/м^3 і $\sigma_{зг}$= 40 МПа;

Т-СВ – з лицьовим шаром із тонкодисперсної деревної маси підвищеної водостійкості;

НТ – зі зниженою щільністю (напівтверді); ρ0 – не менше 600 кг/м3 σзг > 15 МПа;

СТ – з підвищеної міцності (надтверді), ρ_0 = 950-1100 кг/м^3 і $\sigma_{зг}$ г=47МПа;

СТ-С – з підвищеної міцності (надтверді) з лицьовим шаром з тонкодисперсної деревної маси.

Тверді плити марки Т, Т-С, Т-П, Т-СП залежно від рівня фізико-механічних показників підрозділяють на групи якості: А (ρ_0= 850-1100 кг/м^3 і $\sigma_{зг}$ = 38 МПа) і Б (ρ_0= 800-1100 кг/м^3 і $\sigma_{зг}$ = 33 МПа); за якістю поверхні плити цих марок підрозділяють на І і ІІ сорти.

М'які плити залежно від щільності підрозділяють на марки: М-1 (ρ_0 = 200 - 400 кг/м^3 і $\sigma_{зг}$ = 1,8 МПа), М-2 (ρ_0 = 200 - 350 кг/м^3 і $\sigma_{зг}$ = 1,1 МПа) і М-3 (ρ_0 = 100 - 200 кг/м^3 і $\sigma_{зг}$ = 0,4 МПа).

Деревноволокнисті плити застосовують для тепло- і звукоізоляції захисних конструкцій. Плити твердого типу застосовують для облаштування перегородок, підшивання стель, настилки полови, для виготовлення дверних полотен і вбудованих меблів. Обробні плити (ГОСТ 8904-81), призначені для облицювання стін і стель, облицьовують синтетичною плівкою з прокладкою паперу текстури під колір і текстуру деревини цінних порід або забарвлюють водоемульсійними полівінілацетатними фарбами.

Вміст шкідливих хімічних речовин, що виділяються плитами у виробничих приміщеннях під час експлуатації,

не перевищує затверджену гранично допустиму концентрацію (ГДК).

Фіброліт – штучний деревний матеріал, що виготовляється з деревної шерсті і неорганічної в'яжучої речовини, частіше за все портландцемента (цементний фіброліт). Щільність цементно-фібролітових плит – 250-500 кг/м^3. Залежно від щільності цементний фіброліт випускають трьох марок: Ф-300, Ф-400, Ф-500. Характеристики фіброліту залежать від його щільності і товщини виробу (плит). Так, межа міцності при вигині фібролітової плити Ф-400 завтовшки 75 мм становить 0,7 МПа. Модуль пружності при вигині – 300-500 МПа. Теплопровідність цементно-фібролітових плит 0,08-0,1 Вт(м-К). Водопоглинання – 35-45%. Вологість повинна бути не більше 20% (за масою). Фіброліт належить до біостійких важкоспалюваних матеріалів.

Фіброліт марки Ф-300 застосовують як теплоізоляційний матеріал, марок Ф-400 і Ф-500 – конструкційно-теплоізоляційного матеріалу в приміщеннях з відносною вологістю повітря не вище 75%. Цементний акустичний фіброліт марок Ф-400 і Ф-500 у вигляді плит характеризується високим коефіцієнтом звукопоглинання і призначений для акустичної обробки приміщень.

11 ТЕСТОВИЙ КОНТРОЛЬ ЗАСВОЄННЯ ЛЕКЦІЙНОГО МАТЕРІАЛУ

Контроль складається з 61 запитання з курсу, що мають чотири відповіді, одна з яких правильна.

Контрольні запитання тестового контролю до СРС.

Тестові запитання контролю до СРС з дисципліни «Неметалічні матеріали»

1. Який матеріал можна використовувати для корпусів приладів?

2. До якого виду полімерів (за будовою) відносяться каучуки?

3. У якому фазовому стані можуть знаходитися полімери з просторовою структурою?

4. Чого не повинні містити стекла з підвищеною термічною стійкістю?

5. Які перелічені деревні матеріали застосовуються в машинобудуванні?

6. Які первинні елементи полімерної структури визначають хімічні властивості?

7. Що таке гума?

8. На що подібне безосколочне скло за своєю будовою?

9. З яких стекол можливе виготовлення підшипників для роботи без мастила при температурах більш 500°С?

10. Який вид прес-матеріалів є найбільш оптимальним?

11. Які полімерні матеріали володіють високими тепло- і звукоізоляційними властивостями?

12. Назвіть найважливіші термопластичні пластмаси?

13. Деревина характеризується такими властивостями:

14. Наведіть класифікацію пластмас за типом наповнювачів, що використовуються:

15. Внаслідок чого спостерігається деструкція (втрата орієнтованої структури полімерів)?

16. Що є основою технічної кераміки?

17. Назвіть дефекти деревини.

18. Який коефіцієнт використання пластмас при заміні ними металевих виробів?

19. Якими унікальними властивостями володіє піноскло?

20. Які полімери можна використовувати як жорсткі конструкційні матеріали?

21. Якими способами можна виготовляти складні збірні вироби з термореактивних пластмас?

22. До якого виду полімерів (за будовою) належать каучуки?

23. Яке скло застосовують для виготовлення приладів, що працюють при підвищених температурах і тиску?

24. Для виготовлення підшипників пилорам використовується деревина. Який з наведених матеріалів найбільш придатний? Як необхідно виготовити підшипники, щоб була забезпечена максимальна зносостійкість?

25. У чому принципова відмінність у процесах кристалізації полімерів і металів?

26. Чим відрізняються волокнисті пластики від пластиків типу капрону або нейлону?

27. Яке зі стекол найбільш придатне для виготовлення захисних прозорих екранів?

28. Які недоліки деревних матеріалів?

29. Багато полімерів – хороші антифрикційні матеріали. Проте у вузлі тертя такі підшипники володіють схильністю до повзучості. Які заходи сприяють успішному використанню таких матеріалів?

30. Назвіть найважливіші термопластичні пластмаси?

31. Які схеми будови макромолекул полімерів ви знаєте?

32. Яке скло застосовують для виготовлення термостійкого хімічного посуду?

33. Для виготовлення підшипників пилорам використовується деревина. Який матеріал найбільш придатний для цієї мети?

34. Чим відрізняється температура кристалізації полімеру від температури кристалізації металу?

35. Що отримують плавленням гірських порід з добавками?

36. На основі чого здійснюється класифікація кераміки за пористістю?

37. У чому відмінність у зміцненні під час гартування сталі і скла?

38. Як впливає підвищення вмісту наповнювача на текучість пластмас?

39. Які схеми будови макромолекул полімерів ви знаєте?

40. Які властивості полімерних матеріалів обумовлюють можливість їх застосування як теплоізоляційних?

41. З чого складаються прості пластмаси?

42. Яке скло має найвищу термостійкість?

43. Для ізоляції станини струшувальної формувальної машини від ударних навантажень і для зменшення шуму в роботі застосовуються дерев'яні амортизатори. Яку деревину можна для цього використовувати?

44. Чим відрізняється температура кристалізації полімеру від температури кристалізації металу?

45. Який найефективніший метод зміцнення скла?

46. Виходячи з особливостей релаксаційних процесів в полімері, як можна характеризувати полімер з погляду його фізичного стану?

47. Назвіть найважливіші термопластичні пластмаси?

48. Зміцнення скла може відбуватися такими методами…

49. Назвіть всі переваги деревини як конструкційного матеріалу

50. Основні позитивні властивості пластмас.

51. У чому технологічні переваги склотекстолітів на базі епоксидних смол у порівнянні зі склотекстолітами - на фенолформальдегідній смолі?

52. Коефіцієнт використання пластмас при заміні ними металевих виробів становить…

53. Чим пояснюється підвищення міцності скла під час гартування?

54. Назвіть всі переваги деревини як конструкційного матеріалу?

55. Який тип зв'язку між частинками в полімерних матеріалах?

56. Які полімери за своїми властивостями найбільш підходить для прокладок, пружних елементів, амортизаторів, демпферів?

57. Яку будову мають стекла?

58. Якими властивостями характеризується деревина?

59. Які пластмаси можна використовувати для виготовлення підшипників?

60. Назвіть найважливіші термопластичні пластмаси?

61. Назвіть дефекти деревини.

12 ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ З ПРЕДМЕТА ТА МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 1
КЛАСИФІКАЦІЯ, ГАЛУЗІ ЗАСТОСУВАННЯ І ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПЛАСТМАС

1 МЕТА РОБОТИ

1.1 Вивчити класифікацію, позначення і галузі застосування пластмас.

1.2 Ознайомитися зі швидким методом визначення їх виду.

2 ОБЛАДНАННЯ ТА МАТЕРІАЛИ

2.1 Термостат із температурою до 120^0 С.

2.2 Прилад для визначення твердості типу ТШ (Бринель).

2.3 Вимірювальний інструмент – штангенциркуль з точністю 0,05 мм.

2.4 Технічні ваги з важками з точністю зважування до 0,01 г.

2.5 Спиртівка.

2.6 Плакати і колекція пластмас та окремих виробів з них.

3 КЛАСИФІКАЦІЯ, ГАЛУЗІ ЗАСТОСУВАННЯ І ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПЛАСТМАС

Пластмаси – це неметалеві матеріали, які характеризуються стійкістю в агресивних середовищах, значною відносною міцністю, невисокою питомою вагою та технологічністю при виготовленні виробів з них. Вони

мають високий електричний опір та малу теплопровідність, використовуються у специфічних галузях (медична, харчова і т. ін.), можуть мати надзвичайно високий або надзвичайно низький модуль пружності та ще цілий ряд унікальних властивостей, які вигідно відрізняють їх від інших матеріалів.

Основою всіх пластмас є **полімери –** речовини, молекули (макромолекули) яких складаються з великої кількості повторюваних груп атомів або кілець ланцюга. Залежно від форми полімери можуть мати лінійну, розгалужену або сітчасту (просторову) будову.

До складу пластмас також входять інші компоненти, що сприяють поліпшенню їх властивостей. До них належать наповнювачі, отверджувачі, пластифікатори, стабілізатори та спеціальні добавки.

Загальноприйнятої класифікації пластмас відповідно до різних галузей промисловості не існує. Споживачів цих матеріалів у народному господарстві цікавлять головним чином властивості пластмас і (рідше) методи одержання з них виробів. Ураховуючи це, зручно класифікувати пластмаси передусім за структурою полімеру (зв´язуючого) і наповнювачами.

Стосовно нагрівання і за молекулярною структурою полімерні матеріали поділяють на термопластичні й термореактивні.

Термопластичні пластмаси (термопласти) становлять собою матеріали на основі полімерів з лінійною або розгалуженою структурою молекул. Під дією тепла вони здатні знову переходити зі склоподібного стану до високопластичного і в´язкотечійного. В термопластах не відбувається хімічних реакцій під час їх переробки.

Класифікацію ненаповнених пластмас наведено на рис.1.

