

ЦЕНТР ПРОФЕСІЙНО-ПРАКТИЧНОЇ ПІДГОТОВКИ

ЕЛЕКТРОМАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

Методичні вказівки

(частина 1)

Харків 2013

Методичні вказівки розглянуто та рекомендовано до друку на засіданні методичної комісії ЦПП УкрДАЗТ 9 лютого 2011 р., протокол № 17.

Рекомендовано для слухачів Центру професійно-практичної підготовки УкрДАЗТ, які отримують робітничу професію 7233.2 “Слюсар з ремонту рухомого складу”.

Укладач

старш. майстер ЦПП С.В. Савченко

Рецензент

доц. Л.І. Путятіна

ЕЛЕКТРОМАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

Методичні вказівки

(частина 1)

Відповідальний за випуск Савченко С.В.

Редактор Ібрагімова Н.В.

Підписано до друку 21.11.11 р.

Формат паперу 60x84 1/16. Папір писальний.

Умовн.-друк.арк. 3,0. Тираж 100. Замовлення №

Видавець та виготовлювач Українська державна академія залізничного транспорту,
61050, Харків-50, майдан Фейсрбаха, 7.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 2874 від 12.06.2007 р.

ЗМІСТ

| | | |
|-------|---|----|
| | Вступ | 4 |
| 1 | Провідники | 5 |
| 1.1 | Метали, їх властивості та методи випробувань | 5 |
| 1.2 | Основні відомості з теорії сплавів. Чавуни. Сталі | 7 |
| 1.3 | Термічна та хіміко-термічна обробка металів і сплавів .. | 13 |
| 1.4 | Кольорові метали і сплави | 22 |
| 1.5 | Провідникові матеріали з особливими фізичними властивостями | 31 |
| 1.6 | Монтажні, обмотувальні та установлювальні дроти | 34 |
| 2 | Діелектрики | 41 |
| 2.1 | Газоподібні діелектрики | 41 |
| 2.2 | Рідкі діелектрики | 42 |
| 2.3 | Природні неорганічні діелектрики | 47 |
| 2.4 | Штучні неорганічні діелектрики | 50 |
| 2.5 | Природні органічні діелектрики | 51 |
| 2.6 | Синтетичні органічні діелектрики | 51 |
| 2.6.1 | Полімеризаційні тверді діелектрики | 58 |
| 2.6.2 | Поліконденсаційні тверді діелектрики | 61 |
| 2.6.3 | Нагрівостійкі високополімерні діелектрики | 62 |
| | Список літератури | 64 |

ВСТУП

Рухомий склад залізничного транспорту складають локомотиви (тепловози, електровози), вагони (пасажирські, вантажні, багажні та інші), моторвагонний рухомий склад, дрезини, автомотриси, спеціальна колійна техніка та інше. Для забезпечення нормальної та безпечної експлуатації рухомого складу необхідно постійно тримати його у справному стані.

Слюсар з ремонту рухомого складу постійно має справу з деталями із різноманітних матеріалів. Найчастіше це металеві деталі. Але слюсарю з ремонту рухомого складу доводиться ремонтувати й електричні машини та апарати, до складу яких входять деталі, виготовлені з інших матеріалів. Тому для забезпечення якісного ремонту рухомого складу слюсар повинен знати основні особливості електроматеріалів та методи їх обробки. Деякі матеріали мають специфічні властивості і при їх обробці необхідно виконувати окремі вимоги з охорони праці.

Електроматеріалознавство допомагає слюсарю з ремонту рухомого складу правильно вибрати матеріал для деталі, яка підлягає заміні, та методи обробки цього матеріалу. Слюсар, який володіє знанням з електроматеріалознавства, може легко вирішити питання: ремонтувати чи відновлювати деталь або міняти її.

1 ПРОВІДНИКИ

1.1 Метали, їх властивості та методи випробувань

Метали займають значне місце у виготовленні виробів транспортного призначення. Метали мають комплекс цінних властивостей: відносно великі міцність, твердість, пластичність, зварюваність, витривалість, здатність зміцнюватись і покращувати інші властивості при термомеханічній і хімічній обробці. На виробництві метали в чистому вигляді майже не використовуються: головним чином у вигляді сплавів з іншими металами або неметалами, наприклад вуглецем. Залізо та його сплави (сталь, чавун) називають чорними металами, інші метали (Be, Mg, Al, Ti, Cr, Mn, Ni, Cu, Zn та інші) і їх сплави – кольоровими. Найбільше застосування у виробництві та ремонті виробів транспортного призначення мають чорні метали. Їх вартість значно менша від кольорових сплавів. Проте останні мають деякі специфічні властивості: висока питома міцність, пластичність, корозійна стійкість, декоративність та інші.

Випробування металів і їх сплавів проводять за механічними, фізичними та хімічними властивостям.

Механічні властивості визначають у результаті статичних, динамічних і втомних (на витривалість) випробувань.

Основні статичні випробування: на розтягування, на твердість і в'язкість руйнування. Випробування на розтягування проводять на розривних машинах з автоматичним записом діаграми розтягування. При цьому визначаються: границя пропорційності, границя пружності, границя текучості, опір дійсний, опір тимчасовий. Пластичні властивості металів характеризуються відносним подовженням і звуженням.

Випробування на твердість проводять на твердомірах Брінелля (вдавлювання сталеві кульки в метал), Роквелла (вдавлювання алмазного конуса в метал) і Віккерса (вдавлювання алмазної пірамідки в метал).

Випробування на в'язкість руйнування проводять на стандартних зразках з надрізом при триточковому згинанні. Оцінюється в'язкість руйнування параметром K – коефіцієнтом інтенсивності напружень, який характеризує тріщиностійкість металу.

Динамічні випробування металу проводять на ударний згин і знакозмінне циклічне навантажування. Випробування на ударний згин проводять на маятниковому копрі. Опір металу ударному згину називають ударною в'язкістю, яка характеризує опір металу крихкому руйнуванню та використовується для визначення порогу холодноламкості.

Опір металу циклічному навантаженню характеризується максимальним напруженням, яке може витримати метал без руйнування за задану кількість циклів. Такий опір називають границею витривалості.

Фізичні властивості виявляються комбінаціями різних факторів, які повинні забезпечити надійну експлуатацію деталей і металевих виробів.

Ці властивості можуть бути:

1) *головними*. Вони визначають службу деталей. При цьому роль механічних властивостей – другорядна, наприклад, висока коертицивна сила та висока остаточна індукція для матеріалів постійних магнітів; високий питомий електроопір при його малому температурному коефіцієнті для реостатів і нагрівальних елементів печей; постійний і низький коефіцієнт теплового розширення для багатьох деталей приладів, пружин спеціального призначення та ін.;

2) *важливими*. Механічні властивості при цьому обов'язково повинні бути на високому рівні, наприклад, висока жароміцність при низькому тепловому коефіцієнті розширення для деталей теплоенергетичного обладнання та паропроводів; висока жароміцність при високій теплопровідності для матеріалів камер згоряння двигунів;

3) *бажаними*. Мають комплекс інших властивостей з обов'язковим високим рівнем, що забезпечує високу стійкість виробів, наприклад, висока теплостійкість при збереженні необхідної високої міцності та зносостійкості, а також підвищена теплопровідність для інструментальних сталей.

Хімічні властивості виявляються залежно від складу, структури та обробки металів і сплавів. У першу чергу вони характеризуються стійкістю металів і сплавів проти загальної корозії, міжкристалічної корозії та корозійного розтріскування.

1.2 Основні відомості з теорії сплавів. Чавуни. Сталі

Металевим сплавом називають речовину, виготовлену плавленням двох або більше вихідних речовин, переважно металевих. Сплави також можна одержувати електролізом, спіканням та ін.

Роль сплавів у техніці значно важливіша, ніж чистих металів. Це пояснюється тим, що сплави мають більш різноманітний комплекс властивостей, які в широких межах змінюються залежно від складу сплаву. Механічні властивості багатьох сплавів дуже суттєво можна змінювати термічною та іншими видами обробки.

Речовини, з яких складається сплав, називаються *компонентами сплаву*. Компонентами можуть бути чисті елементи або стійкі хімічні з'єднання.

При кристалізації сплавів можуть створюватися такі основні тверді фази: тверді розчини, механічні суміші та хімічні сполуки.

Тверді розчини. У металевих сплавах тверді розчини бувають найбільш поширеною фазою. Тверді розчини мають кристалічну будову. Характерна особливість будови кристалів твердих розчинів – наявність у їх кристалічній решітці різнорідних атомів при збереженні типу кристалічної решітці розчинника. За характером розподілення атомів речовини, що розчинені у кристалічній решітці розчинника, розрізняють тверді розчини заміщення і тверді розчини проникнення.

Механічні суміші утворюються з кристалів компонентів з великою різницею атомних радіусів, значною відмінністю їх електрохімічних властивостей і дуже малою їхньою взаємною розчинністю. Компоненти сплаву позначаються символами їх елементів.

Хімічні сполуки. Характерні особливості хімічних сполук: постійність складу, яка може бути визначена формулою хімічної сполуки; наявність нового типу кристалічної решітці, який відрізняється від типу решіток компонентів сплаву, постійність температури кристалізації, як у чистих компонентів; яскраво визначені індивідуальні властивості. Компонентами хімічних сполук з нормальною валентністю разом з металами можуть бути типові неметали (O, S, Cl та ін.) – оксиди, сульфідні, хлориди та ін. Металеві хімічні сполуки – це сполук перехідних металів

з вуглецем (карбіди), азотом (нітриди), воднем (гідриди), бором (бориди).

Чавун – це сплав заліза з вуглецем і домішками (Si, Mn, S, P, O, H, N), у якому вуглецю більше, ніж 2,14 %. Чавуни одержують у доменних печах з залізних руд. При цьому чавуни розділяють на переробні чавуни, які використовуються для переробки в сталь, і ливарні чавуни, з яких виробляють ливарні вироби.

Чавуни класифікуються за призначенням на білі, сірі, ковкі, високоміцні і антифрикційні.

Білі чавуни – це чавуни, у яких вуглець перебуває у зв'язаному стані, у вигляді цементиту. Їх отримують при різкому охолодженні розплаву чавуну. Такі чавуни класифікують за структурою: доевтектичні (вміст вуглецю від 2,14 до 4,3 %), евтектичні (вміст вуглецю 4,3 %) і заевтектичні (вміст вуглецю від 4,3 % до 6,67 %). Вони мають низькі механічні властивості, крихкість і застосовуються обмежено для деталей простої конфігурації, які працюють в умовах підвищеного абразивного зносу.

Сірі чавуни – це чавуни, в яких вуглець перебуває переважно у вільному стані у вигляді графіту, який має форму пластинок. Це деякою мірою підвищує пластичність порівняно з білими чавунами. Сірі чавуни використовуються для виготовлення різних відливок для машинобудування, побутової техніки, сантехніки, деталей двигунів, станин верстатів та ін.

Сірі чавуни маркуються буквами СЧ з цифрою, яка вказує мінімальну границю міцності на розрив або розтяг. Згідно з ДСТУ є такі марки сірого чавуну: СЧ12, СЧ15, СЧ18, СЧ21, СЧ24, СЧ25, СЧ32, СЧ35, СЧ40, СЧ45.

Ковкі чавуни – це умовна назва м'якого і в'язкого чавуну, який одержують з білого чавуну шляхом відливання з подальшою термічною обробкою. Такі чавуни набагато пластичні за сірий чавун. Вуглець знаходиться у вигляді графіту, який має пластинчасту форму.

Ковкі чавуни широко використовують у сільськогосподарському машинобудуванні, верстатобудуванні, в автомобільній промисловості та інших галузях промисловості. Ковкий чавун позначають буквами КЧ і двома числами, з яких перше вказує мінімальну границю міцності на розтяг, друге – мінімальне відносне подовження (%). Відомі такі марки ковкого

чавуну: на феритній основі – КЧ30-6, КЧ33-8, КЧ35-10, КЧ37-12; на перлітній основі – КЧ45-7, КЧ50-5, КЧ55-4, КЧ60-3, КЧ65-3.

Високоміцні чавуни – це чавуни, які одержують при введенні в рідкий чавун присадок магнію або лігатури (20 % Mg, 80 % Ni). Цей процес називають модифікуванням. При цьому підвищуються міцність і пластичність чавуну. Графіт має форму кулеподібну (сфероїдальну). Такий чавун використовують замість сталі для відливання валів, зубчастих коліс, муфт, задніх мостів автомобілів, картерів та ін. Встановлені такі марки високоміцного чавуну: ВЧ35, ВЧ40, ВЧ50, ВЧ60, ВЧ70, ВЧ80, ВЧ100, ВЧ120. Число вказує мінімальну границю міцності на розрив або розтяг.

Антифрикційні чавуни - це чавуни, що забезпечують низьке тертя. Вони застосовуються для виготовлення підшипників ковзання, втулок та інших деталей, які працюють при терті по металу, часто при наявності мастильних матеріалів. Деталі, які працюють в парі з загартованими або нормалізованими стальними валами, виготовляють з перлітних сірих чавунів АЧС-1 та АЧС-2, для роботи в парі з термічно необробленими валами використовують перлітно-феритний чавун АЧС-3. Перлітний чавун з підвищеною кількістю фосфору (0,3 - 0,5 %) використовують для виготовлення поршневих кілець. Антифрикційні чавуни з кулеподібним (вермикулярним) графітом виготовляють двох марок: АЧВ-1 з перлітною структурою та АЧВ-2 з феритно-перлітною структурою і підвищеним вмістом кремнію. Чавун АЧВ-1 призначений для роботи у вузлах тертя з підвищеною окружною швидкістю в парі з загартованим або нормалізованим валом. Чавун АЧВ-2 застосовують у парі з “сирим” (у стані постачання) валом.

Сталь – це сплав заліза з вуглецем та домішками, у якому вуглецю менше ніж 2,14 %. Сталі одержують із рідкого чавуну.

За способом виробництва сталі класифікуються на мартенівські, конверторні, виплавлені в електропечах і сталі після електрошлакового переплавлення.

За вмістом вуглецю сталі класифікуються на низьковуглецеві (0,08 - 0,25 %С), середньовуглецеві (0,25 - 0,60 % С), високовуглецеві (0,60 - 2,14 %С).

За структурою сталі розподіляють на доєвтектоїдні (від 0,08 до 0,8 % С, структура ферит + перліт), евтектоїдні (0,8 % С, структура перліт), заєвтектоїдні (більше 0,8 до 2,14 % С, структура перліт + цементит вторинний).

За призначенням сталі класифікують на конструкційні, інструментальні та спеціального призначення.

Конструкційні сталі бувають звичайної якості і якісні.

Конструкційні сталі звичайної якості залежно від призначення поділяються на три групи: А – ті, що постачаються за механічними властивостями, Б – ті, що постачаються за хімічним складом, В – ті, що постачаються за хімічним складом і механічними властивостями. Такі сталі маркуються таким чином:

- група А – Ст0, Ст1, Ст2, Ст3, Ст4, Ст5, Ст6;
- група Б – БСт0, БСт1, БСт2, БСт3, БСт4, БСт5, БСт6;
- група В – ВСт2, ВСт3, ВСт4, ВСт5.

Букви Ст означають “сталь”, цифри – умовний порядковий номер марки залежно від хімічного складу і механічних властивостей, але не вказують на кількісний вміст вуглецю. До позначення марки після номера додають індекси “КП” – кипляча, “ПС” – напівспокійна, “СП” – спокійна, які показують ступінь розкислення. Наприклад, БСт3сп.

Сталі звичайної якості випускають у вигляді листового і сортового прокату. Вони призначені для виготовлення будівельних конструкцій, арматури, кріплень деталей машин, які не несуть підвищених навантажень. Сталі групи А призначені для виробів, які при виготовленні не піддаються гарячій обробці (зварюванню, куванню), сталі групи Б – для виробів із застосуванням гарячої обробки, сталі групи В широко застосовують для виготовлення зварних конструкцій, при розрахунку яких важливо знати також і механічні властивості.

Якісна конструкційна сталь постачається як за механічними властивостями, так і за хімічним складом. Вона перевищує сталь звичайної якості за однорідністю, є чистішою за вмістом сірки і фосфору, неметалевих включень і має вужчі межі вмісту вуглецю. Із цієї сталі виготовляють відповідальні деталі машин і механізмів, поковки, штамповки, калібровані трубки та ін. Якісні сталі

маркуються так: сталь 08кп, сталь 10сп, 10, 25, 45, 85. Двозначні цифри у маркуванні сталі визначають середній вміст вуглецю у сотих частках відсотка.

Інструментальні сталі використовують для виготовлення інструментів (різальних, вимірювальних, ударних тощо). Інструментальну сталь поділяють на якісну і високоякісну. Сталь якісна позначається літерою У і цифрою, що вказує на вміст вуглецю у десятих частках відсотка. Наприклад, У7, У8 до У13 тощо. Сталь інструментальна високоякісна має менше домішок (сірки, фосфору), ніж якісна; при її маркуванні додають букву А, наприклад, У8А.

Сталі спеціального призначення використовують для виготовлення специфічних виробів. Наприклад, сталі А1 і А2 використовують для обробки різанням на верстатах-автоматах; СВ08 – для виготовлення зварювального дроту; сталі марок 1212, 2011 і т. п. використовуються в електротехніці.

Легована сталь – це сплав сталі з легуючими елементами (Cr, Ni, W, Mo, Ti, V, Co та ін.). Ці легуючі компоненти змінюють механічні, фізичні та хімічні властивості сталі.

За вмістом легуючих компонентів леговані сталі класифікуються на низьколеговані (сумарний вміст легуючих компонентів до 5 %), середньолеговані (5 – 10 %) високолеговані (більше 10 %).

За структурою леговані сталі поділяють на п'ять класів: перлітний, мартенситний, аустенітний, карбідний і феритний.

За призначенням леговану сталь поділяють на конструкційну, інструментальну і спеціального призначення.

Конструкційну леговану сталь використовують для виготовлення деталей машин, будівельних конструкцій та ін. Для неї прийнято маркування, за яким перші дві цифри вказують середній вміст вуглецю в сотих частках відсотка, букви – наявність відповідних легуючих компонентів, а цифри, що стоять за буквами, – відсотковий вміст цих компонентів. Якщо після якоїсь букви немає цифри, то це означає, що сталь містить даний елемент у кількості більше 1 %. Для позначення високоякісної легованої сталі в кінці маркування додають букву А, для позначення особливо високоякісної сталі – букву Ш.

Для позначення легуючих компонентів взято такі букви:

Х – хром, Н – нікель, Г – марганець, С – кремній, В – вольфрам,
Р – бор,

М – молібден, Ф – ванадій, К – кобальт, Т – титан, Ю – алюміній,
Д – мідь,

Б – ніобій, А – азот, Е – селен, Ц – цирконій.

Наприклад, марка 30ХН3 - це хромонікелева сталь, що містить 0,3 % С, до 1 % Cr та 3 % Ni.

Для інструментальних легованих сталей маркування за легуючими компонентами такий самий, як і для конструкційних, але кількість вуглецю зазначається першою цифрою у десятих частках відсотка. Якщо цифри немає, то сталь містить більше 1 % вуглецю. Наприклад, сталі для ударно-штампового і вимірювального інструменту 20Х12 (2,0 - 2,2 % С, 11,5 - 13 % Cr), сталі для різального інструменту 9ХС (0,9 % С, 1 % Cr, 1 % Si).

Швидкорізальна сталь маркується інакше. Встановлено такі марки швидкорізальної сталі: Р18, Р12, Р9, Р9М3, Р18М, Р9М, Р9К5, Р9К10, Р6М5, Р9Ф5, Р14ФА, Р18Ф2, Р18К5Ф2. Буква Р вказує про наявність у сталях карбіду вольфраму, цифра після букви Р вказує на вміст карбіду вольфраму у відсотках. Наприклад, сталь марки Р6М5 містить до 6 % карбіду вольфраму і до 5 % молібдену.

Леговані сталі спеціального призначення використовуються для виготовлення деталей машин, приладів та іншого устаткування, до яких висувають особливі вимоги:

- опір дії хімічних, агресивних середовищ;
- збереження міцності при високих температурах;
- стійкість проти окислення при високих температурах;
- зносостійкість, магнітні, теплові та інші властивості.

Маркуються вони за принципом конструкційних легованих сталей.

Наприклад, жаростійка легована сталь Х25Н20С2; ресорно-пружинна сталь 70С3А; кульковопідшипникова сталь ШХ15; зносостійка сталь 110Г13Л; корозійностійка сталь 20Х13; кріогенна

сталь 12X18H10T; магнітна сталь EX9K15M2; сталь з високим електричним опором X13Ю4 та ін.

1.3 Термічна та хіміко-термічна обробка металів і сплавів

Термічна та хіміко-термічна обробка призначена для зміни структури та властивостей сталі залежно від вимог до напівфабрикатів (відливок, поковок, прокату та ін.) і готових виробів.

Основні види термічної обробки: відпал, нормалізація, гартування і відпускання.

Відпал I роду може включати процеси гомогенізації (дифузійний відпал), рекристалізації, зниження твердості та зняття остаточних напруг.

Гомогенізація проводиться для злитків або крупних відливок легованої сталі з метою зменшення дендритної або внутрішньокристалічної ліквіації. При цьому нагрів ведеться до температур 1100 – 1200 °С. Після витримки 15 - 20 год проводиться охолодження до температур 800 – 820 °С у печі, а далі на повітрі.

Рекристалізаційний відпал проводиться як проміжна операція для зняття наклепу між операціями холодного деформування. Нагрів для вуглецевих сталей ведеться до температур 680 - 740 °С, витримка в межах 0,5 - 1,5 год з подальшим охолодженням.

Для зниження твердості сортовий прокат із легованої сталі піддають високому відпусканню при 650 - 700 °С з витримкою 3 - 15 год і подальшим охолодженням.

Відпал для зняття остаточних напружень застосовують для відливок, зварних виробів, деталей після обробки різанням при температурах 160 – 700 °С з подальшим повільним охолодженням.

Відпал II роду проводиться для зміни структури та властивостей сталі.

Після такого відпалу сталь має низьку твердість і міцність при високій пластичності. Розрізняють такі види відпалу: повний, ізотермічний та неповний.

Повний відпал – це нагрів доєвтектоїдної сталі на 30 – 50 °С вище температури фазових перетворювань, витримка при цій температурі для повного прогріву і завершення фазових

перетворювань в металі і подальше повільне охолодження. Повний відпал проводиться для сортового прокату зі сталі з 0,3 - 0,4 % С, поковок та фасонної відливки.

Ізотермічний відпал – це нагрів легованої сталі, як і для повного відпалу, порівняно швидке охолодження до температур 660 - 680 °С, ізотермічна витримка 3 - 6 год, яка необхідна для повного розпаду аустеніту, та охолодження на повітрі. Такий відпал проводиться для поковок (штамповані заготовки) та сортового прокату з легованої сталі, що цементується, невеликих розмірів.

Неповний відпал відрізняється від повного тим, що нагрів сталі проводиться при більш низьких температурах (750 – 770 °С) з наступним охолодженням зі швидкістю 30 – 60 °С/год до 600 °С із подальшим охолодженням на повітрі. Такий відпал проводиться для покращення оброблюваності сталей різанням.

Нормалізація – це нагрів сталі до температури, яка на 30 - 50 °С вище температури фазових перетворювань, невелика витримка для прогріву садки та завершення фазових перетворювань і охолодження на повітрі. Нормалізація усуває крупнозернисту структуру сталей, яка утворюється при прокатці, литті, куванні або штампуванні, і тим покращує властивості сталі. При нормалізації підвищується міцність і твердість середньо- та високовуглецевих сталей порівняно з відпаленими сталями.

Гартування – це нагрів сталі на 30 – 50 °С вище температури фазових перетворювань, витримка і наступне охолодження зі швидкістю, яка вище критичної температури. Після гартування сталь обов'язково підлягає відпусканню. Для гартування використовують рідини, що охолоджують: воду, масла, водні розчини луг, солей і полімерів.

Способи гартування

Найчастіше застосовується *безперервне (звичайне) гартування*. Це гартування в одному охолоджувачі.

Переривчасте гартування проводиться у двох середовищах: спочатку у воді, а потім у маслі або на повітрі.

Гартування з самовідпусканням проводиться з перериванням охолодження деталі в охолоджуючому середовищі для того, щоб у

серцевині деталі залишилась деяка кількість теплоти. Під впливом теплообміну температура на поверхні деталі підвищується і зрівнюється з температурою серцевини, що призводить до відпускання поверхні деталі. Таке гартування проводять для інструменту, який працює з ударним навантаженням: зубила, керни, слюсарні молотки.

Ступінчасте гартування проводиться для інструменту з вуглецевих сталей діаметром не більше 8 – 10 мм. При такому гартуванні сталь після нагріву до температури гартування охолоджують у середовищі при температурах 180 – 250 °С, витримують у ньому недовгий час та закінчують охолодження на повітрі.

Ізотермічне гартування проводиться в тому самому режимі, що й ступінчасте, проте витримку у середовищі, що охолоджує, роблять більш тривалий час. Для багатьох легованих сталей таке гартування забезпечує значне підвищення конструктивної міцності. Для охолодження використовують розплави солей або луг з інтервалом температур 150 - 500°С.

Відпускання – це нагрів загартованої сталі до температур нижче лінії евтектоїдного перетворювання, витримка при заданій температурі та подальше охолодження з обумовленою швидкістю. Відпускання є заключною операцією термічної обробки, після якої сталь набуває потрібних механічних властивостей. Крім того, відпускання усуває внутрішні напруження, які виникають при гартуванні. Основний вплив на властивості сталі має температура відпускання. Розрізняють три види відпускання.

Низькотемпературне (низьке) відпускання проводиться при нагріві до 250 °С. При цьому знижуються внутрішні напруження, які виникають при гартуванні, підвищується міцність, незначно покращується в'язкість без помітного зниження твердості. Структура низького відпускання – відпущений мартенсит. Низькотемпературне відпускання проводять для ріжучого та вимірювального інструменту з вуглецевих і низьколегованих сталей, а також деталей, які пройшли поверхневе гартування, цементацію, ціанування або нітроцементацію. Іноді низьке відпускання проводять для сталей з середнім вмістом вуглецю (0,3 - 0,45 % С). Тривалість низького відпускання – 1 - 2,5 год. Твердість сталі після такого відпуску – 58 - 63 HRC.

Середньотемпературне (середнє) відпускання проводять при 350 - 500 °С. Таке відпускання забезпечує високі границі пружності і витривалості та релаксаційної стійкості. Структура сталі після середнього відпускання – троостит відпускання або троостомартенсит. Проводиться середнє відпускання для пружин та ресор, а також для штампів. Твердість сталі після відпускання – 40 - 50 HRC.

Високотемпературне (високе) відпускання проводять при 500 – 680 °С.