У **термореактивних пластмасах (реактопластах)** під дією тепла проходять незворотні хімічні реакції, які приводять до утворення нових хімічних зв'язків. Утворений при цьому жорсткий полімер набуває просторової сітчастої структури молекул, тобто відбувається затвердіння: вони стають неплавкими, нерозчинними, твердими.

Залежно від природи наповнювача розрізняють пластмаси з мінеральними (скло-, азбо-, карбо-, графіто-, боропластики), металевими (метанопласти), органічними (органопласти) і з гібридними наповнювачами (гібридні пластики).

Виділяють пластмаси з інертними наповнювачами (для зниження вартості), з активними наповнювачами, які підвищують міцність, жорсткість й інші експлуатаційні властивості матеріалів, а також з наповнювачами, які надають спеціальних властивостей пластмасам (вогнестійкість, антифрикційні та фрикційні властивості, необхідні теплофізичні, електричні і магнітні властивості і т. п.).

За видом наповнювача пластмаси поділяють на порошкові (преспорошки), волокнисті (волокніти), шаруваті, а також газонаповнені, або сотові.

Класифікацію наповнених і армованих пластмас за формою частинок наповнювача і їх розподілом наведено на рис.2.

Усі пластмаси мають анізотропію властивостей. До недоліків пластмас слід віднести в цілому незначну теплостійкість, пружність, ударну в'язкість, деформацію під навантаженнями (повзучість).

Вони увійшли до технічного використання спочатку як замінники таких традиційних матеріалів, як метали, бетон, кераміка, скло, дерево, у тих випадках, коли їх використання більш ефективне, а потім набули і самостійного застосування. У таблиці 1 наведено загальну характеристику

переваг та недоліків використання полімерних матеріалів в порівнянні з іншими матеріалами.

Вони потребують значно меншого догляду під час експлуатації, мають гарний зовнішній вигляд, їх обробленя, фарбування, оздоблення, металізація менш трудомісткі й енергоємні, ніж інших матеріалів. Переробка пластмас на вироби також менш трудомістка й енергоємна, ніж інших матеріалів. Пластмаси –хороші тепло - й електроізоляційні матеріали, мають добрі радіотехнічні властивості, характеризуються високою хімічною стійкістю, добре переносять ударні навантаження, в тому числі при низьких температурах.

Одержано спеціальні пластмаси, які за механічними властивостями відповідають кращим маркам сталей і можуть витримувати температуру до 500^0С незначну кількість часу. Пластмаси поступаються металам за електропровідністю і магнітними властивостями. Однак випускаються пластмаси з хорошою електропровідністю і пластмаси, що мають властивості постійних магнітів.

Кожний вид пластмас має широкий спектр застосування, але для ефективної експлуатації виробів із пластмас потрібно, щоб вони працювали при строго визначених температурних, силових і часових навантаженнях з урахуванням умов різних кліматичних зон. Найбільш цінні технічні й економічні властивості пластмас виявляються тільки при їх правильному підборі та експлуатації. В таблиці 2 наведено якісне порівняння основних властивостей пластмас та інших матеріалів.

Один із найважливіших показників кожного матеріалу - технологічність одержання з нього виробів (ефективність переробки). У пластмас цей показник високий. Саме цим у багатьох випадках визначається ефективність їх використання замість традиційних матеріалів. Орієнтовні галузі використання пластмас наведено у таблиці 3.

Рисунок 1 – Схема класифікації ненаповнених пластмас

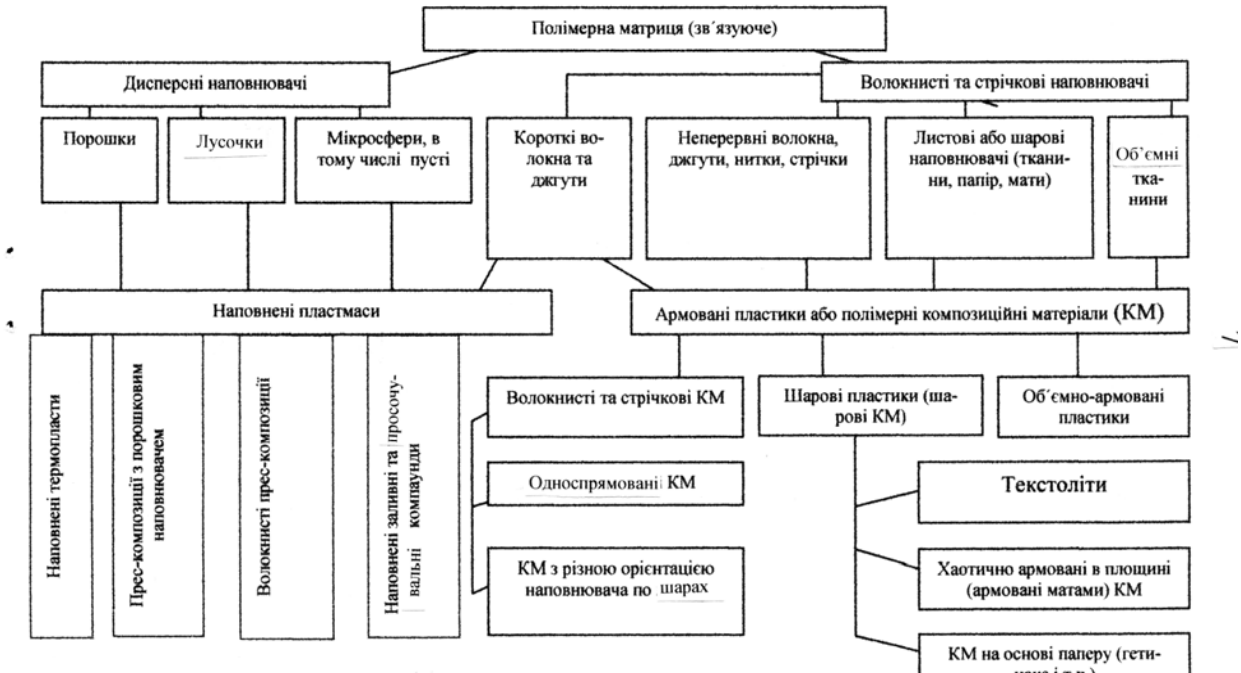


Рисунок 2 – Схема класифікації наповнених і армованих пластмас за формою частинок наповнювача

Таблиця 1 - Загальна характеристика застосування матеріалів

Матеріал	Призначення	Недоліки застосування	Технологічність виготовлення виробів	Можливі сфери заміни пластмасами
Сталь	Деталі, які працюють при високих термічних навантаженнях, – до 600^0С зі збереженням високих механічних властивостей, що поєднують електропровідність і магнітні властивості. Деталі, які працюють при термічних навантаженнях більше 1000^0С, без збереження магнітних і зі збереженням механічних властивостей	Велика щільність, недостатня хімічна стійкість. Більш високі в порівнянні з пластмасами трудозатрати на одержання сировини	Трудомісткість, енергоємність та багатостадійність переробки з великими відходами матеріалу в стружку. Легко з'єднується зварюванням, штампується в тонкостінні великогабаритні деталі	Малонавантажені кожухи, огорожі, деталі, які працюють при порівняно невисоких температурах (одержувані із м'яких будівельних сталей)
Чавун	Для механічно навантажених деталей, які працюють при температурах до 350^0С, в поєднанні з електричними навантаженнями	Велика щільність, недостатня хімічна стійкість, крихкість, зниження властивостей при підвищенні температури	Трудомісткість переробки. Для одержання складних виробів потрібна додаткова обробка	Малонавантажені деталі нескладної конфігурації, кулачки, втулки, корпуси
Кольорові метали	Деталі з високою хімічною стійкістю, електричними та антифрикційними властивостями, які працюють до 200-400^0С. Витвори мистецтва, обробка виробів культурно–побутового призначення	Зміна властивостей при зміні температури експлуатації. Великий дефіцит сировини	Трудомісткість переробки з великими відходами. Можливе лиття під тиском. Добре з'єднуються зварюванням	Хімічно стійкі, антифрикційні деталі, які працюють при температурах до 250^0С, обробка виробів культурно-побутового призначення, тонкі трубопроводи
Пластмаси	Полегшені деталі. Деталі з високою хімічною стійкістю, антифрикційними, електроізоляційними і оптичними властивостями. Хороші тепло- і звукоізолятори. Тонкі плівки електротехнічного, харчового, призначення	Збільшення повзучості і зниження властивостей при підвищенні температури і старінні в межах температур експлуатації	Велика ефективність переробки. Порівняно низька енергоємність отримання деталей. З'єднуються зварюванням, клепанням, склеюванням	-

Продовження таблиці 1

1	2	3	4	5
Кераміка	Деталі, які працюють під дією високих термічних і механічних навантажень, тепло- і електроізолятори, хімічно стійкі і водостійкі деталі	Велика крихкість, складність догляду при експлуатації. Великі відходи матеріалу при монтажі та експлуатації	Трудомісткість переробки. Трудність з'єднання. Обмеженість габаритів виробів, що затрудняє збирання конструкцій	Хімічно стійкі і водостійкі деталі, малонавантажені термічно і механічно. Електроізолятори, які працюють при низьких температурах
Бетон	Великогабаритні товстостінні будівельні деталі, які працюють під час дії високих механічних навантажень і з хорошою теплостійкістю	Крихкість, особливо в тонкостінних конструкціях	Добре з'єднуються зварюванням арматури із закладенням швів	Тонкостінні тепло- і звукоізоляційні панелі, замазки для підлоги, полімербетонні конструкції
Скло	Вироби, які потребують поєднання хороших оптичних і високих термічних властивостей або поєднання хімічної стійкості і високих термічних властивостей або поєднання всіх перелічених властивостей	Висока крихкість, можливість руйнування при температурних перепадах, великі відходи при отриманні виробів	Трудомісткість і енергоємність переробки. Погано з'єднуються	Оптичні і хімічно стійкі вироби, які працюють при температурах, близьких до температури кипіння води
Дерево	Деталі з невеликою густиною, які працюють при невисоких механічних навантаженнях в інтервалі температур до 110 ^{0} С і з незначною зміною властивостей в цьому інтервалі. Меблі, витвори мистецтва, оздоблення виробів	Схильні до руйнування від вологості, мікроорганізмів, біологічних факторів	Трудомісткість переробки	Деталі меблів, оздоблення виробів, будівельні конструкції (крім несучих)

Таблиця 2 - Зіставлення експлуатаційних властивостей і перероблюваності пластмас та інших матеріалів

Показник	Пластмаси	Метал	Бетон	Кераміка	Скло	Дерево
Мала густина	+	-	+	+	+	+
Хімічна стійкість	+	-	-	±	+	-
Діелектричні властивості	+	-	+	+	+	-
Теплоізоляційні властивості	+	-	+	+	-	+
Прозорість	+	-	-	-	+	-
Опір ударним навантаженням	+	+	-	-	-	+
Антифрикційні властивості	+	+	-	-	-	-
Жорсткість	+	+	+	+	+	+
Опір повзучості	-	+	+	+	+	-
Велика робоча температура	-	+	+	+	+	-
Вогнестійкість	±	+	+	+	+	-
Забарвлюваність	+	-	+	-	+	-
Ефективність переробки у вироби	+	-	-	-	-	-
Енергоємність під час переробки	+	-	-	-	-	-

Примітка. «+» - добрі; «-» - погані

Таблиця 3 - Сфери застосування пластмас

Види деталей, вузлів машин і технологічного оснащення	Матеріали
Зубчаті та черв'ячні колеса	Поліаміди, поліпропілен, пентапласти, полікарбонати, поліформальдегід, фенопласти, волокніт, текстоліт, деревні пластики
Підшипники ковзання, кочення	Поліаміди, поліетилен, фторопласти, поліпропілен, поліакрилати, епоксипласти, пентапласти, полікарбонати, поліформальдегід, фенопласти, волокніти, текстоліт, деревні пластики
Напрямки верстатів	Поліаміди, епоксипласти, текстоліт
Труби, деталі арматури, фільтри масляних і водних систем	Поліетилен, полівінілхлорид, поліпропілен, полікарбонати, склопластики
Робочі органи вентиляторів, насосів та гідромашин	Поліаміди, поліетилен, полівінілхлорид, поліпропілен, пентапласти, полікарбонати, склопластики
Ущільнювачі	Поліаміди, поліетилен, фторопласти, полівінілхлорид, поліпропілен, пентапласти

4 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Швидкісні методи визначення властивостей пластмас полягають у такому:

4.1 **Ознайомлення з класифікацією**, маркуванням, властивостями і сферами використання пластмас проводиться за стендами, колекціями і плакатами.