Такий відпуск забезпечує найкраще співвідношення міцності та в'язкості сталі. Структура сталі після високого відпускання – сорбіт відпуску. Термічну обробку, яка включає гартування з наступним високим відпуском, називають *покращенням*. Ця операція підвищує границю текучості, відносне звуження і особливо ударну в'язкість. Вона значно підвищує конструктивну міцність сталі та зменшує чутливість до концентраторів напружень. Покращення проводиться для середньовуглецевих (0,3 - 0,5 % С) конструкційних сталей, до яких висуваються високі вимоги до границі витривалості та ударної в'язкості. Відпуск при 550 - 600 °С протягом 1 - 2 год майже повністю знімає остаточні напруження, які виникають при гартуванні. Тривалість високого відпускання залежно від габаритів деталі - 1 - 6 год.

Хіміко-термічна обробка (поверхнєве легування) – це обробка, при якій взаємодія термічної та хімічної обробок призводить до зміни хімічного складу структури та властивостей поверхового шару деталі. Хіміко-термічна обробка (ХТО) зводиться до дифузійного насичення поверхового шару сталі неметалами (С, N, Si, В та ін.) або металами (Cr, Al та ін.) у процесі витримки при визначеній температурі в активному рідкому або газовому середовищі. ХТО широко застосовують для зміцнення деталей машин. Це пояснюється тим, що більшість деталей працюють в умовах зносу кавітації, циклічних навантажень, корозії при криогенних і високих температурах, при яких максимальні напруження виникають у поверхових шарах металу, де скупчені основні концентратори напружень. Хіміко-термічна обробка підвищує твердість, зносостійкість, кавітаційну та корозійну стійкість, створює на поверхні сприятливі остаточні напруження стиску, підвищує надійність і довговічність деталей машин.

Цементация (науглецювання) – це вид хіміко-термічної обробки, при якій поверховий шар сталі насичується дифузійно вуглецем при нагріві у відповідному середовищі – карбюризаторі. Цементация звичайно проводиться при температурах 930-950 °С. При цьому аустеніт знаходиться у стійкому стані та розчинює вуглець у великій кількості. Після цементации виробу обов'язково проходять термообробку – гартування та низьке відпускання. Призначення такої обробки – надання поверховому шару сталі високої твердості та зносостійкості, підвищення границі контактної витривалості та границі витривалості при згині та крученні.

Для цементации використовують звичайно низьковуглецеві сталі (0,1 - 0,18 % С), часто леговані. Для цементации крупногабаритних виробів застосовують сталі з більшим вмістом вуглецю (0,2 - 0,3 % С). Такий вибір сталі обумовлено тим, щоб серцевина деталі, яка не насичується вуглецем при цементации, зберігала високу в'язкість після гартування.

На цементацию деталі поступають після механічної обробки з припуском на шліфування (50 - 100 мкм). У багатьох випадках цементацию проводять тільки для частини деталі, тоді інші частини деталі, які не підлягають зміцненню, захищають електродітичним методом тонким шаром міді (20 – 40 мкм) або ізолюють спеціальними обмазками з суміші піску, вогнестійкої глини та азбесту, які замішані на рідкому склі.

Цементация на твердому карбюризаторі. Середовище, що насичує, – деревне вугілля (дубове або березове) або кам'яний півкокс і торф'яний кокс, до яких додають активізатори (вуглекислий барій і кальциновану соду) у кількості 10 – 40 % маси вугілля.

Технологія цементации така. Після попереднього очищення деталі складають у сталевий або чавунний ящик, на дні якого насипано та затрамбовано шар карбюризатора товщиною 20 - 30 мм. Перший ряд деталей складають з проміжками між деталями 10 - 15 мм, засипають його шаром карбюризатора товщиною 10 - 15 мм, трамбують і поверх цього складають другий ряд деталей. Останній ряд деталей засипають шаром карбюризатора товщиною 35 - 40 мм. Після цього ящик закривають кришкою, торці якої обмазують вогнестійкою глиною. Ящик поміщають у піч, де його нагрівають до температури цементации (910 – 930 °С) з розрахунку 7 - 9 хв на

кожний сантиметр мінімального розміру ящика. Після цементації ящики охолоджують на повітрі до температури 400 - 500 °С, після чого розкривають й видаляють деталі.

Газова цементація. При цьому процесі нагрів виробів проводиться в середовищі газів, які містять вуглець. Газова цементація широко застосовується на заводах, які готують деталі масовими партіями. При цьому можна одержати задану концентрацію вуглецю в шарі металу, скорочується тривалість процесу порівняно з цементацією з твердим карбюратором, забезпечується можливість повної механізації та автоматизації процесу і значно спрощується наступна термічна обробка деталей (гартування можна проводити безпосередньо з цементаційної печі).

Найбільш якісний цементований шар можна одержати при використанні у якості карбюратора природного газу, який майже повністю складається з метану та пропанбутанової суміші, які проходять спеціальну обробку. Процес ведуть при температурі 910 - 930 °С протягом 6 - 12 год (при товщині прошарку 1000 - 1700 мкм).

Швидкість газової цементації при температурі 930 – 950 °С та при товщині шару до 1500 - 1700 мкм становить 0,12 - 0,15 мм/год.

Заключні властивості деталей, що цементуються, досягаються в результаті термічної обробки після цементації, яка складається з гартування при температурі 820 – 850 °С і низького відпускання при 160 – 180 °С.

Цементація з наступною термічною обробкою підвищує границю витривалості сталевих виробів і різко знижує чутливість до концентраторів напружень за умови безперервної протяжності зміцненого шару по усій поверхні деталі, яка зміцнена.

Нітроцементація – це процес дифузійного насичення поверхневого шару сталі одночасно вуглецем і азотом при температурі 840 – 860 °С у газовому середовищі, яке складається з аміаку та газу. Протяжність процесу 4 - 10 год. Основне призначення нітроцементації – підвищення твердості, зносостійкості та границі витривалості сталевих виробів. Після нітроцементації проводиться гартування безпосередньо з печі та відпускання при температурі 160 – 180 °С. Твердість шару після такої термообробки досягає 58 - 60 HRC. Це забезпечує здатність прироблятися, наприклад, автомобільним шестірням, які не шліфуються, що забезпечує їхню

безшумну роботу. Товщина нітроцементованого шару від 200 до 1000 мкм.

Нітроцементацию проводять для деталей складної конфігурації, які мають здатність до короблення. Ця операція має такі переваги порівняно з газовою цементацією: процес проходить при більш низькій температурі (840 – 860 °С замість 910 – 930 °С); товщина шару менше; менші деформація та короблення деталей; підвищується опір зносу та корозії.

Нітроцементацию широко застосовують на автомобільних і тракторних заводах. Так, наприклад, на ВАЗі 94,5 % деталей, які проходять ХТО, піддають нітроцементации.

Азотування – це процес дифузійного насичення поверхні сталей азотом. Азотування значно підвищує твердість поверхневого шару, його зносостійкість, границю витривалості та опір корозії у таких середовищах, як атмосфера, вода, пара та ін. Твердість азотованого шару значно вище, ніж твердість цементованого, вона зберігається при нагріві до високих температур (450 – 500 °С). Твердість цементованого шару зберігається тільки до температур 200 - 250 °С. Азотування ведуть у дисоційованому аміаку (25 - 60 %).

Зносостійкість азотованої сталі вище, ніж цементованої та загартованої. В азотованому шарі виникають остаточні напруження тиску до 600 - 800 МПа. Це підвищує границю витривалості та переносить зону втомного руйнування під азотований шар.

Технологічний процес азотування передбачає декілька операцій:

1 Попередня технологічна обробка заготовки. Ця операція включає гартування та високе відпускання (600 – 675 °С) для отримання підвищеної міцності та в'язкості в серцевині виробів. Структура сталі після такої обробки – сорбіт.

2 Механічна обробка деталей. Шліфування для одержання заключних розмірів деталі.

3 Захист ділянки, яка не підлягає азотуванню, нанесенням тонкого шару олова електrolітичним методом або рідкого скла.

4 Азотування.

5 Заключне шліфування або доводка виробу.

Азотування в рідкому середовищі (тенифер-процес). Процес проводять при температурі 570 °С протягом 0,5 - 3,0 год у розплавлених ціаністих солях. Внаслідок низької температури у сталь дифундує азот, який виникає при розкладанні ціаністих солей. Твердість шару на вуглецевих сталях 300 - 350 HV, на легованих сталях – 600 - 1100 HV. Рідке азотування значно підвищує границю витривалості сталей. Перевага цього процесу – незначна зміна розмірів і відсутність короблення деталі.

Недолік – токсичність та висока вартість ціаністих солей. Азотування в рідкому середовищі широко застосовують для обробки деталей для автомобілів (колінчасті вали, шестірні та ін.), штампів, прес-форм та ін.

Ціанування - це процес дифузійного насичення поверхневого шару сталі одночасно вуглецем і азотом при температурі 820 – 950 °С у розплавлених солях, які містять NaCN.

Середньотемпературне ціанування проводять при температурах 820 – 860 °С. Для одержання шару невеликої товщини (0,15 - 0,35 мм) процес ведуть у ваннах (20 – 25 % NaCN, 25 – 50 % NaCl, 25 – 50 % Na₂CO₃). Тривалість процесу обумовлена необхідною товщиною шару і складає 30 - 90 хв. Таке ціанування дозволяє виконувати гартування безпосередньо з ціаністої ванни. Після гартування проводять низькотемпературне відпускання (180 – 200 °С). Твердість ціанованого шару після термообробки 58 - 62 HRC. Ціанований шар порівняно з цементованим має більш високу зносостійкість та ефективно підвищує границю витривалості. Цей вид ціанування застосовують для зміцнення дрібних деталей.

Високотемпературне (глибоке) ціанування проводять при температурах 930 – 950 °С у ваннах (8 % NaCN, 82 % BaCl₂, 10 % NaCl) для одержання шару товщиною 0,5 - 2,0 мм. Час витримки виробів у ванні становить 1,5 - 6 год. Після такого ціанування деталі охолоджують на повітрі, потім гартують з нагрівом у соляній ванні та проводять низькотемпературне відпускання.

Процес ціанування порівняно з процесом цементування потребує менше часу для одержання шару заданої товщини, характеризується значно меншими деформаціями та коробленням деталей складної форми і більш високим опором зносу та корозії.

Недолік ціанування – висока вартість та отруйність ціаністих солей, що викликає необхідність вживання спеціальних заходів з охорони праці.

Борування – це процес дифузійного насичення поверхневого шару сталі бором при нагріві у відповідному середовищі. Найчастіше борування виконують при електролізі розплавленої бури. Вироби при цьому служать катодом. Температура насичення 930 – 950 °С, витримка 2 - 6 год. Процес можна вести і без електролізу у ваннах з розплавленими хлористими солями, у які додають 20 % феробору або 10 % карбїду бору. При газовому боруванні процес ведуть при температурі 850 - 900 °С у середовищі диборану або трихлористого бору в суміші з воднем.

Борування застосовують для підвищення зносостійкості втулок нафтових насосів, дисків п'ятитурбобура, штампів, деталей пресформ і машин для лиття під тиском. Стійкість деталей після борування підвищується у 2 - 10 разів.

Силіціювання – це процес насичення поверхні сталі кремнієм. Така обробка надає сталі високої корозійної стійкості в морській воді, в азотній, сірчаній та соляній кислотах і збільшує стійкість проти зносу. Силіційований шар має підвищену пористість, його товщина 300-1000 мкм. Твердість низька (200 - 300 НV), але після просочування маслом при температурі 170 – 200 °С силіційований шар має високу зносостійкість.

Силіціювання проводять для деталей, які використовують в обладнанні хімічної, паперової та нафтової промисловостей (арматура, трубопроводи, гайки, болти, валики насосів та ін.). Силіціювання широко застосовують для підвищення опору окислення при високих температурах сплавів молібдену.

Алітування – це процес насичення поверхні сталі алюмінієм. При цьому сталь набуває високої окалиностійкості (до 850 – 900 °С) і гарного опіру корозії в морській воді та атмосфері. Товщина шару 200 – 1000 мкм. Твердість шару (на поверхні) до 500 НV, зносостійкість низька.

Алітуванню піддають чохла термопар, деталі розливних ковшів, клапани та інші деталі, які працюють при високих температурах.

Хромування – це процес насичення поверхні сталі хромом. Цей процес забезпечує підвищену стійкість сталі до газової корозії (окалиностійкості) при температурах до 800°C, високу корозійну стійкість у таких середовищах, як вода, морська вода та азотна кислота. Хромування сталі, яка має вуглецю більше 0,3 - 0,4 %, підвищує також твердість і зносостійкість. Твердість шару 250 - 300 HV (для хромованого заліза) або 1200 - 1300 HV (для сталі).

Хромування використовують для деталей пароводяної арматури, паросилового обладнання, клапанів, вентилів, патрубків, а також деталей, які працюють на знос в агресивних середовищах.

1.4 Кольорові метали та сплави

Кольорові метали за рядом ознак поділяють на такі групи:

- важкі метали – мідь, нікель, цинк, свинець, олово;
- легкі метали – алюміній, магній, титан, берилій, кальцій, стронцій, барій,
- літій, натрій, калій, рубідій, цезій;
- благородні метали – золото, срібло, платина, осмій, рутеній, родій, паладій;
- малі метали – кобальт, кадмій, вісмут, ртуть, сурма, миш'як;
- тугоплавкі метали – вольфрам, молібден, ванадій, тантал, ніобій, хром, марганець, цирконій;
- рідкоземельні метали – лантан, церій, празеодім, неодім, самарій, європій, гадоліній, тербій, ітербій, диспрозій, гольмій, ербій, тулій, лютецій, прометій, скандій, ітрій;
- розсіяні метали – індій, германій, талій, реній, гафній, селен, телур;
- радіоактивні метали – уран, торій, протактиній, радій, актиній, нептуній, плутоній, америцій, каліфорній, ейнштейній, фермій, менделевій, нобелій, лоуренсій.

З кольорових металів виготовляють відлиті деталі, а також різні напівфабрикати у вигляді дроту, круглих, квадратних і шестигранних прутків, листів, стрічок, штабів і фольги. Значну частину кольорових металів використовують у вигляді порошків для

виготовлення виробів методом порошкової металургії, а також для виготовлення різних фарб і в якості антикорозійного покриття.

Найбільш розповсюдженими в машинобудуванні є кольорові сплави на основі алюмінію, міді, магнію, титану. Основні причини застосування кольорових сплавів на транспорті - дуже великі втрати залізних сплавів від корозії (до 30 % річного видобутку чавуну та сталі).

Сплави на основі алюмінію

Алюміній – метал срібно-білого кольору. Температура розплавлення 600°C. Має високу електричну провідність (65 % електричної провідності міді). Залежно від чистоти розрізняють алюміній особливої чистоти: А999 (99,999 % Al); високої чистоти: А995 (99,995 % Al), А99 (99,99 % Al), А97 (99,97 % Al), А95 (99,95 % Al) і технічної чистоти: А85, А8, А7, А6, А5, А0 (99,0 % Al). Технічний алюміній застосовують у вигляді листів, прутків, дроту, профілю та інших напівфабрикатів і маркують АД0 і АД1. Має високу корозійну стійкість, легко обробляється тиском, зварюється всіма видами зварки, але погано обробляється різанням. Технічний алюміній використовують для виготовлення елементів конструкцій і деталей, які не несуть навантаження, але вимагають високої пластичності, опору корозії, доброї зварюваності, високої теплопровідності та електричної провідності. Із нього виробляють різні трубопроводи, кабелі, шини, конденсатори, корпуси годинників, фольгу, двері, рами, посуд, цистерни для молока, електропровід та ін. Алюміній високої чистоти призначений для виготовлення фольги, струмопровідних і кабельних виробів.

Основні легуючі елементи алюмінієвих сплавів – це Cu, Mg, Si, Mn, Zn, іноді Li, Ni, Ti. Багато елементів утворюють з алюмінієм тверді розчини обмеженої змінної розчинності та проміжні фази. Це дає змогу піддавати сплави термічній обробці, що зміцнює. Така обробка складається із гартування на перенасичений твердий розчин та природне або штучне старіння.

Конструкційна міцність алюмінієвих сплавів залежить від домішок Fe і Si.

Сплави на основі алюмінію за технологічними властивостями поділяються на три групи: I – сплави, що деформуються, але не зміцнюються термообробкою; II – сплави, що деформуються і зміцнюються термообробкою; III – ливарні сплави. Методами порошкової металургії одержують спечені алюмінієві сплави (САС) і спечені алюмінієві порошкові сплави (САП).

Маркування сплавів

Буква Д спочатку марки означає сплав типу дюралюмініу; буква А спочатку марки – технічний алюміній; букви АК спочатку марки – ковкі сплави; буква В – високоміцні сплави; букви АЛ – ливарні сплави. Після букв ставиться умовний номер сплаву. Після номера пишуть позначення, які характеризують стан сплаву: М – м'який (відпалений); Т – оброблений термообробкою (гартування + старіння); Н – нагартований; П – напівнагартований.

Сплави, що деформуються, але не зміцнюються термообробкою, - це сплави типу Al – Mn (група АМц) та Al – Mg (група АМг). Вони добре зварюються, мають високу корозійну стійкість, добре піддаються обробці тиском. Їх міцність підвищують нагартуванням. Обробка різанням ускладнена. Ці сплави застосовують для зварних та клепаних елементів конструкцій, які мають невеликі навантаження та потребують високого опору корозії. Наприклад, сплави АМц, АМг2, АМг3 застосовують при виготовленні баків для бензину, трубопроводів, палубних надбудов морських і річкових судів, у будівництві (вітражі, двері, рами вікон, перегородки та ін.). Для середньонавантажених деталей і конструкцій застосовують сплави АМг5 та АМг6 (рами і кузови вагонів, корпуси і щогли судів, підвісні навантажені стелі, перегородки та переборки судів, ліфти, вузли підйомних кранів та ін.).

Сплави, що деформуються та зміцнюються термообробкою – це такі сплави, як дюралюмін, авіаль, високоміцні сплави, сплави для кування та штампування та жароміцні сплави.

Дюралюміні – це сплави системи Al – Cu – Mg з додаванням марганцю. Після гартування дюралюміні підлягають природному старінню для підвищення корозійної стійкості. Сплав Д1 випускають

у листах і профілях. Зі сплаву Д16 виготовляють силові каркаси, будівельні конструкції, кузови вантажних машин, шпангоути, лонжерони та обшивки літаків та ін. Дуралюміни добре оброблюються різанням у загартованому та у зістареному стані і погано – у відпаленому стані. Вони добре зварюються точковим зварюванням та не зварюються зварюванням плавленням внаслідок утворення тріщин.

Сплави авіаль (АВ) – це сплави системи Al – Cu – Mg – Mn – Si. Сплави добре обробляються різанням, зварюються контактною та аргоно-дуговою зваркою, мають високий опір корозії та кращу пластичність, ніж дуралюміни. Після гартування при 515 – 525 °С з охолодженням у воді сплави підлягають природному старінню (сплав АВТ) або штучному старінню при 160 °С 12 год. (сплав АВТ1). Авіаль застосовують при виготовленні листів, труб та інших елементів конструкцій з помірним навантаженням, а також лопатей гвинтів гелікоптерів, кованих деталей двигунів, рам і дверей, для яких потрібна висока пластичність у холодному та гарячому стані.

Високоміцні сплави – це сплави системи Al – Zn – Mg – Cu – Mn з додаванням хрому. Сплави гартують при 460 - 470°С (з охолодженням у холодній або гарячій воді) зі штучним старінням 16 год при 135 – 145 °С. Ці сплави (В95) застосовують у літакобудуванні для навантажених конструкцій, які працюють довгий час при температурах менших 100 – 120 °С (обшивка, шпангоути, лонжерони, стрингери; силові каркаси будівельних споруд та ін.).

Сплави для кування та штампування – сплави системи Al – Cu – Mn – Mg – Si, які мають високу пластичність, задовільні ливарні властивості та зварюваність контактним та аргоно-дуговим зварюванням, добре оброблюються різанням. Кування і штампування сплавів проводять при температурах 450 – 470 °С. Потім проводяться гартування та старіння протягом 6 - 15 год при 150 – 165 °С. Сплав АК6 використовують для деталей складної форми та середньої міцності (підмоторні рами, фітинги, крильчатки та ін.). Сплав АК8 використовують для важконавантажених штампованих деталей (підмоторні рами, стикові вузли, пояси лонжеронів, лопаті гвинтів гелікоптерів та ін.).

Жароміцні сплави – це сплави на основі Al – Cu з додаванням Fe, Ni, Ti, а також Mn, Mg, Si. Сплави АК4-1 гартують при 530 °С у холодній або гарячій воді зі старінням при 200 °С. Ці сплави (АК4-1

та Д20) застосовують для виготовлення деталей, які працюють при температурах до 300 °С (поршні, головки циліндрів, крильчатки, лопатки та диски компресорів турбореактивних двигунів; обшивка зверхзвукових літаків та ін.).

Ливарні сплави – це сплави, які повинні мати високу рідкотекучість, невелику усадку, малу схильність до утворення гарячих тріщин та пористості, добрі механічні властивості, опір корозії та ін. Найчастіше - це сплави Al – Si, Al – Cu, Al – Mg, які додатково легують міддю та магнієм (для сплавів Al – Si), марганцем, нікелем, хромом (для сплавів Al – Cu). Для покращення механічних властивостей у сплави вводять добавки: Ti, Zr, B, V та ін.

Сплави Al – Si – силуміни мають високі ливарні властивості, легко піддаються різанню, ливарні дефекти заварюються газовим і аргоно-дуговим зварюванням. Сплав АЛ2 має високу корозійну стійкість, але низькі механічні властивості. Сплав АЛ4 після штучного старіння застосовують для деталей з середнім навантаженням, а після гартування зі штучним старінням – для деталей з великим навантаженням (корпуси компресорів, картери і блоки циліндрів двигунів та ін.). Сплав АЛ9 після гартування набуває підвищеної пластичності, а після гартування і старіння – підвищеної міцності. Сплави АЛ4 та АЛ9 додатково легуються магнієм.

Сплави Al – Cu після термічної обробки мають високі механічні властивості при звичайних і підвищених температурах і добре обробляються різанням. Ливарні властивості низькі (велика усадка, здатність до утворення гарячих тріщин та ін.). Сплав АЛ7 застосовують для відливання невеликих деталей простої форми (арматура, кронштейни та ін.). Сплав АЛ19 містить марганець та титан, які підвищують його жароміцність. Для підвищення міцності цих сплавів проводиться гартування і старіння при 175°С протягом 3 - 5 год.

Сплави Al – Mg мають низькі ливарні властивості, підвищені механічні властивості та обробюваність різанням, гарну корозійну стійкість. До цих сплавів додають присадки (Ni, Zr) для покращення механічних властивостей і Be – для зменшення окислення розплаву. Сплави АЛ8 та АЛ27 призначені для відливок, які працюють у вологій атмосфері (судобудівництво, авіація). Сплави АЛ13 та АЛ22 мають кращі ливарні властивості завдяки додаванню до 1,5 % Si.

Жароміцні сплави мають високу жароміцність завдяки додаванню в них Mn, Ti, Ni, Ce, Zr. Сплав АЛ1 застосовується для виготовлення поршнів, головок циліндрів та інших деталей, які працюють при температурах 275 – 300 °С. Відливки підлягають гартуванню та короткочасному старінню при 175 °С, а поршні – гартуванню та старінню при 200 °С. Більшу жароміцність мають сплави АЛ19 та АЛ33, які зміцнюються гартуванням від високої температури 545 °С та старінням при 175 °С. Для відливок крупних габаритів і складної форми, які працюють при 300 – 350 °С, застосовують сплав АЛ21. Для одержання високих механічних властивостей відливки гартують від 525 °С у гарячій воді та піддають стабілізуючому відпусканню при 300 °С.

Сплави на основі міді

Мідні сплави зберігають позитивні властивості міді (високі теплопровідність та електропровідність, корозійна стійкість та інші) і мають добрі механічні, технологічні та антифрикційні властивості.

Для легування мідних сплавів використовують елементи, що розчиняються в міді: Zn, Sn, Al, Si, Be, Mn, Ni. Висока пластичність – ознака мідних сплавів.

За технологічними властивостями мідні сплави розподіляють на деформівні та ливарні; по здатності зміцнюватися за допомогою термічної обробки – на ті, що зміцнюються та на ті, що не зміцнюються при термічній обробці; за хімічним складом поділяють на дві групи: латуні – сплав міді з цинком і бронзи – сплав міді з іншими елементами, серед яких може бути і цинк.

Латуні позначаються літерою “Л”. У марках *латуні, що деформується*, перші дві цифри після літери “Л” означають середній вміст міді у відсотках. Наприклад, Л70 – латунь, яка містить 70 % Cu. Якщо така латунь легується, то позначаються назва і кількість легуючого елемента. Наприклад, ЛАЖ60-1-1 означає латунь з 60 % Cu, яка легована алюмінієм (А) у кількості 1 % і залізом (Ж) у кількості 1 %. Решта – цинк (38 %). У *ливарних латуней* середній вміст компонентів сплаву у відсотках ставиться після літери, яка позначає його назву. Наприклад, латунь ЛЦ40Мц1,5 має 40 % цинку (Ц) та 1,5 % марганцю (Мц). Всі латуні за

технологічними ознаками розподіляються на дві групи: які деформуються (листи, труби, стрічки, дроти та інші напівфабрикати) і ливарні – для фасонного лиття. Ливарні латуні мають добру рідкотекучість, малу схильність до ліквації та виявляють антифрикційні властивості.

Спеціальні або багатоконпонентні латуні легуються Al, Fe, Ni, Sn, Mn, Pb, Si та іншими елементами. Ці елементи підвищують міцність (твердість), підвищують корозійну стійкість, але зменшують пластичність латуні.

Пластичні латуні, які деформуються у холодному та гарячому стані, – Л96 (томпак), Л80 (напівтомпак) і Л68 з найбільшою пластичністю (для виготовлення деталей штампуванням). Латунь Л90 використовується для деталей з високою пластичністю, підвищеною теплопровідністю та відсутністю схильності до корозійного розтріскування. Латуні Л62, Л60, Л59 з великим вмістом цинку мають більш високу міцність, легше обробляються різанням, дешевше, але гірше опираються корозії. Спеціальні латуні ЛАЖ60-1-1 мають високі корозійні властивості в атмосферних умовах та прісній і морській воді і застосовуються при виготовленні деталей у судобудівництві. Латуні ЛО70-1 і ЛО62-1 називають морськими, бо вони мають найбільшу стійкість до морської води. Латунь ЛС59-1 (автоматна латунь) постачається у прутках і призначається для виробів, які виготовляють різанням на верстатах – автоматах.

Латуні, призначені для фасонного лиття, містять велику кількість присадок, які покращують їхні ливарні властивості та корозійну стійкість.