4.2 **Зовнішній огляд.** Зовнішнім оглядом зразків пластмас візуально визначають колір, пористість і т. п. відповідно до таблиці 4.

4.3 **Визначення щільності.** Для визначення цієї характеристики зразок пластмаси зважують спочатку у повітрі, а

потім у воді. Якщо маса зразка у повітрі M_1, а при зважуванні його у воді M_2, то питома вага пластмаси

$$\boldsymbol{\rho = \rho \bullet M_1 / M_1 - M_2}, \qquad (1)$$

де - $\boldsymbol{\rho}_в$ =1000 кг/м^3 - питома вага води.

Якщо зразок має правильну геометричну форму, то для визначення щільності його масу в повітрі можна поділити на обчислений за розмірами об'єм. Щільність в цьому випадку визначають за формулою

$$\rho = \frac{M}{V}, \qquad (2)$$

де M – маса зразка, кг;
V - об'єм зразка, м^3.

Маса зразка визначається шляхом зважування на вагах з точністю до 0.01 г. Об'єм зразка визначається шляхом вимірювання його лінійних розмірів штангенциркулем з точністю до 0.05 мм.

4.4 **Спалювання зразка** в полум'ї спиртівки і спостереження за кольором полум'я і запахом дозволяють визначити вид пластмаси відповідно до таблиці 4.

4.5 **Визначення твердості** на приладі Бринеля шляхом вдавлювання кульки. На приладі для визначення твердості за Бринелем у зразок протягом 60 секунд вдавлюють кульку діаметром 10 мм при навантаженні його силою 2500 Н. Діаметр лунок на зразку визначається за допомогою лупи МБ-2. Якщо виміряти діаметр лунки (відбитка) d після вдавлювання кульки, то твердість можна розрахувати за формулою

$$HB = \frac{2P}{\pi * D * (D - \sqrt{D^2 - d^2})}, \qquad (3)$$

де P- сила вдавлювання, Н;
D- діаметр кульки, м;
d- діаметр відбитка, м.

Таблиця 4 - Деякі властивості пластмас для орієнтовного визначення їх виду

Найменування пластмаси та позначення	Теплостійкість, ^{0}С	Щільність, кг/дм^3	Твердість за Бринелем, МПа	Нагрівання в полум'ї	Інші ознаки
1	2	3	4	5	6
Термопластичні пластмаси (термопласти)					
Поліетилен: - високого тиску - низького тиску (ПЕВП, ПЕНП)	110	950	22	Швидко загорається, горить синім полум'ям з оплавленням і підтіканням полімеру	Колір будь-який, мутно-прозорий і непрозорий
Поліпропілен (ПП)	100	900	63	Швидко загорається, плавиться, стікає краплями, дим має запах ревеню	-
Фторопласт-4 (Ф-4)	250	2200	40	Не горить, злегка обвуглюється	Колір молочно-білий непрозорий, масля-нистий
Полістирол і сополімери стиролу (ПСС,ПСВ,ПСЕ)	80	1070	150	При горінні виділяється густий чорний дим	Колір будь-який, прозорий і непрозо-рий
Полівінілхлорид: - вініпласт (ПВХ-1, ПВХ-2, ПВХ-Э)	80	1350	155	Важко запалюється, дим має запах хлору	Колір від світло-жовтого до темно-коричневого
Пластикат (АБС)	-	1300	-	Важко запалюється, при виведенні з полум'я гасне, за-пах хлористого водню і хлору	Колір будь-який, матеріал еластичний
Поліметилметакрилат: - органічне скло (ПММА)	85	1190	230	Швидко загорається, дим має солодкуватий запах	Прозорий або пас-тельних тонів
Поліаміди (ПА-6, ПА-66, ПА-610)	125	1150	120	Загораються погано, горять блакитним полум'ям, дим має запах соломи	Колір від кремового до коричневого. Роз-чиняються в соляній кислоті
Полікарбонат: - дифлон (ПК-1)	135	1210	155	Важко запалюється, при виведенні з полум'я гасне	Прозорий, жорсткий

Продовження таблиці 4

1	2	3	4	5	6
Термореактивні пластмаси (реактопласти)					
Прес-порошки з фенопластів з деревним борошном	110	1400	300	Погано загораються, не втрачають своєї форми. Відчувається запах фенолу та формальдегіду	Колір від світло-коричневого до чорного
Прес-порошки із фенопластів з мінеральною мукою	160	1600	300		Колір від світло-коричневого до чорного
Волокніт із фенопластів	110	1400	250		Колір коричневий неоднорідний
Фенопласти: - скловолокніт	240	1800	300		Колір червоно-жовтий, іноді неоднорідний
Гетинакс	155	1350	200		Колір коричневий. Поверхня може бути лакованою
Текстоліт	125	1700	300		Колір коричневий.
Деревошаруваті пластики	150	1300	300		Колір світло-коричневий, видно рисунок
Прес-порошки амінопластів	100	1400	300	Загораються погано, іноді відчувається рибний запах	Кольори будь-які
Склопласти з епоксидної смоли	200	1800	370	Горять світним полум'ям, при виведенні з полум'я гаснуть. Запах фенолу	Колір світло-коричневий, іноді неоднорідний
Склопласти з поліефірної смоли	200	1600	370	Горять світним полум'ям, запах солодкуватий	Колір будь-який, видно наповнювач

Таблиця 5 - Твердість за Бринелем залежно від діаметра відбитка (навантаження P = 2500 Н, діаметр кульки D = 10 мм)

Діаметр відбитка, мм	Твердість за Бринелем, МПа	Діаметр відбитка, мм	Твердість за Бринелем, МПа	Діаметр відбитка, мм	Твердість за Бринелем, МПа
1	2	3	4	5	6
2,00	788	3,50	252	5,00	119
2,05	749	3,55	244	5,05	116
2,10	714	3,60	237	5,10	114
2,15	681	3,65	231	5,15	112
2,20	650	3,70	224	5,20	109
2,25	621	3,75	218	5,25	107
2,30	594	3,80	212	5,30	105
2,35	568	3,85	206	5,35	103
2,40	544	3,90	201	5,40	101
2,45	522	3,95	196	5,45	98,6
2,50	501	4,00	191	5,50	96,6
2,55	488	4,05	186	5,55	94,6
2,60	463	4,10	181	5,60	92,7

Продовження таблиці 5

1	2	3	4	5	6
2,65	445	4,15	176	5,65	91,0
2,70	429	4,20	172	5,70	89,3
2,75	413	4,25	168	5,75	87,6
2,80	398	4,30	164	5,80	85,9
2,85	384	4,35	160	5,85	84,3
2,90	370	4,40	156	5,95	81,1
2,95	355	4,45	152	6,00	79,6
3,00	346	4,50	149	6,05	78,1
3,05	334	4,55	145	6,10	76,7
3,10	323	4,60	142	6,15	75,2
3,15	312	4,65	139	6,20	73,9
3,20	303	4,70	136	6,25	72,5
3,25	293	4,75	133	6,30	71,2
3,30	284	4,80	130	6,35	70,0
3,35	275	4,85	127	6,40	68,7
3,40	267	4,90	124	6,45	67,5
3,45	259	4,95	121	6,50	66,3

У таблиці 5 наведено значення твердості пластмас залежно від діаметра відбитка за цих умов, обчислені на основі формули (3).

4.6 **Випробування на теплостійкість** на приладі Мартенса.

Цей вид випробування проводиться за стандартною методикою. За відсутності приладу Мартенса випробування проводять у термостаті, температуру якого повільно підвищують (на 50-60 ^{0}С за годину). Через кожні 10^{0}С зразок виймають і намагаються зігнути його вручну. Для всіх термопластів, перелічених у таблиці 1, поява деформації свідчить про досягнення температури силування, яка може бути взята за теплостійкість. Термореактивні пластмаси при нагріванні в термостаті не змінюють форму і не стають пластичними.

5 ВИКОНАННЯ РОБОТИ

5.1 Для визначення орієнтовного виду пластмас потрібно одержати у викладача зразки пластмас, провести зовнішній огляд. Відмітити їх колір, прозорість, наявність пористості, видимий наповнювач.

5.2 Визначити щільність відповідно до пункту 4.3 даних методичних вказівок.

5.3 Визначити твердість пластмас на приладі Бринеля. Зразок для випробувань розмістити на столі приладу і, наклеївши на нього листок чистого полірувального паперу, дією попереднього зусилля привести його до торкання з кулькою. За допомогою пускача здійснити плавне прикладення навантаження на вдавлювану кульку. Через 60 секунд зразок зняти і діаметр відбитка від вдавлюваної кульки заміряти за допомогою відрахункового мікроскопа.

Таблиця 6 - Результати випробувань

Номер зразка	Маса зразка M, г	Об'єм зразка V, $см^3$	Щільність, ρ		Сила вдав-лювання P, Н	Діаметр кульки D, мм	Діаметр відбитка d, мм	Твердість НВ, МПа	Теплостійкість, ^0C	Класифікаційна характе-ристика
			г/$см^3$	кг/$см^3$						
1										
2										

Значення діаметра відбитка обчислити як середнє арифметичне з трьох значень. Твердість розрахувати за формулою (3) і перевірити результат обчислень за таблицею 5.

5.4 Провести випробування зразків на теплостійкість відповідно до пункту 4.6 даних методичних вказівок.

5.5 Ідентифікувати випробовувані зразки пластмас, порівнявши одержані значення щільності, твердості, теплостійкості з довідковими даними, наведеними в таблиці 4, для відомих видів пластмас, і заповнити таблицю результатів випробувань за формою таблиці 6.