Бронзи позначаються літерами “Бр” та літерами основних елементів, які складають сплав. Цифри, які стоять після літер, вказують кількість цих елементів. Наприклад, бронза БрА10ЖЗМц2 містить алюмінію (А) 10 %, заліза (Ж) - 3 % та марганцю (Мц) – 2 %.

Бронзи поділяють на олов’яні, алюмінієві, берилієві, кремнієві та інші. Сплави міді з нікелем мають назву мельхіори, куніалі, нейзільбери.

Олов’яні бронзи легуються Zn, Fe, P, Pb, Ni та іншими елементами. Цинк покращує технологічні властивості бронзи та здешевлює її. Фосфор покращує ливарні властивості. Нікель

підвищує механічні властивості, корозійну стійкість і щільність відливок і зменшує ліквацию. Залізо подрібнює зерно, але погіршує технологічні властивості бронзи та опір корозії. Свинець знижує механічні властивості бронзи, але підвищує щільність відливок, покращує здатність до обробки різанням та антифрикційні властивості.

Розрізняють олов'яні ливарні бронзи та олов'яні бронзи, які деформуються.

Ливарні бронзи містять велику кількість цинку, фосфору, інколи свинцю. Вони мають хороші ливарні властивості і застосовуються для лиття деталей складної форми. Ці бронзи мають високі антифрикційні властивості і тому їх часто застосовують для виготовлення антифрикційних деталей. Висока корозійна стійкість в атмосферних умовах, прісній і морській воді дозволяє застосовувати такі бронзи для паропровідної арматури, яка знаходиться під тиском.

Олов'яні бронзи, які деформуються, містять до 6-8 % Sn. Вони характеризуються гарною пластичністю та більш високою міцністю, ніж ливарні бронзи, а також високою електричною провідністю, корозійною стійкістю, антифрикційністю, пружністю та опором втомленості. Їх виготовляють у вигляді прутків, стрічок і дроту в нагартваному або відпаленому стані. Такі бронзи призначаються для виготовлення пружин і пружних деталей, які застосовуються в точній механіці, електротехніці, хімічному машинобудуванні і в інших галузях промисловості.

Алюмінієві бронзи мають високі механічні, пружні та антифрикційні властивості. Прівняно з олов'яними бронзами вони мають меншу вартість і більш високі деякі технологічні властивості.

Кремнієві бронзи характеризуються гарними механічними, пружними та антифрикційними властивостями. Вони добре зварюються, паяються, задовільно обробляються різанням. Ливарні якості цих бронз нижче, ніж інших бронз і латуней. Кремнієві бронзи використовують замість більш дорогих олов'яних бронз при виготовленні антифрикційних деталей, а також замість берилієвих бронз при виготовленні пружин, мембран та інших деталей приладів, які працюють у прісній та морській воді.

Берилієві бронзи поєднують дуже високу міцність і корозійну стійкість з підвищеною електропровідністю. Але вони мають велику вартість і тому їх використовують після гартування та старіння лише

для особливо відповідальних виробів у вигляді стрічок, дроту для пружин, мембран, сільфонів і контактів в електричних машинах, апаратах та приладах. Після термообробки берилієві бронзи стають немагнітними з дуже високою міцністю, яка дорівнює міцності сталі.

Марганцевисті бронзи мають добру корозійну стійкість і підвищену жаростійкість.

Мідно-нікелеві сплави містять до 30 % Ni, а також залізо та марганець. Погано піддаються зварюванню. Сплав МНЖ5-1 – міцний і корозійностійкий. Він широко застосовується для виготовлення трубопроводів і посудин, які працюють в агресивних середовищах (морський воді, розчинах солей та ін.).

Бабіти – це сплави олова і свинцю з додаванням міді та сурми. Вони широко використовуються для підшипників ковзання, але мають високу вартість і тому їх намагаються замінити на більш дешеві антифрикційні матеріали: сірі чавуни, сплави на основі алюмінію, металокерамічні сплави.

Магнієві сплави легують Al, Zn, Mn. Додатково ці сплави легують цирконієм, кадмієм, церієм та іншими елементами. Магнієві сплави легко обробляються різанням, легко шліфуються та поліруються, задовільно зварюються контактною роликівим та дуговим зварюванням. До недоліків цих сплавів належать: низька корозійна стійкість, погані ливарні властивості, придатність до газонасиченості, окислення та займистість при їх виготовленні. Плавлення та розливання магнієвих сплавів ведуть під спеціальними флюсами.

Титанові сплави основним легуючим елементом мають алюміній. Крім того, їх легують Mo, V, Cr, Mn. Титанові сплави піддають відпалу, гартуванню та старінню, а також хіміко-термічній обробці. Такі сплави добре зварюються аргоно-дуговим і точковим зварюванням, при цьому зварний шов має добре поєднання міцності та пластичності. Сплави добре піддаються обробці тиском. З них готують листи, труби, дріт, поковки. У той же час ці сплави мають низькі антифрикційні властивості та погано обробляються різанням. Титанові сплави знайшли застосування в радіо- та електронній промисловості у якості геттерного матеріалу (геттери призначені для

підвищення вакууму електронних ламп).

Берилієві сплави мають велику вартість та велику крихкість, а також низьку технологічність та токсичність. Ці сплави мають велику сховану теплоту плавлення та дуже високу сховану теплоту випарювання. Такі якості сприяють успішному застосуванню берилієвих сплавів у якості теплозахисного матеріалу для ракетної та космічної техніки (головні частини ракет, передні кромки крилів надзвукових літаків, оболонки кабін космонавтів), а також для атомної техніки. Найчастіше такі сплави легують алюмінієм.

Бериліди – це з'єднання берилу з перехідними металами (Ta, Nb, Zr та інші). Вони мають високу температуру плавлення (приблизно 2000 °C), високу твердість, жорсткість при порівняно низькій густині, але ці сплави дуже крихкі. З них виготовляють невеликі та прості за формою деталі для гіроскопів та систем управління.

1.5 Провідникові матеріали з особливими фізичними властивостями

Сплави з заданими значеннями коефіцієнта теплового розширення. Ці сплави застосовуються у приладобудуванні. Основна група таких сплавів – це сплави системи Fe - Ni. Найбільш відомий сплав – *інвар* (Н36) з 36 % Ni. Інвар практично не розширюється при температурах від -30 °C до +100 °C. *Платиніт* (Н48) з 48 % Ni має коефіцієнт теплового розширення такий ж, як скло та платина, тому його використовують для паяння зі склом. Є й інші сплави для паяння зі склом: 18ХТФ, 18ХТМФ (18 % Cr, 0,35 % Mo, 0,35 % V, 0,6 % Ti). Сплав *елінвар* (36% Ni, 8 % Cr, решта – Fe) має малий температурний коефіцієнт пружності при температурах до 120 - 200 °C. З нього виробляють мембрани, сильфони, анероїдні коробки, волосові пружини годинників та інші високоточні пружні елементи приладів.

Сплави з великим електричним опором. Одна група цих сплавів використовується для виготовлення електронагрівальних елементів, друга – для реостатів. Для першої групи застосовуються жаростійкі сплави низьковуглецевих сталей, які леговані хромом та

алюмінієм – *фехрالی* (X13Ю4 – 12-15 %Cr, 0,6 %Ni, 3,5-5,5 %Al, решта – Fe), *хромалі* (X23Ю5Т – 23–28 %Cr, 0,6 %Ni, 5-5,8 %Al, до 1 %Ti, решта – Fe) та сплави на основі нікелю та хрому – *ніхроми* (X15Н60, X20Н80). Їх робоча температура – 900 - 1400 °С.

Реостатні сплави – це сплави системи Cu-Ni-Mn (40 - 45 % Ni, 1 - 2 % Mn, Cu - решта), а також сплави МНМц40-1,5 – *константан* (58-60 % Cu, 32-40 % Ni, 1-2 % Mn; у парі з міддю виготовляють термопари), *манганін* (84-86 % Cu, 2-3 %Ni, 12-13 % Mn, іноді вводять Co та Al) і МНМц43-0,5 – *копель*. Ці сплави мають електричний опір, який практично не залежить від температури. Робоча температура цих сплавів – до 500 °С.

Магнітні сталі та сплави. До числа важливих феромагнітних матеріалів відносять залізо, кобальт, нікель і їх сплави. За призначенням ці матеріали поділяють на: 1) магнітом'які, 2) магнітотверді, 3) немагнітні сталі та сплави.

Магнітом'які матеріали використовують для виготовлення магнітопроводів (сердечники трансформаторів, електричних машин, реле, електромагнітів). До цих матеріалів належать технічно чисте залізо (залізо армко), електротехнічна сталь, залізонікелеві сплави (пермалої), альсифери, ферити і оксифери, магнітодіелектрики.

Технічно чисте залізо – армко залізо - повинно мати менше 0,05 %С та мінімальну кількість інших домішок. Його використовують у відпаленому стані для магнітопроводів постійного струму (реле, електромагніти, полюси електричних машин). Недолік цих матеріалів – висока електропровідність, що призводить до значних втрат потужності через виникнення вихрових струмів Фуко.

Електротехнічна сталь має у своєму складі до 0,05 %С і значну кількість кремнію (1-2 %), який зменшує вихрові струми. Марки сталей: 1212, 1311, 2012 та інші. Перша цифра показує клас за структурним станом та видом прокату (сталь гарячекатана, холоднокатана з різною мірою розвитку текстури). Друга цифра показує вміст кремнію, третя – група за основною характеристикою сталі, четверта – порядковий номер типу сталі. Сталі з вмістом кремнію до 2 % мають підвищену пластичність. Їх використовують для виготовлення пакетів роторів і статорів електричних машин. Така сталь називається *динамною*. Сталі з вмістом кремнію

більше 2 % - крихкі, з них виробляють листи для сердечників трансформаторів. Таку сталь називають трансформаторним залізом.

Пермалой – залізонікелевий сплав (45 - 78 %Ni, решта – Fe) широко використовують у якості магнітопроводів для радіо, телефонів та інших приладів слабкого струму. Пермалой розподіляють на дві групи: низьконікелеві – 45Н, 50Н, 60НХС та високонікелеві – 79НМ, 81НМА.

Альсифери (5,4 % Al, 9,6 % Si, 85 % Fe) мають перевагу перед пермалою через меншу дефіцитність (відсутність нікелю).

Ферити і оксифери – металокерамічні матеріали на базі феромагнітного оксиду заліза та оксидів двовалентних металів типу ZnO, NiO, MgO та інші. Їхня характерна особливість – дуже високий електричний опір. Більша частина феритів – *шпинелі* - мають низьку намагніченість. Ці матеріали застосовують у високочастотній техніці (сердечники радіотрансформаторів, контурних котушок та інші).

Магніодіелектрики відрізняються постійністю магнітної проникності. Їх виготовляють методом порошкової металургії з порошоків карбонільного заліза, альсиферу або магнетиту з ізолюючим матеріалом. Застосовуються вони в апаратурі зв'язку та у радіоапаратурі.

Магнітотверді матеріали (системи Fe - Ni - Al) використовуються для виготовлення постійних магнітів. Для малопотужних магнітів використовуються високовуглецеві та високовуглецеві хромисті сталі марки EX, EX3, EX5K5 та інші. Друга група таких сплавів – ливарні сплави типу *алні* (АН1, АН2), *алніко* (АНКо1, ЮНДК15), *магніко МНК*. До їх складу входять: 13 - 33 % Ni, 9 - 15 % Al, 12 – 24 % Co. Ці сплави мають дуже високу магнітну енергію, тому їх використовують для виготовлення малогабаритних потужних магнітів.

Немагнітні сталі та чавуни – це сталі та чавуни з аустенітною структурою марки Н12ХГ, 45Г13Ю3, 17Х18Н9 та інші, а також чавуни марки А і В. Недолік цих матеріалів – низька межа текучості. Міцність можна підвищити за допомогою деформаційного та дисперсійного зміцнення. Зносостійкість деталей, які працюють у вузлах тертя, підвищується азотуванням (сталі 40Г14Н9Ф2, 40Х14Н9Х3ЮФ2 та інші).

1.6 Монтажні, обмотувальні та установлювальні дроти

Монтажні дроти та кабелі призначені для виконання різних з'єднань в електричних апаратах, приборах та інше.

Дріт – це один неізолюваний або декілька ізолюваних провідників (жил), які мають обмотку або обплетені волокнистим матеріалом, поверх яких накладається ізоляційна оболонка. Жили таких дротів виготовляють із провідникової міді, яку лудять. Вони можуть бути із одного дроту або із багатьох дротів (для фіксованого або нефіксованого монтажу тощо).

Кабель – це одна або декілька ізолюваних жил у металевій або неметалевій оболонці, поверх якої може бути той або інший захисний шар з бронею або без неї. Переріз жил монтажних дротів від 0,05 до 2,5 мм², кабелів – 0,35 - 2,5 мм². Кількість жил кабелів від 1 до 52.

Крім дротів і кабелів при монтажі електричного обладнання використовують шнури, тобто два або більше ізолюваних жил перерізом

1,5 мм, які скручені або вкладені паралельно та покриті захисним шаром.

За конструкцією монтажні дроти поділяються на однопильні негнучкі або багатопильні гнучкі, еластичні. У гнучких дротів центральна жила скручена з тонких мідних дротиків, які зв'язані між собою нитками.

Переріз монтажних дротів вибирають для довготривалого режиму роботи залежно від значення проходячого струму і допустимого нагріву.

Монтажні дроти і кабелі виготовляють з поліетиленовою, гумовою, полівінілхлоридною, скловолокнистою та фторопластовою ізоляцією.