У графі «Класифікаційна характеристика» зазначити клас пластмаси (термопласти чи реактопласт), назву пластмаси.

5.6 Встановити галузь використання досліджуваних пластмас відповідно до таблиці 3.

6 ЗМІСТ ЗВІТУ

6.1 Мета роботи.

6.2 Основні фізико-механічні властивості пластмас і швидкісні методи їх визначення.

6.3 Результати зовнішнього огляду зразків (колір, пористість і т. ін.).

6.4 Таблиця дослідних і розрахункових даних з визначення щільності, твердості, теплостійкості і класифікаційної характеристики даних зразків.

6.5 Висновки (назвати марки досліджених зразків пластмас і сфери їх застосування).

7 ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ

Розпочинаючи виконання роботи, студент повинен ознайомитися зі змістом інструкції з техніки безпеки, пройти інструктаж і поставити підпис у спеціальному журналі кафедри з техніки безпеки.

8 ТЕСТОВІ ЗАПИТАННЯ ДО ЗАХИСТУ ВИКОНАНОЇ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

8.1 Що таке полімери?

8.2 Основні способи одержання полімерів.

8.3 Які з наведених полімерів мають природне походження?

8.4 Які з наведених полімерів штучного походження?

8.5 Що таке полімеризація?

8.6 Що таке поліконденсація?

8.7 Який тип зв’язку між частинками в полімерному матеріалі?

8.8 У чому принципова різниця у процесах кристалізації полімерів і металів?

8.9 Які пластмаси можна використовувати для виготовлення підшипників?

8.10 Якими способами можна виготовляти збірні вироби з термореактивних пластмас?

8.11 Який матеріал найчастіше використовується для виготовлення корпусів приладів?

8.12 У чому різниця в зміцненні під час гартування сталі і скла?

8.13 Який матеріал найбільш придатний для виготовлення прозорих захисних екранів для металорізальних верстатів?

8.14 З якої деревини і як потрібно виготовити підшипник пилорами для забезпечення максимальної зносостійкості?

8.15 Яку деревину можна використати для ізоляції станини струшувальної формувальної машини дерев'яними амортизаторами?

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Мозберг Р.К. Матеріалознавство. -М.: Вища школа, 1991.

2. Кулезньов В.Н., Шершньов В.А. Хімія та фізика полімерів: Підручник для вузів. -М.: Вища школа, 1988.

3. Хімічна технологія кераміки та вогнетривів /За ред. Д.М.Полубояринова. -М.: СИ, 1972.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 2
ВЛАСТИВОСТІ І ТЕХНОЛОГІЯ ОДЕРЖАННЯ ВИРОБІВ ІЗ ТЕРМОРЕАКТИВНИХ ПЛАСТМАС

1 МЕТА РОБОТИ

1.1 Ознайомити з обладнанням та інструментом, що використовується під час пресування пластмас.

1.2. Здобути практичні навики в розробленні технологічного процесу виготовлення пластмасових виробів і виконанні розрахунку розмірів деталей пресформ.

2 ОБЛАДНАННЯ, ПРИЛАДИ ТА МАТЕРІАЛИ

2.1 Гідравлічний прес із зусиллям 40-63 тонни.
2.2 Пресформы.
2.3 Сушильна шафа.
2.4 Мірка для об'ємного дозування пресматеріалу.
2.5 Пресматеріали.
2.6 Молоток.
2.7 Викрутка.
2.8 Лопаточка для обчищення пресформ.
2.9 Секундомір.
2.10 Мікрометр.
2.11 Довідкові матеріали (таблиці допусків, технологічних властивостей і режимів переробки пластмас).

3 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Використання пластичних мас дозволяє заощаджувати дорогі і дефіцитні кольорові метали, підвищувати довговічність деталей, що працюють в агресивних середовищах, знижувати вагу і зменшувати трудомісткість

виготовлення деталей машин. Пластмаси дозволяють одержувати значний економічний ефект. Одна тонна пластмас заміняє близько трьох тонн кольорових металів, деталі з пластмас у 10 разів дешевші бронзових і в 15 разів - бабітових, не вимагають змащування. Собівартість пластмасових виробів у 3-6 разів, а трудомісткість виготовлення в 3-8 разів менше аналогічних металевих. Пластмаси широко використовують у машинобудуванні, приладобудуванні, електротехнічній та радіотехнічній промисловості, а також в інших галузях народного господарства.

Пластмаси - неметалеві матеріали, що складаються з органічних і неорганічних речовин. Вони виготовляються на основі високомолекулярних з'єднань (полімерів) - синтетичних смол або продуктів хімічної переробки природних високомолекулярних з'єднань. Зв'язуючою речовиною в пластмасах є синтетичні смоли (полімери), що визначають їх основні властивості.

Відповідно до змін у полімерних з'єднаннях, що відбуваються під час їх переробки, пластмаси поділяють на дві основні групи - термореактивні та термопластичні. Термореактивні пластмаси утворюють після першого нагрівання неплавкі, незворотні продукти, що володіють стабільністю фізико-механічних властивостей. Основою їх є фенолоформальдегідні й інші смоли. Термопластичні пластмаси здатні неодноразово плавитися без зміни властивостей матеріалу в процесі декількох переробок. Пластмаси за своєю будовою називають простими, якщо вони складаються тільки зі зв’язуючих смол (полімерів) (поліетилен, капрон, фторопласт й ін.), і складними - (композиційними) за наявності в їх складі наповнювачів, пластифікаторів, барвників (текстоліт, фенопласти й ін.).

3.1 Властивості пластмас

Пластмаси мають комплекс фізико-механічних і технологічних властивостей. Найбільш важливими властивостями пластмас є достатня міцність при незначній щільності, еластичність, стійкість до дії температур і хімічних реагентів (кислот, лугів та ін.), корозії. Армовані волокнами пластмаси мають міцність, близьку до міцності сталей, маючи при цьому свої специфічні властивості.

Недоліками пластмас, що обмежують їх сферу застосування, є низькі теплостійкість та теплопровідність, твердість, підвищена релаксація (повзучість).

Технологічні властивості характеризують перероблюваність пластмас у вироби. До них належать насипна щільність, гранулометричний склад, вологість і вміст летких, речовин, таблетованість, текучість, швидкість отвердіння, усадка й ін. Гранулометричний склад характеризує вміст частинок різних розмірів у порошкоподібних та гранульованих матеріалах і визначається ситовим аналізом. Однорідність частинок формівної маси поліпшує сипучість, об'ємне дозування, таблетування і дає рівномірне прогрівання матеріалу під час переробки. Вологість і вміст легуючих вище норми (понад 2-4,5%) сприяє появі короблення, шорсткості і збільшенню часу витримки під час пресування виробів. Текучість характеризує здатність матеріалу при допустимих температурах і тисках протікати по каналах і заповнювати пресформи. Зі збільшенням вмісту наповнювачів текучість зменшується. Для підвищення текучості в пластмаси додають мастила (стеарин, олеїнову кислоту й ін.). Показник текучості пластмас визначає правильний вибір оптимального режиму пресування (температура, тиск). Знижена текучість матеріалу призводить до неповного заповнення пресформ.

Перехід полімеру у твердий, неплавкий і нерозчинний стан під впливом температури, тиску або взаємодії з деякими речовинами (каталізаторами) називають явищем **твердіння**. Швидкість твердіння залежить від природи і властивостей пресматеріалу, технологічних факторів (глибина прогрівання, попереднє підігрівання і т.д.) і вимірюється в секундах на міліметр товщини. При зниженій швидкості твердіння збільшується витримка матеріалу під тиском, що знижує продуктивність пресування, а підвищена швидкість викликає неповне заповнення формувальної порожнини пластмасою і появу браку.

Властивість пластмас зменшуватися в розмірах під час охолодження називається **усадкою**. Усадка залежить від природи матеріалу, тиску і температури пресування, наявності летких і т.ін. Вона враховується під час конструювання пресформ. Розрахункову усадку у відсотках обчислюють за формулою

$$x = \frac{d - d_1}{d} \cdot 100,$$

де d - діаметр оформлювальної частини пресформи при $20^0 \pm 5^0$C, мм;

d_1 - діаметр відпресованого диска при тій самій температурі, мм.

3.2 Переробка пластмас у вироби

На вибір методу переробки впливають приналежність пластмаси до групи термореактивних або термопластичних, форма виробу і т.ін. Формування пластмас, як правило, проводиться з підігріванням до таких температур, при яких вони набувають необхідну для цього пластичність. У термопластів пластичність зростає з підвищенням температури і часу нагрівання, а в термореактів, навпаки, із підвищенням витримки при даній

температурі спадає. Основними технологічними параметрами, що характеризують процес одержання виробів із пластмас, є температура, тиск і час. Тривалість процесу виготовлення залежить від часу розігрівання матеріалів до пластичного стану, часу формування і часу твердіння виробу. Термореактивні пластмаси переробляють у вироби пресуванням, а іноді методом екструзії обо лиття.

Для одержання виробів із термореактивних пластмас пресуванням використовуються пресматеріали. Пресматеріали є наповненими пластмасами, що складаються із термореактивних смол (зв'язуюче), наповнювачів, стверджувачів, мастил і барвників. До пресматеріалів належать фенопласти, амінопласти, прескомпозиції на основі кремнієорганічних і поліефірних смол. Наповнювачі додаються до пресматеріалів (до 60%) з метою підвищення міцності, надання спеціальних властивостей і зниження вартості. Наповнювачі використовують у вигляді порошку (деревне борошно, тальк, каолін, графіт та ін.), крихти (деревна, текстолітова, азбестова, слюда та ін.), волокон (бавовняні і лляні очоси, скловолокно та ін.) або шаруватими (бавовняна, азбестова тканина, папір та ін.).

Отверджувачі - речовини, що додаються в прескомпози-цію (1-3%), - роблять вулканізуючу дію, сприяючи твердінню.

Мастила (олеїнова і стеаринова кислоти, стеарат кальцію) додають в прескомпозицію в кількості 1-2% для зменшення тертя матеріалу об пресформу і прилипання його до деталей пресформ, а барвники - окисли металів (кадмію, хрому, цинку, титану, свинцю) - для надання певного кольору виробу. Барвники вводяться до рідкої прескомпозиції під час переробки або виготовлення.

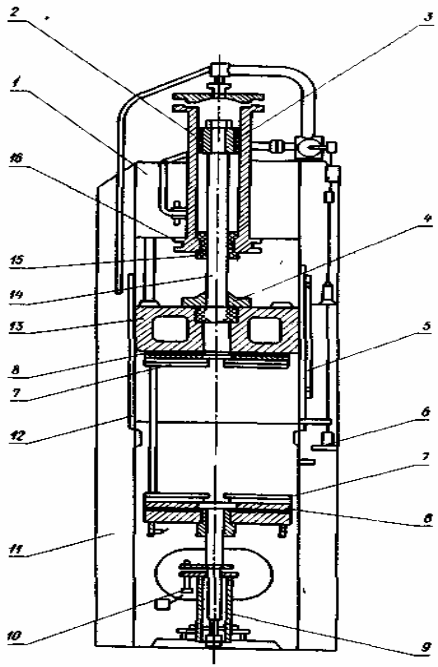


Рисунок 1 – Схема гідравлічного пресу ПВ-474: 1 – рама; 2 – головний циліндр; 3 – поршень; 4 – опора штоку; 5 – кінцеві вимикачі ходу плити; 6 – контакт для сповільнення ходу плити; 7 – плита робоча; 8 – термоізоляційні прокладки; 9 – вузол виштовхувача; 10 – кінцеві вимикачі ходу

Пресматеріали випускаються у вигляді преспорошків, прескрихти, кускових і листових пластмас, пресматеріалів з шаровим наповнювачем (тканина, папір та інші, насичені смолами матеріали). Під час зберігання пресматеріали потрібно оберігати від вологи і забруднення, не допускати злежування під вагою і довготривалого зберігання. Температура під час зберігання матеріалів не повинна перевищувати 15-20°С. Фенольні порошки, амінопласти, волокніти й інші піддають таблетуванню. Пресування виробів із таблетованих пресматеріалів становить значні зручності і

підвищує продуктивність праці. Таблетки вміщують точну дозу матеріалу, що спрощує операцію дозування і завантаження пресформи, дозволяє зменшити об'єм завантажувальних камер пресформ і одержувати більш якісні вироби.

3.3 Обладнання та інструменти

Обладнанням для переробки реактопластів є таблеточні машини, генератори струмів високої частоти для підігрівання пресматеріалів і преси. Для пресування термореактивних пресматеріалів використовують ручні гвинтові (зусиллям до 5 т) або гідравлічні преси зусиллям до 200 т (рис. 1).
Потрібне зусилля пресування $P_п$ визначається за формулою

$$P = \frac{n \cdot F \cdot P_п \cdot K}{1000},$$

де n - число одночасно пресованих деталей;

F - площа пресування (площа завантажувальної камери пресформи), $см^2$;

$P_П$ - питомий тиск пресування, $кГ/см^2$;

к - коефіцієнт, що враховує втрати на тертя, k = 1,2.

Пресування і преслиття реактопластів здійснюється в пресформах. Пресформи бувають зйомні і стаціонарні, для прямого пресування і преслиття, одногніздові і багатогніздові, відкриті, напівзакриті, закриті й ін. На рис. 2 показані схеми пресформ різної конструкції. Ливарні пресформи дозволяють одержувати вироби більш складної форми. Шорсткість поверхні пластмасових виробів, виготовлених пресуванням, відповідає $\overset{1,25}{V} - \overset{0,63}{V}$ класам. Точність розмірів виробу з пластмас залежить від точності виготовлення пресформ, ступеня їх зносу, стабільності технологічних режимів формування і коливання усадки матеріалу в процесі твердіння. Для оцінки точності пластмасових деталей розроблена спеціальна система допусків і посадок (ГОСТ 11710). Як правило, точність

пластмасових деталей знаходиться в межах IT5-IT6, а для невідповідальних розмірів - IT8-IT9 квалітетів.

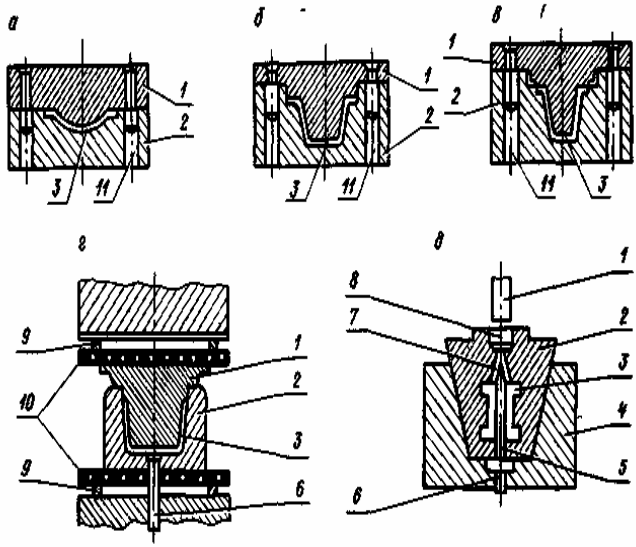


Рисунок 2 – Основні конструкції пресформ для пресування пластмас: а – відкрита; б – поршнева; в – з перетіканням;
г – стаціонарна; д – ливарна; 1 – пуансон; 2 – матриця; 3 – виріб; 4 – обойма; 5 – штир; 6 – виштовхувач; 7 – ливниковий канал; 8 – завантажувальна камера; 9 – болти кріплення; 10 – нагрівальні плити; 11 – направляючі втулки

Формоутворювальні деталі пресформ виготовляють, як правило, за IT8 квалітетів для пластмасових виробів з допусками за IT10-IT11 квалітетів. Розміри формоутворювальних деталей пресформ (матриці, пуансони) задаються з урахуванням усадки пресматеріалу. Оскільки матриця і пуансон пресформи повинні мати похил, спрямований у бік знімання виробу, то при визначенні виконуючих розмірів необхідно робити розрахунок двох розмірів отвору або вала (максимального і мінімального) (рис. 3).

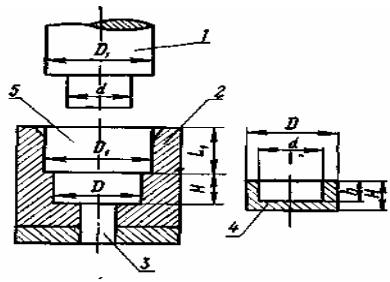


Рисунок 3 – Схема пресування у прес-формі: 1 – пуансон; 2 – матриця; 3 – виштовхував; 4 – виріб; 5 – завантажувальна камера

Максимальний діаметр матриці (охоплюючого елемента) пресформи визначається з формули

$$D_{max} = \left(D + 0{,}8\frac{D \cdot \beta}{100} - 0{,}02 - x \right)^{+x},$$

де D – номінальний діаметр матриці, мм;

β - мінімальна усадка пресматеріалу, %;

0,02 - допуск на зношування формувальних поверхонь, мм;

x - допуск на неточність виготовлення пресформ (відповідно до класу точності виготовлення), мм.

Мінімальний діаметр матриці розраховується за формулою

$$D_{min} = \left(D - 0{,}8\Delta - 0{,}02 + \frac{D \cdot \beta_1}{110} \right)^{+x},$$

де D - номінальний діаметр матриці, мм;

β_1 - максимальна усадка пресматеріалу, %;

Δ - допуск на деталь, мм;

x - допуск на неточність виготовлення пресформи, мм.

Розрахунок розмірів охоплюваних елементів (пуансона) робиться за формулами:

- максимальний розрахунковий діаметр

$$d_{max} = (d + \Delta + \frac{d \cdot \beta}{100})_{-x},$$

де d - номінальний діаметр вала (пуансона), мм;

Δ - допуск на деталь, мм;

β - мінімальна усадка пресматеріалу, %;

x - допуск на неточність виготовлення пресформи, мм;

- мінімальний розрахунковий діаметр

$$d_{min} = (d + \frac{d \cdot \beta_1}{100} + 0{,}02 + x)_{-x},$$

де d - номінальний діаметр вала, мм;

β_1 - максимальна усадка пресматеріалу, %;

0,02 - допуск на зношування формувальних поверхонь, мм;

x - допуск на неточність виготовлення пресформи, мм.

Отримані розміри необхідно округляти до сотих часток міліметра: для матриці - убік зменшення, для пуансона — у бік збільшення.

Висота $H_м$ формувальної порожнини матриці, знаходиться за формулою (див.рис.4)

$$H_м = (H + \frac{H \cdot \beta}{100} - x - 0{,}02 - c)^{+x},$$

де H - номінальний розмір деталі, мм;

β - мінімальна усадка пресматеріалу, %;

x - допуск на неточність виготовлення пресформи, мм;

0,02 – допуск на зношування формувальних поверхонь, мм;

c - товщина облою, c = 0,15~0,20 мм.

Приклад розрахунку. Розміри формоутворювальних деталей пресформи, виготовленої за третім класом точності для формування пластмасової деталі номінального діаметра 60h12 з отвором діаметра 50H12 і висотою 30 мм з матеріалу з усадкою β = (0,6 -1)% будуть:

$$D_{max} = (60 + 0{,}8\frac{60 \cdot 0{,}6}{100} - 0{,}02 - 0{,}06)^{+0{,}06} = 60{,}36^{+0{,}06};$$

$$D_{min} = (60 - 0{,}8 \cdot 0{,}4 - 0{,}02 + \frac{60 \cdot 1}{100})^{+0{,}06} = 60{,}26^{+0{,}06};$$

$$d_{max} = (50 + 0{,}34 + \frac{50 \cdot 0{,}6}{100})_{-0{,}050} = 50{,}64_{-0{,}05};$$

$$d_{min} = (50 + \frac{50 \cdot 1}{100} + 0{,}02 + 0{,}05)_{-0{,}050} = 50{,}57_{-0{,}05};$$

$$H_м = (30 + \frac{30 \cdot 0{,}6}{100} - 0б045 - 0{,}02 - 0{,}2)^{+0{,}045} = 29{,}91^{+0{,}045}$$

Об'єм засипного матеріалу обчислюється за формулою

$$V = G\ V_{пит.},$$

де G – маса виробу, р;

$V_{пит.}$ – питомий об'єм пресматеріалу, $см^3/г$.

3.4 Пресування пластмас

Процес пресування складається з попереднього підігрівання, дозування і засипання пресматеріалу в пресформу, пресування, витримки під тиском, розпресування виробу й очищення пресформи. Попереднє підігрівання пресматеріалу перед завантаженням у пресформу скорочує тривалість циклу пресування, знижує питомий тиск пресування, поліпшує зовнішній вигляд і фізико-механічні властивості виробу. Попереднє підігрівання повинно проводитися в якомога коротший проміжок часу, а пресматеріал повинен рівномірно прогріватися по всій товщині. Для попереднього підігрівання використовуються генератори високої частоти, електротермошафи опору та індукційні, а також апарати з використанням гарячого повітря і т.ін. Найбільш ефективним способом є підігрівання струмами високої частоти.

Дозування пресматеріалу може бути ваговим (для волокніту, текстолітової крихти), об'ємним (для преспорошків) і штучним (для таблеток). Для об'ємного

дозування використовуються мірники з рухомим дном. Після завантаження пресматеріалу в пресформу вмикають прес. Спочатку повзун преса рухається швидко, а перед замиканням пресформи - повільно.

Підпресовка - операція короткочасного розмикання і змикання пресформи для випуску газів під час пресування. Підпресовка розпочинається відразу ж після змикання пресформи під час пресування попередньо підігрітих пресматеріалів і тонкостінних виробів. Підпресовка неприпустима під час виготовлення деталей з арматурою і таких, що мають складну форму для запобігання порушення правильного спряження деталей.

Витримка під тиском розпочинається з моменту змикання пресформи і триває від 15 секунд до однієї і більше хвилин на 1 мм товщини виробу (враховуючи час підпресовки). Час витримки залежить також від типу пресматеріалу, застосування попереднього підігрівання і т.п.