Монтажні дроти марок НП і НПК з поліетиленовою ізоляцією призначені для роботи при напрузі до 500 В та частоті 5 кГц. Їх виготовляють з жилами перерізом 0,08 - 2,5 мм². Дроти з ізоляцією з опроміненого поліетилену марок МПО, МПОЕ, МПОУ та МПОУЕ призначені для роботи при напрузі 220 В і температурі від -60 °С до +100 °С.

Дроти марок МЛП, МЛПГ та МЛПЕ виготовляють з 16 і 19 жил мідного дроту, які обмотують лавсаном, накладають поліетилен та опромінюють. Такі дроти призначені для роботи при температурі до 100°C.

Високовольтні монтажні дроти марки ПВМП-2 з поліетиленовою ізоляцією використовують при напругах 2 кВ, 2,5 кВ та 4 кВ при температурах від -60°C до +85°C.

Монтажні дроти з ізоляцією з полівінілхлоридного пластику (серія НВ) призначені для роботи при напрузі 500 В і 1000 В та частоті 5 кГц або на постійній напрузі 700 В і 1400 В при температурі від -50°C до +70°C.

Монтажні дроти МЛПВ і МГШВ з комбінованою і волокнистою полівінілхлоридною ізоляцією перерізом 0,08 - 0,14 мм² призначені для роботи при постійній напрузі до 500 або 380 В та частоті до 2 кГц. Ізоляція монтажних дротів складається з електроізоляційного шовку або плівки і полівінілхлоридного пластикату різного кольору. Ізольовані жили дротів МГШВЕ і МГШВЕВ складають паралельно або скручують, потім обплітають лудженим мідним дротом, а поверх екрана накладають полівінілхлоридну оболонку.

Кабель КМВ призначений для роботи при постійній напрузі до 500 В або при змінному струмі напругою 380 В та частотою 50 Гц. Жили цього кабелю перерізом 0,5 і 0,75 мм² виготовляють з лудженого мідного дроту діаметром 0,2 мм з ізоляцією з лавсану або триацетатного волокна. На скручені ізольовані жили накладають полівінілхлоридну оболонку.

Недоліком такої ізоляції є те, що під дією температури, сонячної радіації і різних активних середовищ полівінілхлоридні пластикати за рахунок випаровування пластифікатора старіють, тобто знижуються пластичність і холодостійкість.

Монтажні дроти з волокнистою ізоляцією використовують для внутрішнього монтажу електричних приладів, які працюють при температурі від -60 °С до +80 °С і відносної вологості 95 %. Ця ізоляція гігроскопічна, що понижує її електроізоляційні властивості. Для збереження її від вологи додатково покривають поверхні лакованою плівкою.

Дроти і кабелі, які працюють при напругах від 50 В до 1000 В

змінного або 150 - 400 В постійного струму, мають поверх основної ізоляції капронову захисну оболонку. Монтажні дроти з волокнистою ізоляцією з капронових або скляних ниток можуть працювати при температурах від -60°C до $+105^{\circ}\text{C}$, але при нормальній вологості. Робочі напруги – 24 В (марка МГШ), 60 В (марка МГШД), 127 В (марка МГШДО), 220 В (марка МШДЛ).

Гумова ізоляція на основі натурального каучуку для монтажних дротів має добре склеювання, малу усадку і високі термопластичність та механічну стійкість, але низький опір до теплового старіння та швидко руйнується під дією кисню. Кремнійорганічні гуми мають невисоку механічну стійкість, зате стійкі до дії температур від -60°C до $+200^{\circ}\text{C}$. Дроти МРП і МРПЕ призначені для монтажу та експлуатації при змінній напрузі до 380 В або при постійній напрузі до 800 В. Дроти МРК та МРКЕ мають мідні жили, на які накладають ізоляцію з кремнійорганічної гуми. Потім дріт оплітають лавсаном і покривають кремнійорганічним лаком.

Монтажні дроти і кабелі з фторопластовою ізоляцією (дроти марки МГТФЕ і МГСТФЕ) призначені для роботи при напрузі до 250 В і частоті 5 кГц і при постійній напрузі до 350 В і при температурі від -60°C до 220°C . Товщина ізоляції дротів приймається рівною 0,25 мм при напрузі до 600 В та 0,40 мм при напрузі до 1000 В. Треба мати на увазі, що при температурі вище 400°C фторопласт розкладається з високим виділенням токсичних газів.

Випускаються також монтажні дроти на напругу до 4 кВ з ізоляцією з фторопласту-4.

Обмотувальні дроти призначені для виготовлення обмоток електричних машин, апаратів і різних приладів. Вони класифікуються:

- за матеріалом для виготовлення струмопровідних жил – мідні, алюмінієві та зі сплавів опору;

- за видами ізоляції – емалева, волокниста, емалєвоволокниста, паперова, пластмасова, плівкова, скловолокниста, склоемалева, суцільноскляна.

Обмотувальні дроти з емалевою ізоляцією

Переваги: мала товщина ізоляції, гарні фізико-механічні та

електроізоляційні характеристики, нагрівостійкість.

Маркування ізоляції на основі масляних і високоміцних синтетичних лаків: ТІ-105, 120, 130, 155, 180 та вище.

Мідні емальовані дроти з ізоляцією на основі масляних лаків (марка ПЕЛ) випускаються діаметрами 0,02 - 2,5 мм. Вони мають достатньо високі електроізоляційні характеристики, які зберігаються навіть в умовах впливу підвищених температури та вологості. Дроти марки ПЕЛ застосовуються для виготовлення котушок електричних апаратів, рамок приладів та інше.

Дроти з ізоляцією на полівінілацеталевій основі відрізняються високими механічними характеристиками, електроізоляційними властивостями, стійкістю до агресивних середовищ. Вони застосовуються для виготовлення обмоток електричних машин і апаратів без додаткового покриття.

Дроти з ізоляцією на основі поліуретанових лаків з ТІ-120 (марок ПЕВТЛ-1 та ПЕВТЛ-2) випускаються діаметрами 0,05 - 1,6 мм. Їх особливість в тому, що ці дроти можна паяти без попередньої зачистки емалі. Застосовуються такі дроти у радіотехнічній промисловості та приладобудівництві.

Дроти з полімідною ізоляцією мають найвищу нагрівостійкість серед емальованих дротів, достатньо гарні електричні характеристики, які практично не змінюються при їх нагріві до температури 230 °С. Круглі дроти випускають діаметрами 0,5 - 2,5 мм, а прямокутні з перерізом 1,6 - 11,2 мм². Крім високої нагрівостійкості ці дроти мають підвищені механічні характеристики, стійкість до струмових перевантажень. Застосовують такі дроти у тих випадках, коли необхідно забезпечити надійну роботу електричного обладнання з ТІ-180 і вище, особливо при важких умовах виготовлення обмоток.

Дроти з волокнистою ізоляцією на основі бавовняної пряжі натурального шовку, обмотки, а також синтетичних волокон (капрон, лавсан, скляні волокна) виготовляють методом двошарової обмотки струмопровідних жил. Для такої ізоляції з ТІ-105 характерні більша товщина ізоляції та гігроскопічність, невелика електрична міцність, що обмежує їх використання без додаткового покриття (емаль-лаки на масляній поліефірній та інших основах). Основні вимоги до обмотувальних дротів з волокнистою ізоляцією:

- не повинно бути просвітів між нитками ізоляції на дротах;
- не повинно бути розривів ниток при навиванні ізоляції на дріт.

Електроізоляційні властивості цих дротів невеликі, бо всі види волокнистої ізоляції гігроскопічні, тобто поглинають вологу з повітря. Тому їх треба ретельно сушити та просочувати ізоляційними лаками або покривати компаундом. Найбільшу механічну міцність має ізоляція з лавсанових волокон, найбільшу нагрівостійкість має ізоляція зі скляної пряжі. Обмотувальні дроти з волокнистою та емалєвоволокнистою ізоляцією застосовують для обмоток тягових шахтних електродвигунів, електричних машин, апаратів і приладів у тих випадках, коли при виготовленні обмоток дріт зазнає підвищених механічних навантажень і нема твердих обмежень по товщині ізоляції. Крім мідних та алюмінієвих дротів з емалєвою, волокнистою та емалєвоволокнистою ізоляцією випускають також обмотувальні дроти зі сплавів високого опору (манганін, константан і ніхром).

Дроти з паперовою ізоляцією (ТІ-105) випускають головним чином для виготовлення обмоток масляних трансформаторів.

Дроти з пластмасовою ізоляцією (ТІ-105) застосовують для виготовлення обмоток зовнішніх електродвигунів, які працюють у середовищі рідин при підвищених температурах і тиску.

Дроти з плівковою ізоляцією також застосовують для обмоток зовнішніх високовольтних електричних двигунів. До їх числа належить прямокутний дріт марки ППЛБО, ізоляція якого складається з трьох шарів лавсанової плівки і одного шару бавовняної пряжі.

Дроти з скловолокнутою ізоляцією мають високу надійність, підвищену нагрівостійкість, стійкість до струмових перевантажень. Вони застосовуються для обмоток електродвигунів кранів, морських судів та для сухих трансформаторів. Випускаються вони з мідними та алюмінієвими жилами круглого або прямокутного перерізу.

Дроти зі склоемалєвою ізоляцією можуть тривало працювати при високих температурах. Для тривалої експлуатації при 400 °С випускаються обмотувальні дроти марки ПЕЖБ. Для роботи при

температурі 500 °С випускають дріт із жилою з біметалевого дроту «срібло-нікель» марки ПЕЖБ-700.

Дроти із суцільною скляною ізоляцією виготовляють методом витягування тонкої металевої нитки із прутка металу, який нагрітий струмом високої частоти та знаходиться всередині скляної трубки. Ці дроти належать до класу мікродротів. Дроти з манганіною жилою марки ПССМ (діаметром 3-100 мкм) використовують для виготовлення резисторів. Мідні дроти марки ПМС (діаметром 5-200 мкм) мають ізоляцію товщиною 1-35 мкм.

Установлювальні дроти призначені для розподілу електричної енергії та для приєднання до мережі споживачів струму. Вони застосовуються для нерухомих прокладок у силових та освітлювальних установках. Струмopовідні жили цих дротів виготовлюють з мідного та алюмінієвого дроту. Жили ізолюють гумою, поліетиленом або поліхлорвініловим пластиком. Поверх ізоляції накладають захисний шар з бавовняної або шовкової пряжі. У деяких дротів захисний шар просочують протигнільним складом. В окремих випадках зовнішній шар виготовляють зі сталюого оцинкованого дроту для захисту від легких механічних впливів. Для забезпечення більшої гнучкості жили установочних дротів виготовлюють з деякою кількістю дротів. У марках дротів букви означають конструктивну частину та вид ізоляції дроту, а цифри показують на величину напруги, до якої може застосовуватись даний дріт.

Дроти установлювальні марок АПБОВ, АПВ, АППВ, ППВ, ПБОВ-1, ПБОВ-3, ПБОВ-3, ПВ-1, ПВ-2, ПВ-3, ПВ-4, ПБППз розраховані на номінальну напругу до 450 В (для мереж 450/750 В) з частотою до 400 Гц або постійну напругу до 1000 В.

Дроти установлювальні марок АПБПП, ПБПП, ПУНП розраховані на номінальну напругу 250 В з частотою 50 Гц на температуру навколишнього середовища до +50°С та відносну вологість повітря до 100 % при температурі до +35 °С.

Дроти установлювальні марок ПСУ-155, ПСУ-180 призначені для підключення до виводів нагрівачів електропечей і трубчастих електронагрівальних елементів, для виводів в електричних машинах, для монтажу пускорегулюючої апаратури. Вони розраховані на

напругу 380 В і 660 В при робочій температурі 155 і 180 °С тощо.

Дроти установочні марок ВПП і ВПВ призначені для підключення до електричної мережі водозанурених електродвигунів, які довгий час працюють у воді артезіанських свердловин. Вони розраховані на номінальну напругу до 660 В змінного струму з частотою 50 Гц при температурі навколишнього середовища від -40 °С до +65 °С (марка ВПВ) і до +80 °С (марка ВПП).

Дроти установлювальні марки ПРКА з мідними жилами, ізоляцією та захисною оболонкою з кремнійорганічної гуми призначені для фіксованого монтажу у приладах і пристроях при підвищеній робочій температурі. Довгострокова допустима температура струмопровідних жил не повинна перебільшувати +180 °С. Розраховані на номінальну змінну напругу до 660 В, дроти витримують випробування на напругу 2500 В після трьох годин витримки у воді протягом 5 хвилин. Дроти витримують згинання на кут $(180 + 1)^\circ$, монтаж дротів проводиться при температурі навколишнього повітря не нижче -15 °С (дріт марки ВПВ) або -40 °С (дріт марки ВПП). При монтажі дротів радіус їх згину повинен бути не менше 10 діаметрів дроту. Гарантований термін служби дротів – 2,5 років зі дня введення дротів в експлуатацію.

2 ДІЕЛЕКТРИКИ

Діелектрики – це електроізоляційні матеріали, за допомогою яких проводиться ізоляція, тобто перепона витіку електричного струму між будь-якими струмопровідними частинами, які

знаходяться під різними електричними потенціалами. Діелектрики мають міцні зв'язки електричних позитивних і негативних зарядів, тому електрони та іони не можуть вільно пересуватися під впливом різності потенціалів. Застосовуються ці матеріали в електротехнічних, радіотехнічних та електронних приладах і пристроях. Вони мають великий питомий опір, високу пробивну напругу та малу діелектричну проникність. Важливо, щоб ці параметри були стабільні відносно до температури.