Розпресовка виконується після закінчення часу витримки. Під час рознімання пресформи швидкість повзуна пресу для запобігання пошкодження виробу повинна бути сповільненою. При подальшому русі повзуна преса нагору автоматично спрацьовують виштовхувачі. Після видалення виробу пресформа вичищається стиснутим повітрям, матеріал, що прилип, видаляється латунними шпильками, змащується олеїновою кислотою, мильним розчином, парафіновим маслом або іншими мастилами.

4 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

4.1 Вивчити будову пресформи й органи управління гідравлічного пресу.

4.2 Ознайомитися з правилами техніки безпеки під час роботи з обладнанням.

4.3 Відповідно до варіанта індивідуального завдання (табл.1) виконати розрахунок робочих розмірів оформляючих частин пресформи для виготовлення деталей з термореактивної пластмаси за п'ятим класом точності.

Таблиця 1 - Індивідуальні завдання

Номер	Пресматеріал	Номінальні розміри, мм			
варіанта	(марка)	D	d	H	h
1	2	3	4	5	6
1	К-15-2	50	42	40	36
2	К-118-2	60	50	30	25
3	К-15-2	70	60	50	45
4	К-21-22	40	32	30	26
5	Моноліт	40	30	25	20
6	Моноліт	50	40	30	35
7	Моноліт	50	42	40	36
8	К-220-23	60	54	30	27
9	К-21-22	70	60	50	45
10	Волокніт	50	42	40	36
11	К-3	60	50	30	25
12	Кф-3	70	60	50	45
13	К-3	50	42	40	36
14	Амінопласт	60	52	30	26
15	Амінопласт	50	40	30	25
16	К-118-2	70	60	30	25
17	К-15-2	60	50	30	25
18	К-21-22	50	42	40	36
19	Моноліт	60	52	30	26
20	Моноліт	70	60	50	45
21	К-220-23	60	50	30	25
22	Кф-3	70	60	30	25
23	Амінопласт	70	60	50	45
Примітка. $D_1 = D + (10 + 12)$ мм					

4.4 Підібрати режим пресування і визначити об’єм пресматеріалу, що завантажується до пресформи. Властивості і режим пресування пластмас зазначені в табл. 2.

Таблиця 2 - Технологічні властивості та режим пресування пресматеріалів

Пресматеріал	Щільність, г/см^3	Питомий об'єм $V_{уд}$, см^3/г	Попереднє підігрівання		Температура пресування		Питомий тиск пресування, кг/см^2	Усадка, %	Витримка на 1 мм товщини виробу, хв.	
			^{0}C	час, хв.	без підігріву	з підігрівом			без підігріву	з підігрівом
Фенопласти (ГОСТ 5989). Преспорошки загального призначення, марки: К-8-2; К-15-2; К-17-2; К-19-2; К-118-2	1,3 - 1,4	2,2	170-190	3-6	150-160	175-185	250-350	0,6-1	1-1,5	0,8-1
Моноліти 1, 2, 3, 5	1,5	2,5	150	3-10	»	180 - 190	»	0,6-1	1-1,5	»
Електроізоляційні преспорошки, марки: К-21-22; К-220-23	1,4	2,8	160	6-12	155-165	170-180	250-350	0,6-1	1-1,5	1-1,2
Фрикційні пресматеріали (ТУ № П 37), марки: К-3; Кф-3	1,7-1,95	1,8	110-130	3 - 4	175-185	185-195	400-500	0,3	1-1,5	1,5
Карбомідний пресматеріал. Амінопласт (А і Б)	1,35-1,55	3,5	0-90	20-30	135-150	150-170	250-350	0,6-1	1-1,5	0,4-0,6
Волокніт К-138-А ТУ № П 44)	1,8-1,9	2,5-12	»	»	185-195	»	300	0,4-0,5	3	»

4.5 Нагріти пресматеріал у сушильній шафі при потрібній температурі.

4.6 Очистити пресформу, зібрати її і на початку роботи підігріти до температури 170-180°С.

4.7 Провести дозування пресматеріалу і завантажити його в порожнину пресформи.

4.8 Встановити пресформу під прес і витримати певний час при заданих температурі і тиску (відповідно до режиму пресування для даного пресматеріалу).

4.9 Вийняти пресформу з-під преса і вилучити виріб.

4.10 Порівняти розміри отриманого виробу з номінальним.

5 ЗМІСТ ЗВІТУ

5.1 Тема роботи.

5.2 Мета роботи.

5.3 Коротка технічна характеристика преса (тип, потужність й ін.).

5.4 Інструмент і пристосування (назва, ескіз пресформи із зазначенням розмірів).

5.5 Виріб (назва, матеріал, на ескізі вказуються розміри).

5.6 Розрахунки розмірів оформляючих деталей пресформ і зусилля пресування.

5.7 Технологічний процес виготовлення подати у вигляді табл.3.

Таблиця 3 - Режим переробки

Назва пресматеріалу	Об'єм пресматеріалу, $см^3$	Питомий тиск пресування, $кг/см^2$	Режим пресування				Розміри виробу
			температура підігріву, $^0С$	час підігріву, хвилин	тиск пресування, тонн	час витримки, хвилин	

6 ТЕСТОВІ ПИТАННЯ КОНТРОЛЮ

6.1 Наведіть основні переваги застосування пластичних мас у машинобудуванні.

6.2 Дайте визначення пластмас. Їх основні групи.

6.3 Назвіть комплекс найбільш важливих фізико-механічних властивостей пластмас та їх основні недоліки.

6.4 Назвіть технологічні характеристики пластмас та дайте їм характеристику.

6.5 Що таке твердіння пластмас, від яких факторів залежить його швидкість?

6.6 Що таке усадка пластмас, як її розраховують?

6.7 Що впливає на вибір методу переробки пластмас у вироби?

6.8 Які матеріали використовують для одержання виробів з термореактивних пластмас?

6.9 З якою метою до пресматеріалів додаються наповнювачі?

6.10 З якою метою до пресматеріалів додають мастила?

6.11 Форма відпуску пресматеріалів. Яка з них найбільш зручна та економічна?

6.12 Назвіть обладнання для переробки термопластів у вироби.

6.13 Основні технологічні вимоги до пресформ для пресування пластмас.

6.14 Опишіть процес пресування пластмас із преспорошків.

6.15 Яким чином вибирається режим пресування та об’єм завантажуваного до пресформи матеріалу?

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.Л. Материаловедение. - М.: Машиностроение, 1990. -528 с.

2. Практикум по технологии конструкционных материалов и материаловедению/Под общ.ред. С.С.Некрасова. - М.: Колос, 1983.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 3
ТЕХНОЛОГІЯ ОДЕРЖАННЯ НЕРОЗНІМНИХ З'ЄДНАНЬ ІЗ ПОЛІМЕРІВ

1 МЕТА РОБОТИ

1.1 Ознайомитися з технологією одержання не роз'ємних з'єднань та вивчити обладнання, що використовується при цьому.

1.2 Набути практичних навичок зі склеювання та зварювання пластмас.

1.3 Оцінити міцність клейового з'єднання.

1.4 Визначити залежність міцності клейового з'єднання від тривалості його нагрівання при термообробці під тиском.

1.5 Оцінити якість зварних пластмасових з'єднань.

2 ОБЛАДНАННЯ, ПРИЛАДДЯ, ІНСТРУМЕНТИ ТА МАТЕРІАЛИ

2.1 Струбцинка.
2.2 Гайковий ключ.
2.3 Лінійка.
2.4 Шпатель.
2.5 Вата.
2.6 Відрізки тканини.
2.7 Наждачний папір.
2.9 Клей БФ-2.
2.10 Зразки із текстоліту.
2.11 Газовий або газоелектричний пальник.
2.12 Зразки з вініпласту.

3 ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Нероз'ємні з'єднання з пластмас одержують в основному за допомогою склеювання та зварювання.

Термопласти (поліетилен, вініпласт, капрон, фторопласт й ін.) можна зварювати. При нагріванні вони переходять спочатку до високопластичного, а потім до в'язкотвердого стану, порівняно легко зчіпляються один з одним і при охолодженні затвердівають, створюючи сполучення.

Для з'єднання м'яких термопластів (поліетилен, полівінілхлоридний пластикат у вигляді тонких листів) застосовують точкове та шовне зварювання, а для зварювання жорстких термопластів (вінілласт, полістирол та ін.) - зварювання з використанням присадного матеріалу.

Пластмаси зварюють спеціальним газовим або газоелектричним пальником. На рис. 1,а показана принципова схема газового пальника ГГП-1-56. Працює пальник таким чином. Відкривають ацетиленовий вентиль і ацетилен потрапляє до каналу 1. Проходячи через інжектор 2, він створює розрідження, і через отвір 3 підсмоктується атмосферне повітря. Ацетилено-повітряна суміш при виході із сопла згорає, утворюючи всередині повітряної камери 5 полум'я 4. Одночасно по каналу 6 подається стиснуте повітря, яке, потрапляючи до повітряної камери 5, омиває полум'я, нагрівається і змішується з гарячими продуктами горіння ацетилену. Ця суміш і використовується для нагрівання пластмаси під час зварювання.

Газоелектричний пальник приведено на рис. 1,б. Стиснуте повітря від балону або компресора, пройшовши через фільтр 1, надходить до каналу 3. В каналі 3 повітря нагрівається і, виходячи з сопла 4, нагріває пластмасу і присадний матеріал, які зварюються. Нагрівання повітря регулюють реостатом 5, а його витрата - вентилем 2.

Необхідно по можливості точно встановлювати температуру газів, які виходять із сопла. При низькій температурі нагрітого повітря зварне сполучення буде неміцним і легко зруйнується. При високій температурі повітря, яке надходить з пальника, обвуглюються краї зварного з'єднання, що викликає розкладання пластмаси з виділенням їдкого газу.

Частіше за все з усіх пластмас зварюють вініпласти. Вініпласт переходить до в'язкотянучого стану при температурі 200-220^{0}С. При товщі матеріалу більше 2-3 мм застосовують У-подібну підготовку країв під зварювання, які зрізують у гарячому стані. Перед зварюванням деталі виробу струбцинами, кондукторами та іншим приладдям фіксують у потрібному положенні. Зварювання починають з попереднього підігрівання місця зварювання. При нагріванні пластмаса набуває характерного блиску, і це свідчить про її в'язкотянучий стан. Потім кінець з присадного прутка вертикально вдавлюють в це місце з одночасним підігрівом його, як показано на рис.2. Пруток розігрівають по периферії до в'язкотянучого стану, тоді як його стержень (центральна частина) знаходиться у твердому еластичному стані, сприяючи вдавлюванню його і зварюванню з краями. Краї та присадний пруток повинні рівномірно нагріватися.

Пластмаси легко зварюються в усіх просторових положеннях. За необхідності зварювання проводять за кілька проходів.

Склеюванням називають процес створення нероз'ємного сполучення матеріалів за допомогою клею, який утворює між з'єднуваними поверхнями тонку і міцно зчеплену з ними клейову плівку. Міцність клейового з'єднання залежить від адгезії (прилипання, зчеплення) клейової плівки з матеріалами, які склеюються, і її когезії, тобто міцності самої плівки. Підвищенню міцності клейо-

вого з'єднання значною мірою сприяють створення жорсткуватості на поверхні матеріалу, який склеюється, і ретельне її знежирення. Оптимальна товщина клейової плівки повинна бути в межах 0,1-0,6 мм.

Склеювання синтетичними клеями дістає широке застосування в авіації (обшивка панелі), в суднобудуванні (конструкції з склопластиків), в автомобільній промисловості (фрикційні накладки, оздоблення кузова), в ремонтному виробництві (заповнення тріщин, шпарин, пробоїн). Склеювання дозволяє з'єднувати метали і неметали в різних поєднаннях. В порівнянні зі зварюванням і клепанням воно забезпечує значне зниження маси конструкцій при високій антикорозійності клейового шва, дає можливість вести процес при порівняно низьких температурах, відрізняється простотою виробництва і досить високою економічністю. Недоліки клейових з'єднань - невисока довговічність (через старіння) і невелика міцність при нерівномірному відриванні.

Клеї складаються з плівкоутворювальної органічної або неорганічної основи із заданими адгезійними і когезійними властивостями. Крім того, до їх складу можуть входити розчинники, що створюють певну в'язкість клею, пластифікатори для підвищення його пластичності і зменшення усадки, наповнювачі для підвищення міцності сполучення, отверджувачі та ін. Як плівкоутворювальну основу використовують синтетичні смоли або каучуки, а для наповнювачів - порошки, волокна органічного і неорганічного походження та ін. Розчинниками є ацетон, дихлоретан, бинзол і спирти. Як пластифікатори використовують гліцерин, каучук і деякі смоли.

Промисловість випускає клеї холодного та гарячого затвердіння. Клеї гарячого твердіння забезпечують більш високу міцність і теплостійкість. При нагріванні краще видаляється розчинник і відбувається більш повне

затвердіння. Як правило, для видалення розчинника з клейової плівки до остаточного нагрівання з метою затвердіння її висушують на відкритому повітрі при 50-60^{o}С. Сприяє міцності клейового з'єднання також гаряче твердіння під тиском.

Ряд матеріалів, як, наприклад, органічне скло, полістирол, склеюють розчинниками або клеями, що містять матеріал, що склеюється, та його розчинник (дихлоретан, ацетон та ін.).

Широко використовують спеціальні клеї для склеювання таких матеріалів, як текстоліт, склотекстоліт, металів з неметалами. До них відносять фенольно-формальдегідні, епоксидні, фенольно-бутварні, поліуретанові, карбоамідні, гумові та інші клеї.

4 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

У цій лабораторній роботі для склеювання зразків з текстоліту використовують фенольно-бутварний клей БФ-2. Він становить собою розчин фенольно-бутварної смоли в спирті і використовується для склеювання пластмас, металів, кераміки, деревини. Склеювання матеріалів цим клеєм ведеться гарячим способом.

При клейовому з'єднанні часто використовують сполучення деталей внакладку. Подібне клейове сполучення виконується в даній роботі (рис.1).

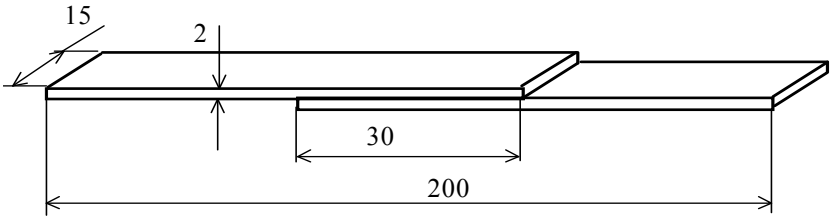


Рисунок 1 – Клейове сполучення зразків внакладку

Для виконання роботи бригада студентів одержує для склеювання шість плоских зразків з листового текстоліту розміром 115х15х2 мм, клей БФ-2, ацетон, наждачний папір, куски тканини, вату, шпатель, лінійку, струбцину, гайковий ключ. Клейове сполучення висушують і нагрівають у термошафах, випробовують на зсув на розривній машині. Склеювання і випробовування сполучень проводять у такій послідовності.

4.1 Намітити на зразках місця склеювання відповідно до рис.1.

4.2 Підготувати на зразках місця склеювання, зачистити їх наждачним папером, здути з них пил і знежирити їх ацетоном, просушити на повітрі упродовж 3-5 хвилин.

4.3 Нанести на зачищені місця зразків перший шар клею (шар наноситься рухом шпателя в один бік, щоб не утворювалися бульбашки повітря).

4.4 Провести перше відкрите просушування зразків з нанесеним шаром клею в термошафі при 50-60^{o}С протягом 15 хвилин.

4.5 Нанести другий шар клею.

4.6 Провести друге просушування при тому самому режимі, що і перше.

4.7 З'єднати склеювані поверхні зразків і затиснути їх у струбцинах тиском 0,25-3 МПа.

4.8 Нагріти склеювані зразки разом зі струбцинками в термошафі до 150^{o}С і витримати при цій температурі 5,15 і 25 хвилин.

4.9 Дістати зразки зі струбцинами з термошафи, охолодити їх на повітрі до 40^{o}С і розкріпити.

4.10 Випробувати клеєні зразки на зсув.

4.11 Знайти межу міцності клейового сполучення на зсув за формулою

$$\tau = P/F,$$

де Р - руйнівне навантаження, Н; F - площа склеювання, $см^2$.

4.12 Занести одержані значення до протоколу випробувань.

4.13 Побудувати графік зміни межі міцності на зсув клейового з'єднання залежно від тривалості нагрівання при витримуванні під тиском.

4.14 Вивчити будову газоелектричного або газового пальника для зварювання пластмас.

4.15 Вивчити будову зварювального поста для зварювання пластмас.

4.16 Набути навички із запуску газоелектричного або газового пальника для зварювання пластмас, регулювання температури теплоносія і зі зварювання пластмас.

4.17 Підібрати та встановити режим зварювання (температуру теплоносія, діаметр присадного прутка).

4.18 Закріпити пластини з вініпласта товщиною 2-4 мм (за необхідності попередньо зрізати краї) і зварити прутками з вініпласта.

4.19 Оглянути шов і візуально оцінити його якість.

4.20 Зруйнувати зразок на розривній машині (після повного охолодження) і результати порівняти з міцністю вініпласта до зварювання.

5 ЗМІСТ ЗВІТУ

5.1 Означення та умови склеювання матеріалів.

5.2 Фактори, що впливають на міцність клейового сполучення.

5.3 Склад і види клеїв.

5.4 Ескіз клейового сполучення.

5.5 Протокол експериментальних даних.

5.6 Графік залежності межі міцності на зсув клейового сполучення від тривалості нагрівання під тиском.

5.7 Схема зварювання пластмас.

5.8 Тип і схема зварювального пальника, його технічна характеристика.

5.9 Техніко-технологічна характеристика листового вініпласта.

5.10 У висновках дати аналіз залежності межі міцності на зсув клейового сполучення від тривалості нагрівання під тиском і визначити оптимальний режим нагрівання для склеювання текстоліту клеєм БФ-2.

6 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

6.1 Що становить собою технологічний процес одержання нероз'ємного сполучення склеюванням?

6.2 Від чого залежить міцність клейового сполучення?

6.3 Які фізико-хімічні процеси впливають на міцність клейової плівки?

6.4 Що сприяє збільшенню міцності клейового сполучення?

6.5 Назвіть оптимальну товщину клейової плівки.

6.6 Назвіть галузі промисловості, де склеювання дістає широке застосування. Наведіть приклади.

6.7 Назвіть переваги технологічного процесу склеювання перед зварюванням і клепанням.

6.8 Назвіть недоліки клейових сполучень.

6.9 Назвіть основні складові клеїв.

6.10 Які допоміжні складові вводять до складу клеїв і яка їх роль?

6.11 Назвіть основні види клеїв. Чим вони відрізняються?

6.12 Який технологічний прийом використовується для видалення розчинника з клейової плівки?

6.13 Назвіть пластмаси, що склеюються за допомогою розчинників чи клеїв на основі розчинників.

6.14 Які клеї відносять до класу спеціальних?

6.15 Наведіть перелік клеїв, що використовуються для склеювання пластмас і гуми.

6.16 Що становлять собою клеї, які використовуються для склеювання пластмас?

6.17 Який технологічний прийом використовується для склеювання виробів фенольно-бутварним клеєм?

6.18 Яке обладнання використовується для випробування клейового сполучення на зсув?

6.19 Яким чином визначити межу міцності клейового сполучення на зсув?

6.20 Назвіть основні фактори, що виливають на міцність клейового сполучення.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Травин О.В., Травина Н.Т. Материаловедение. -М-: Металлургия, 1989.

2. Практикум по технологии конструкционных материалов и материаловедению /Под общ.ред. С.С.Некрасова. -М.: Колос, 1983.

3. Калинчев Э.Л., Соковцева М.Б. Выбор пластмасс для изготовления и эксплуатации изделий: Справ.изд. -Л.: Химия, 1987.

13 ЗАВДАННЯ ДЛЯ ВИКОНАННЯ САМОСТІЙНИХ, ІНДИВІДУАЛЬНИХ ТА КОНТРОЛЬНИХ РОБІТ (СРС)

Завдання 1

1. Матеріали для корпусних виробів електротехнічного призначення.
2. Особливості застосування полімерів як жорстких конструкційних матеріалів.
3. Процеси релаксації в полімерах. Характеристика полімеру з точки зору його фізичного стану.
4. Розрахункова робота.

Завдання 2

1. Каучуки. Їх види і будова.
2. Способи виготовлення складних складових виробів з термореактивних пластмас. Їх особливості, переваги і недоліки.
3. Основні методи зміцнення скла. Їх особливості.
4. Розрахункова робота.

Завдання 3

1. Фазовий стан полімерів з просторовою структурою.
2. Деревні матеріали для підшипників ковзання. Особливості виготовлення конструкцій з них.
3. Основні позитивні властивості пластмас.
4. Розрахункова робота.

Завдання 4

1. Фазовий склад стекол з підвищеною термічною стійкістю.
2. Кристалізація полімерів і металів. Їх принципова відмінність.
3. Технологічні переваги склотекстолітів на базі епоксидних смол у порівнянні із склотекстолітами на базі феноло-формальдегідних смол.
4. Розрахункова робота.

Завдання 5

1. Основні види деревних матеріалів, що затосовуються в машинобудуванні.
2. Матеріал для виготовлення захисних прозорих екранів до металорізальних верстатів. Його властивості і сфери застосування.
3. Причини підвищення міцності скла під час гартування. Особливості технології.
4. Розрахункова робота.

Завдання 6

1. Первинні елементи полімерної структури і їх вплив на її властивості.
2. Деревні матеріали. Їх недоліки.
3. Матеріали з пластмас для виготовлення підшипників. Особливості виготовлення.
4. Розрахункова робота.