Електроізоляційні матеріали поділяють за агрегатним станом:

- на газоподібні;
- рідкі;
- природні неорганічні;
- штучні неорганічні;
- природні органічні;
- синтетичні органічні.

2.1 Газоподібні діелектрики

Основні газоподібні діелектрики – це повітря, азот, водень та елегаз.

Порівняно з рідкими і твердими діелектриками газу мають малі значення діелектричної проникності, великий питомий опір і знижену електричну міцність.

Повітря використовують в якості природної ізоляції між струмопровідними частинами електричних машин і мережі електропередач. Недоліком повітря є його здатність до окислення через наявність кисню та низька електрична міцність у неоднорідних полях. Тому у герметизованих пристроях повітря використовують рідко.

Азот застосовується у якості ізоляції в конденсаторах, високовольтних кабелях і силових трансформаторах.

Водень має знижену електричну міцність порівняно з азотом і застосовується для охолодження електричних машин. Заміна воднем повітря призводить до значного покращання охолодження, тому що

питома теплопровідність водню значно вища, ніж у повітря. Крім того, при використуванні водню знижуються втрати потужності на тертя по газу та вентиляцію. Тому охолодження воднем дозволяє підвищити як потужність, так і ПКД електричної машини.

Елегаз (гексафторид сірки) має найширше застосування в герметизованих пристроях, газонаповнених кабелях, конденсаторах, дільниках напруги, трансформаторах, що робить їх вибухобезпечними, і високовольтних вимикачах, де елегаз гасить електричну дугу. Переваги кабелю з елегазом – мала електрична ємність, тобто малі втрати, добре охолодження, більш-менш проста конструкція.

2.2 Рідкі діелектрики

Рідкі діелектрики найчастіше використовують у трансформаторах, вимикачах, кабелях, вводах для електричної ізоляції та в паперових конденсаторах. Порівняно з газами рідкі діелектрики мають більш високу електричну міцність, діелектричну проникність і питому теплопровідність. При використанні рідких діелектриків в електричних пристроях допустима робоча напруга підвищується. Рідкі діелектрики добре просочують пористу ізоляцію обмоток, картон та інші пористі електроізоляційні матеріали та значно підвищують їхню електричну міцність і ємність (у паперових конденсаторах), відводять тепло (в трансформаторах), гасять електричну дугу (у високовольтних вимикачах). Із рідких діелектриків найчастіше застосовують мінеральні (нафтові) і синтетичні (кремнійорганічні та фторорганічні) масла, а також лаки та емалі.

Нафтові електроізоляційні масла поділяються на три групи: для трансформаторів і високовольтних вимикачів; для просочення паперової ізоляції конденсаторів; для високовольтних кабелів. Конденсаторні та кабельні масла відрізняються більш глибоким очищенням від домішок і тому мають більш високі електричні характеристики.

Малов'язке масло МН-4 застосовують для заповнення кабелів низького та середнього тиску при усіх експлуатаційних температурах.

Середньов'язкі масла С-110 та С-220 використовують для просочення та заповнення високовольтних кабелів на напругу 110 кВ і вище під високим тиском. Ці масла мають дуже стійкі електричні характеристики.

Найбільш в'язке масло (нафтове масло, у якому розчинена каніфоль) застосовується для кабелів до 35 кВ з паперовою ізоляцією.

Електроізоляційні масла слід зберігати та перевозити у сухій тарі, перекачувати їх по чистих металевих трубах (тільки не по гумових шлангах). В умовах експлуатації масла треба захищати від проникнення в них повітря та вологи. Кришки апаратів, що наповнені маслом, повинні бути щільно закриті.

Недоліки нафтових електроізоляційних масел:

- більш-менш невелика температура спалаху парів;
- мала діелектрична проникність;
- горючість.

Синтетичні електроізоляційні масла складаються з хлорованих вуглеводнів. Типовий представник – совол.

Совол має діелектричну проникність, яка співпадає з діелектричною проникністю ізоляційного паперу. Це збільшує ємність конденсаторів і підвищує електричну міцність паперової ізоляції. Тому совол застосовують у паперових конденсаторах у якості засобу для просочування. Він не горить, але температура його захолення +5 °С і він має велику в'язкість, тому для просочування паперу совол треба підігрівати до температури +50 °С. Великим недоліком соволу є його токсичність, що обумовлено наявністю хлору, який викликає подразливість слизових оболонок.

Совтол-2 – це суміш з 64 % соволу та 36 % трихлорбензолу (розчинник).

Совтол-10 – це суміш 90 % соволу та 10 % трихлорбензолу.

Ці рідини застосовуються у виробництві конденсаторів і в спеціальних трансформаторах. Вони не спалахують, але їх пари

дають спалах, який не викликає горіння цих рідин. Недоліком соволу та совтолів є те, що вони мають велику в'язкість та токсичність і це обмежує їх застосування.

Гексол – це суміш 20 % соволу та 80 % гексахлорбутадієну (розчинник). Застосовується у якості рідкої ізоляції для трансформаторів.

Кремнійорганічні діелектрики мають дуже низьку температуру замерзання (-60°C), стабільність електричних характеристик у широких інтервалах температур, високу стійкість до окислення, нетоксичність, високу температуру спалаху парів.

ПЕСЖ – поліетилсилоксанова рідина;

ПМСЖ – поліметилсилоксанова рідина.

Їх використовують у спеціальних трансформаторах невеликої потужності, паперових і плівкових конденсаторах, в електронній апаратурі.

Лаки електроізоляційні залежно від призначення поділяються на ті, що просочують, покривні та ті, що клеють.

Лаки, що просочують, призначені для просочування ізоляції обмоток електричних машин і апаратів, а також для просочування різних електроізоляційних матеріалів волокнистої будови – паперу, тканини, склотканини, електрокартону тощо.

Покривні лаки використовують для створення зовнішньої захисної обробки різних електроізоляційних деталей, покриття обмоток, що просочені заздалегідь. До цієї групи належать також емаль-лаки, що застосовуються у кабельній промисловості.

За засобом сушіння електроізоляційні лаки поділяються на лаки повітряного (холодного) та пічного (гарячого) сушіння.

Лаки повітряного сушіння висихають та створюють плівку необхідної якості при кімнатній температурі за рахунок видалення летючих розчинників, окислювальних або полімеризаційних процесів (у масляних або бітумних лаках), а також введення у лаки на основі деяких синтетичних смол відповідних отверджувачів холодного твердіння.

Лаки пічного сушіння мають в основі розчинники, які поступово звітрюються при нормальній температурі, або композиції різних термореактивних синтетичних смол, у яких під час сушіння

при температурі 100 °С і вище проходять реакції окислення, полімеризації або поліконденсації.

За хімічним складом лакової основи лаки діляться на масляні, смоляні та ефіроцелюлозні.

Масляні лаки мають у своєму складі рослинні масла і натуральні або синтетичні смоли або бітуми з додаванням сикативів (речовин, що прискорюють процес висихання рослинних масел або смол). Найчастіше використовують льняне чи тунгове масла або їх суміші. Розчинниками при цьому можуть бути керосин, уайт-спірит, толуол, ксилол, скипидар. До групи масляних лаків належать масляно-бітумні, масляно-каніфольні та масляно-алкідні лаки.

Смоляні лаки получаять на основі синтетичних смол (поліефірні, епоксидні, фенолоформальдегідні, кремнійорганічні та натуральні смоли або бітуми) у водних або спиртових розчинах.

Ефіроцелюлозні лаки – це розчини різних ефірів целюлози (нітроцелюлоза, етилцелюлоза) з додаванням пластифікаторів (речовин, які надають еластичності та ударної міцності плівки лаку), суміші зі спиртами, ефірами тощо. Ці лаки у електротехнічній промисловості майже не застосовуються.

При виготовленні трансформаторів найбільш широко застосовуються такі основні групи *трансформаторних лаків та емалей*:

- масляно-бітумні лаки, що мають плівку гнучку, вологостійку, але вона не протистоїть трансформаторному маслу;

- гліфталеві та масляно-гліфталеві лаки та емалі, що мають плівку гнучку, еластичну та стійку до нагрітого масла;

- кремнійорганічні лаки, що відрізняються добрими діелектричними якостями, високою вологостійкістю, хімоустійкістю та короностійкістю.

Електроізоляційний покривний лак КФ-965 має плівку з високою механічною міцністю, твердістю, малостійкістю та вологостійкістю.

Бакелітовий лак ЛБС-1 застосовують при виготовленні трансформаторів для склеювання електрокартонних виробів товщиною більше 3 мм.

Лак МЛ92 призначений для просочування обмоток трансформаторів та покриття ізоляційних деталей. Обмотки після просочування піддають інтенсивному гарячому сушінню при температурі 105 °С протягом 8-10 год. При цьому забезпечується висока механічна міцність цих обмоток, висока маслостійкість і тривала еластичність протягом теплового старіння.

Лак БТ987 застосовується для просочування обмоток сухих трансформаторів, а також у якості покриття для ізоляційних і дерев'яних деталей сухих трансформаторів. Проводиться пічне сушіння при температурі 105°С протягом 6 год. Має високі електроізоляційні властивості.

Лак КО-916 призначений для просочування обмоток сухих трансформаторів класів нагрівостійкості F і H. Сушіння пічне при температурі 100-120 °С протягом 4 год і далі протягом 3 год при 180-200 °С.

Лаки КО-915, КО-916, КО-921, КО-923 застосовуються для виготовлення обмотувальних теплостійких дротів і кабелів зі скловолокнистою ізоляцією, просочування обмоток електричних апаратів і вузлів електричних машин тропічного та морського виконання, а також у якості клеючих матеріалів при виробництві гнучких нагрівостійких склослюдонитів і композиційних матеріалів на основі слонопластових паперів.

Електроізоляційні емалі - це лаки, до складу яких входять пігменти (неорганічні речовини, які підвищують твердість і механічну міцність лакової плівки, теплопровідність, дугостійкість). У якості пігментів часто застосовують діоксид титану, залізний сурик та інші.

Емалі ГФ-92, ГС застосовуються для просочування обмоток сухих трансформаторів, які працюють у приміщеннях з підвищеною вологістю. Емалі висихають при температурі 105-110 °С протягом 3 год. Мають високі маслостійкість, вологостійкість, механічну міцність і захищають основну ізоляцію від короткочасного впливу електричної дуги та поверхневих розрядів.

Емалі ГФ-92, ХС висихають при температурі 18-20 °С протягом 24 год. Застосовуються ці емалі для обробки обмоток сухих трансформаторів, які працюють у приміщеннях з підвищеною

вологістю, і покриття дерев'яних деталей сухих трансформаторів, обводів та інших частин зібраних трансформаторів.

Емаль КО-935 застосовується для захисного покриття обмоток і частин зібраних трансформаторів нагрівостійкого виконання. Сушіння пічне при температурі 100-120 °С протягом 4 год і далі протягом 12 год при 180-200 °С.

Емаль КО-84 призначена для покриття дротів і кабелів, які експлуатуються при температурах від -60 °С до +250 °С, а також для нанесення маркувальних знаків.

Треба пам'ятати, що всі електроізоляційні рідини дуже гігроскопічні, а присутність вологи та домішок у них значно погіршують їхні електричні характеристики. Тому їх треба зберігати у герметичній тарі.

2.3 Природні неорганічні діелектрики

До природних неорганічних діелектриків належать горні породи: слюда, мармур, шифер, талькохлорит і базальт. Також до цієї групи можна віднести матеріали, які отримують з портландцементу та азбесту (азбестоцемент і азбопласт). Ця група мінеральних діелектриків відрізняється високою стійкістю до електричної дуги і має достатньо високі механічні характеристики. Всі вони піддаються механічній обробці (крім слюди та базальту), за виключенням нарізання різьби. Основний недолік багатьох мінеральних діелектриків (за виключенням слюди) – це невисокий рівень їхніх електричних характеристик, який обумовлений великою кількістю пор і наявністю оксидів заліза. Тому такі матеріали використовуються тільки у пристроях низької напруги. У багатьох випадках мінеральні діелектрики (крім слюди та базальту) перед застосуванням просочують парафіном, бітумом, стиролом, бакелітовими смолами та ін.

Електроізоляційні матеріали з мармуру, шиферу та талькохлориту виготовляють у вигляді дощок для панелей та електроізоляційних підставок для рубильників і перемикачів низької напруги. Такі ж вироби з *базальту* можна отримати тільки методом лиття у форми. Щоб базальтові вироби мали необхідні механічні та

електричні характеристики, їх піддають термічній обробці з метою отримання кристалічної фази матеріалу. Треба мати на увазі, що мрамур та вироби із нього не переносять різких перепадів температур і розтріскуються. Шифер, базальт, талькохлорит, слюда та азбоцемент більш стійкі до таких перепадів.

Електроізоляційні матеріали з азбоцементу та азбопласту являють собою дошки, підставки, перегородки та дугогасильні камери. Для виготовлення таких виробів використовують суміш з портландцементу та азбестового волокна. Вироби з азбопласту виготовляють холодним пресуванням з маси, в яку додано 15 % пластичної речовини (каоліну або формувальної глини). Це дозволяє одержати з азбопласту електроізоляційні вироби складного профілю.