Завдання 7

1. Склад і основні властивості гуми.
2. Повзучість антифрикційних полімерних матеріалів. Заходи щодо її зниження.
3. Тип зв'язку між частинками в полімерних матеріалах.
4. Розрахункова робота.

Завдання 8

1. Безосколкове скло. Будова і властивості.
2. Схеми будови макромолекул полімерів.
3. Скло. Його будова, склад, властивості.
4. Розрахункова робота.

Завдання 9

1. Матеріали зі скла для підшипників без мастила при температурах більше 500°С.
2. Матеріали зі скла для виготовлення термостійкого хімічного посуду.
3. Технологічні методи виготовлення складних складових виробів з термопластів.
4. Розрахункова робота.

Завдання 10

1. Пресматеріали. Їх будова, властивості, сфери застосування.
2. Матеріали для виготовлення підшипників пилорам. Їх властивості, особливості конструкції.
3. Найважливіші термореактивні пластмаси. Будова, властивості, області застосування.
4. Розрахункова робота.

Завдання 11

1. Полімерні матеріали, що мають високі тепло- і звукоізоляційні властивості.
2. Температури кристалізації полімерів і металу. Їх принципова відмінність.
3. Матеріали для корпусних виробів електротехнічного призначення.
4. Розрахункова робота.

Завдання 12

1. Найважливіші термопластичні пластмаси. Їх властивості і сфери застосування.
2. Матеріал, одержуваний плавленням гірських порід з добавками. Його властивості і сфери застосування.
3. Каучуки. Їх види і будова.
4. Розрахункова робота.

Завдання 13

1. Деревні матеріали в машинобудуванні. Їх основні властивості і види.
2. Класифікація кераміки за пористістю.
3. Фазовий стан полімерів з просторовою структурою.
4. Розрахункова робота.

Завдання 14

1. Пластмаси. Їх різновиди, класифікація за типом застосовуваних наповнювачів.
2. Зміцнення при гартуванні сталі й скла. Принципова відмінність між процесами.
3. Фазовий склад стекол з підвищеною термічною стійкістю.
4. Розрахункова робота.

Завдання 15

1. Деструкція полімерів. Основні причини і наслідки.
2. Вплив підвищеного вмісту наповнювача на текучість пластмас.
3. Основні види деревних матеріалів застосовуваних у машинобудуванні.
4. Розрахункова робота.

Завдання 16

1. Технічна кераміка. Склад, властивості, сфери застосування.
2. Властивості полімерних матеріалів, що обумовлюють можливість їх застосування як теплоізоляційних.
3. Первинні елементи полімерної структури і їх вплив на її властивості.
4. Розрахункова робота.

Завдання 17

1. Деревні матеріали. Різновиди, основні дефекти деревини.
2. Прості пластмаси. Їх склад, властивості, застосування.
3. Склад і основні властивості гуми.
4. Розрахункова робота.

Завдання 18

1. Основні переваги і недоліки пластмас при заміні кольорових металів і сплавів. Коефіцієнт використання пластмас.
2. Стекла з високою термостійкістю. Їх будова і сфери застосування.
3. Безосколкове скло. Будова і властивості.
4. Розрахункова робота.

Завдання 19

1. Піноскло. Будова, властивості, застосування.
2. Найбільш ефективні методи зміцнення скла. Їх особливості.
3. Матеріали зі скла для підшипників без мастила при температурах більше 500°С.
4. Розрахункова робота.

Завдання 20

1. Особливості застосування полімерів як жорстких конструкційних матеріалів.
2. Процеси релаксації в полімерах. Характеристика полімеру з точки зору його фізичного стану.
3. Пресматеріали. Їх будова, властивості, сфери застосування.
4. Розрахункова робота.

Завдання 21

1. Способи виготовлення складних складових виробів з термореактивних пластмас. Їх особливості, переваги і недоліки.
2. Основні методи зміцнення скла. Їх особливості.
3. Полімерні матеріали, що мають високі тепло- і звукоізоляційні властивості.
4. Розрахункова робота.

Завдання 22

1. Особливості і марки стекол, що застосовуються під час виготовлення приладів, що працюють в умовах підвищених температур і тиску.
2. Переваги деревини як конструкційного матеріалу. Сфери застосування.
3. Найважливіші термопластичні пластмаси. Їх властивості та галузі застосування.
4. Розрахункова робота.

Завдання 23

1. Деревні матеріали для підшипників ковзання. Особливості виготовлення конструкцій з них.
2. Основні позитивні властивості пластмас.
3. Деревні матеріали в машинобудуванні. Їх основні властивості і види.
4. Розрахункова робота.

Завдання 24

1. Кристалізація полімерів і металів. Їх принципова відмінність.
2. Технологічні переваги склотекстолітів на базі епоксидних смол у порівнянні із склотекстолітами на базі феноло-формальдегідних смол.

3. Пластмаси. Їх різновиди, класифікація за типом використовуваних наповнювачів.
4. Розрахункова робота.

Завдання 25

1. Матеріал для виготовлення захисних прозорих екранів до металорізальних верстатів. Його властивості й галузі застосування.
2. Причини підвищення міцності скла під час гартування. Особливості технології.
3. Деструкція полімерів. Основні причини і слідства.
4. Розрахункова робота.

Завдання 26

1. Деревні матеріали. Їх недоліки.
2. Матеріали з пластмас для виготовлення підшипників. Особливості виготовлення.
3. Технічна кераміка. Склад, властивості, галузі застосування.
4. Розрахункова робота.

Завдання 27

1. Повзучість антифрикційних полімерних матеріалів. Заходи щодо її зниження.
2. Тип зв'язку між частинками у полімерних матеріалах.
3. Деревні матеріали. Різновиди, основні вади деревини.
4. Розрахункова робота.

Завдання 28

1. Схеми будови макромолекул полімерів. Вплив її на властивості.
2. Скло. Його будова, склад, властивості.

3. Основні достоїнства і переваги пластмас при заміні кольорових металів і сплавів. Коефіцієнт використовування пластмас.
4. Розрахункова робота.

Завдання 29

1. Матеріали зі скла для виготовлення термостійкого хімічного посуду.
2. Технологічні методи виготовлення складних складових виробів з термопластів.
3. Пеноскло. Будова, властивості, застосування.
4. Розрахункова робота.

Завдання 30

1. Матеріал для виготовлення підшипників пилорам. Їх властивості, особливості конструкції.
2. Найважливіші термореактивні пластмаси. Будова, властивості, галузі застосування.
3. Особливості застосування полімерів як жорстких конструкційних матеріалів.
4. Розрахункова робота.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ТА РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ван Флек Л. Теоретическое и прикладное материаловедение.-М.: Атомиздат, 1975.

2. Лахтин Ю.М., Леонтьев В.П. Материаловедение. – М.: Машиностроение, 1972. – 510 с.

3. Материаловедение: Учебник для высших технических учебных заведений /Б.Н.Арзамасов, И.И.Сидорин, Г.Ф. Косолапов и др. /Под общ. ред. Б.Н.Арзамасова. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Машиностроение, 1986. – 384 с.

4. Нильсен Л. Механические свойства полимеров и полимерных композиций. – М.: Химия, 1978. – 310 с.

5. Липатов Ю.С. Будущее полимерных композиций. – Киев: Наук. думка, 1984. – 135 с.

6. Виноградов Г.В., Малкин А.Я. Реология полимеров. – М.: Химия, 1977. – 483 с.

7. Кацнельсон М.Ю., Балаев Г.А. Пластические массы: - Л.: Химия, 1983. – 210 с.

8. Кирилова Э.И., Шульгина Э.С. Старение и стабилизация термопластов. – М.: Химия, 1988. – 240 с.

9. Гуль В.Е. Структура и прочность полимеров. – М.: Химия, 1978. – 327 с.

10. Гуль В.Е., Кулезнев В.Н. Структура и механические свойства полимеров. – М.: Высшая школа, 1979. – 352 с.

11. Кулезнев В.Н. Смеси полимеров: Структура и свойства. – М.: Химия, 1980. – 303 с.

12. Справочник по пластическим массам /Под ред. М.И. Гарбара и др. – М.: Химия, 1969. Т.2. – 517 с.

13. Шалун Г.Б., Сурженко Е.М. Слоистые пластики. – Л.: Химия, 1978. – 232 с.

14. Калынчев Э.Л., Саковцева М.Б. Свойства и переработка термопластов. – Л.: Химия, 1983. – 287 с.

15. Красовский В.Н., Воскресенский А.М. Примеры и задачи по технологии переработки полимеров. – Минск: Вышэйш. шк., 1975. – 320 с.

16. Калынчев Э.Л., Саковцева М.Б. Выбор пластмасс для изготовления и эксплуатации изделий. – Л.: Химия, 1987. – 413 с.

17. Энциклопедия полимеров. -Т. 3. – М.: Советская энциклопедия, 1976 – 316 с.

18. Липатов Ю.С. Физико-химические основы наполнения полимеров. – М.: Химия, 1991. – 259 с.

19. Экономика производства изделий из пластмасс. – М.: Химия, 1974. – 295 с.

20. Пахаренко В.А., Яковлева Р.А., Пахаренко А.В. Переработка полимерных композиционных материалов. – Киев: Воля, 2006. – 532 с.

21. Новые материалы /Под науч. ред. Ю.С.Карабасова. – М.: МИСИС, 2002. – 736 с.

22. Адрова Н.А., Бессонов М.И., Лайус Л.А. и др. Полимиды – новый класс термостойких полимеров. – Л.: Наука, 1968. – 210 с.

23. Конкин И.А. Углеродные и другие жаростойкие волокнистые материалы // Хим. волокна. – 1977. - №3. – С.65-66.

24. Конструкционные свойства пластмасс /Под. ред. Э.Бера. – М.: Химия, 1967. – 463 с.

25. Зимон А.Д. Адгезия пленок и покрытий. –М.: Химия, 1977. -353 с.

26. Эпоксидные олигомеры и клеевые композиции /Ю.С.Зайцев, Ю.С.Кочергин, М.К.Пактер, Р.В.Кучер – Киев: Наукова думка, 1990. – 200 с.

Навчальне видання

Будник Анатолій Федорович
Юскаєв Володимир Борисович
Будник Олег Анатолійович

НЕМЕТАЛЕВІ МАТЕРІАЛИ В СУЧАСНОМУ СУСПІЛЬСТВІ

Навчальний посібник

Дизайн обкладинки А.Ф.Будника
Редактор Н.А.Гавриленко
Комп'ютерне верстання В.Д.Вінницької

Підп. до друку 10.12.2008.
Формат 60х84/16. Папір ксероксний. Гарнітура Times New Roman Cyr.
Друк офс.
Ум. друк. арк. 13,02. Обл-вид. арк. 10,88.
Тираж 300 пр. Вид. № 332.
Зам. №

Видавництво СумДУ при Сумському державному університеті
40007, м. Суми, вул. Р.-Корсакова,2
Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного реєстру ДК № 3062 від 17.12.2007.
Надруковано у друкарні СумДУ
40007, Суми, вул. Р. -Корсакова, 2.