Найбільш розповсюдженим природним неорганічним матеріалом є **слюда**. Слюда достатньо гнучка при збереженні міцності, добре розщеплюється, що дозволяє одержувати тонкі пластини. Вона хімічно- та нагрівостійка. У якості електричної ізоляції зараз застосовують *мусковіт* і *флогопіт*. Крім природних слюд застосовують і синтетичні – *фторфлогопіт*. Використовуються ці матеріали у якості ізоляції крупних турбо- та гідрогенераторів, тягових електродвигунів та в якості діелектрика у деяких конденсаторів, що пов'язано з їхньою високою електричною міцністю, механічною міцністю, нагрівостійкістю та гнучкістю.

Слюдяні матеріали виготовляють на основі так званої поколотої слюди.

Міканіти – це листові або рулонні матеріали, які одержують склеюванням між собою пластинок щепаної слюди. Часто міканітами називають листові матеріали, а гнучкі або рулонні матеріали називають мікастрічка або мікафолієм. Залежно від виду слюди розрізняють міканіти з мусковіту та флогопіту і їх суміші. За сферою застосування розрізняють п'ять основних видів слюдяних листових матеріалів: колекторний, прокладковий, формувальний, гнучкий і термотривкий.

Колекторний міканіт виготовлюють з флогопіту та застосовують у вигляді штампованих заготовок, які прокладають

між мідними пластинами колекторів електричних машин. Він має гарні механічні властивості і дає малу (не більше 2 %) усадку в умовах великого тиску та підвищеної температури (до 160 °С).

Прокладковий міканіт виготовляють з мусковіту, флогопіту або їх суміші з малою кількістю в'язучого (5-20 % гліфталю або кремнійорганічної смоли). При нагріванні він здатен формуватися та зберігати конфігурацію при охолодженні. Застосовують такий матеріал при виготовленні електроізоляційних прокладок, шайб, колекторних манжет, фланців, каркасів, котушок, трубок та інших виробів.

Формувальний міканіт (мікафолій) виготовлюють з одного або декількох шарів поколотої слюди (флогопіт або мусковіт), які склеюють лаком (гліфталеве, поліефірне або кремнійорганічне в'язуче) між собою та паперовою або скловолокнистою підкладкою, що знаходиться з одного із боків слюди. Він застосовується для виготовлення твердої ізоляції стрижнів якірних обмоток машин високої напруги.

Гнучкий міканіт (мікастрічка) клеїться з поколотої слюди крупних розмірів тільки в один шар і має підкладку з склотканини, склосітки або мікастрічкового паперу з обох боків. Застосовується у якості основної ізоляції обмоток багатьох електричних машин високої напруги.

Термотривкий (термостійкий) міканіт виготовлюють на основі флогопіту, де в'язучим служить фосфорнокислий амоній (амофос). Застосовується для виготовлення ізоляції електронагрівальних приладів, які здатні працювати при температурах у декілька сотень градусів.

Слюдоніти та слюдопласти – це різновиди слюдяних паперів, які одержують із слюдяних відходів без попереднього ручного колоття.

Синтетична слюда (фторфлогопіт) виготовляють методом розплавлення шихти спеціального складу при високій температурі з подальшим дуже повільним охолодженням розплаву. При цьому кристалізується синтетична слюда. Вона має більш високу хімічну стійкість, нагрівостійкість і радіаційну стійкість, але значно більшу вартість, ніж природний флогопіт. Застосовується у якості ізоляційних матеріалів в електронних лампах, для вікон хвилеводів,

в якості діелектрика конденсаторів, які працюють до температур 600-700 °С, і для інших виробів, які застосовуються у радіоелектроніці.

2.4 Штучні неорганічні діелектрики

До штучних неорганічних діелектриків відносять малолужне скло, скловолокно, ситал, неорганічні плівки (окис, нітриди, фториди), металофосфати, електроізоляційний бетон, кераміку. Особливості неорганічних діелектриків: не горять, світло-, озono-, термостійкі, мають складну технологію виготовлення. Старіння на змінній напрузі практично відсутнє, схильні до старіння на постійній напрузі.

Основним електроізоляційним матеріалом є *фарфор* (польовошпатована кераміка). Він використовується для виробництва широкого асортименту низьковольтних і високовольтних ізоляторів та інших ізоляційних елементів з робочою напругою до 1150 кВ змінного струму та до 1500 кВ постійного струму. Переваги електрокераміки перед іншими електроізоляційними матеріалами в тому, що з неї можна виготовляти ізолятори складної форми, вона має широкий інтервал спікання, технологія виготовлення виробів відносно проста, сировинні матеріали мало дефіцитні. Електрофарфор має достатньо високі електроізоляційні, механічні, термічні властивості в області робочих температур; він витримує поверхневі розряди, стійкий до впливу атмосферних опадів, багатьох хімічних речовин, сонячних променів, радіаційних випромінювань, слабо піддається старінню.

2.5 Природні органічні діелектрики

До природних органічних діелектриків відносять парафін, пек, каучук, целюлозу, янтар та інші природні смоли. Вони мають відносно просту технологію виготовлення, більш дешеві порівняно з неорганічними діелектриками, але мало стійкі до атмосферного та експлуатаційного впливу. Старіння на постійній напрузі практично відсутнє, на змінній напрузі старіють за рахунок часткових розрядів. В останній час у зв'язку з розширенням виробництва синтетичних

електроізоляційних матеріалів застосування природних органічних діелектриків скорочується.

2.6 Синтетичні органічні діелектрики

До синтетичних органічних діелектриків відносять гуму, папір, лаки, полімери, лакотканини. Особливості таких діелектриків – здебільшого вони горючі, малостійкі до експлуатаційних і атмосферних впливів, мають досить просту технологію виготовлення, дешевше, ніж неорганічні діелектрики. На змінній напрузі старіють за рахунок часткових розрядів, а на постійній напрузі практично не старіють.

Гуми мають велику еластичність, високу водостійкість і газонепроникність, гарні електроізоляційні властивості. Основний компонент гуми – натуральний (НК) або синтетичний (СК) каучуки. До активних наповнювачів, які підвищують механічну міцність резин, відносять цинкові білила та вуглецева сажа. Неактивні наповнювачі – крейда, тальк та каолін – вводять для здешевлення гум. Також вводять *пом'ягшувачі* (стеаринова кислота, парафін) для покращання пластичності сирих гум і зниження температури їх вулканізації та *протистарителі* (неозон) для підвищення стійкості гумової ізоляції до окислення, теплового та світлового старіння.

Робочі температури гумової ізоляції на основі НК та СК – від $-(50-70)^\circ\text{C}$ до $+(65-85)^\circ\text{C}$, для гум на основі кремнійорганічного каучуку інтервал робочих температур від -100°C до $+200^\circ\text{C}$.

Папери належать до волокнистих електроізоляційних матеріалів і поділяються на кабельні, конденсаторні, просочувальні, намотувальні, мікалентні, креповані, азбестові. Важливі характеристики паперів – щільність, повітропроникність і руйнівне напруження при розтязі. Нормальна вологість електроізоляційних паперів коливається від 6 до 10%.

Кабельний папір - основна ізоляція кабелів високої напруги (35, 110 та 220 кВ). Одношаровий кабельний папір К-120 має товщину 120 мкм. Інші марки (КМ-120, КМП-120, КВМ-120) – це

багатошаровий кабельний папір. Літери в марках паперу означають: К – кабельний папір, М – багатошаровий, В – високовольтний, П – зміцнений, У – ущільнений, С – стабілізований. Кабельний папір – матеріал гігроскопічний, легко зволожується у вологому повітрі, тому перед просочуванням рідкими діелектриками папір треба висушувати до вологості 4-8 %.

Конденсаторний папір застосовується в паперових конденсаторах. Це найбільш тонкий папір (0,004 - 0,030 мм) однорідний за товщиною з невеликою повітропроникністю.

Просочувальний папір призначений для виготовлення електроізоляційної шаруватої пластмаси – *гетинаксу*. Повітропроникність і вбираність цього паперу вище, ніж інших.

Намотувальний папір призначений для виготовлення електроізоляційних намотувальних виробів (циліндрів та ізоляційних трубок для трансформаторів та електричних апаратів). З одного боку такі вироби покривають електроізоляційним лаком.

Мікастрічковий папір призначений для виготовлення гнучкої слюдяної стрічки. На нього наклеюють листочки слюди. Папір забезпечує гнучкість стрічки, підвищує її механічну міцність на розрив, має велику пористість, добре та швидко просочується лаками.

Крепований папір призначений для ізолювання відводів і місць з'єднань обмоток трансформаторів та інших маслонаповнених електричних апаратів. Цей папір має на поверхні *креп* (гофрування). Це надає паперу гнучкості та дозволяє добре розтягуватись у поздовжньому напрямку (подовження 60 %). Така властивість дозволяє надійно ізолювати відводи обмоток і сильно вигнуті сполучні дроти, наприклад у трансформаторах.

Електроізоляційний картон виготовляють з деревної целюлози або суміші бавовняних волокон та волокон деревної целюлози у різних співвідношеннях. Нормальна вологість електроізоляційного картону повинна бути від 6 до 10 %. Картон товщиною 0,1 - 0,8 мм випускають у рулонах, а картон товщиною від 1 мм і вище – у листах різних розмірів. Електрокартон, призначений для роботи в повітряному середовищі («повітряний» картон), має більш щільну структуру, ніж картон, призначений для роботи в масляному середовищі («масляний» картон). «Повітряні» картони застосовуються для пазової та межвиткової ізоляції в електричних

машинах низької напруги. «Масляні» картони застосовуються в маслonaповнених апаратах, трансформаторах.

Фібра являє собою монолітний матеріал, який одержують пресуванням листів паперу, який попередньо обробляють нагрітим розчином хлористого цинку. Фібра піддається всім видам механічної обробки та формуванню після розмочування її в гарячій воді. До недоліків фібри належать її гігроскопічність, набухання у вологому середовищі, велика усадка після сушіння. Фібра ФЕ використовується в якості пазових клинів і прокладок в електричних машинах низької напруги невологостійкого використання. Також фібру використовують для виготовлення розрядників високої напруги. Вона під впливом електричної дуги активно виділяє газу, які гасять дугу.

Летероїд – це тонка листова та рулонна фібра, яку використовують для виготовлення різного виду електроізоляційних прокладок, шайб і фасонних виробів.

Азбестові папери, картони та стрічки виготовляють з волокон хризолітового азбесту, які мають найбільшу еластичність і здатність скручуватися в нитки. Всі ці матеріали тривалі до луг, але легко руйнуються кислотами.

Електроізоляційні компаунди в основі мають той самий склад, що і лаки, але не містять розчинників. На час застосування при нормальній і підвищеній температурі компаунди знаходяться в рідкому стані і твердіють після охолодження або в наслідок хімічних процесів, які в них протікають. Крім того, до складу компаундів можуть входити активні речовини, які знижують в'язкість компаунду, пластифікатори, отверджувачі, ініціатори та інгібітори (речовини, що прискорюють процес полімеризації). Включають також до складу компаундів різні наповнювачі – неорганічні та органічні матеріали, які зменшують усадку, температурний коефіцієнт розширення, вартість компаундів, покращують теплопровідність. Це такі матеріали, як пиловидний кварц, тальк, слюдяний пил, азбестове і скляне волокно та інші.

За призначенням і функціями електроізоляційні компаунди поділяються на дві основні групи: ті, якими просочують, і ті, які заливають.

Просочення компаундами проводиться для заповнення капілярів, пор, повітряних включень в електроізоляційних матеріалах, які використовуються головним чином для обмоток електричних машин, котушок апаратів, трансформаторів та інших електротехнічних конструкцій. Після просочування підвищується електрична міцність матеріалу та всієї конструкції, покращуються теплопровідність, тепловіддача обмоток, що дозволяє збільшити потужність електричних машин і апаратів при тих самих габаритах, збільшується механічна міцність, вологостійкість, термін служби всієї конструкції.

Компаунди, що заливають, використовують для заливки порожнин у кабельних муфтах і воронках, а також у корпусах електричних апаратів – дроселів, трансформаторів струму та ін.

Відносно до нагріву компаунди поділяються на термопластичні та термореактивні.

Термопластичні компаунди тверді при нормальній температурі, при нагріванні пом'якшуються, становляться пластичними, переходять у рідкий стан. При охолодженні вони знову твердіють. Ці процеси можна проводити багато разів. Для виготовлення таких компаундів використовують нафтові бітуми в поєднанні з рослинними та мінеральними маслами, каніфоллю та деякими термопластичними полімірами.

Термореактивні компаунди на час їх застосування знаходяться в рідкому стані. Твердіють вони під дією отверджувача або каталізатору. Після твердіння компаунд становиться твердим, неплавким і не розчиняється у звичайних розчинниках. Ці компаунди поділяються на компаунди гарячого твердіння, які потребують спеціальної термічної обробки, і холодного твердіння, які твердіють під дією отверджувачів.

За хімічним складом компаунди поділяються на компаунди, які готують на основі нафтових бітумів, рослинних або мінеральних масел і каніфолі, і компаунди на основі синтетичних смол.

Лаковані тканини (лакотканини) – це гнучкі матеріали з тканини, просочені лаком або іншою електроізоляційною речовиною. Ця речовина після твердіння утворює гнучку плівку, яка забезпечує гарні електроізоляційні властивості лакотканини. У якості речовини для просочування застосовують масляні, масляно-

бітумні, ескапонові та кремнійорганічні лаки, а також кремнійорганічні емалі, розчини кремнійорганічних каучуків та інші.

Залежно від основи тканини лакотканини поділяють на шовкові, бавовняні, капронові та скляні (склотканини). Найбільше розтягування та гнучкістю мають шовкові та капронові лакотканини. Вони можуть працювати при нагріві не вище 105 °С, як і бавовняні лакотканини. Електроізоляційні скляні стрічки і тканини виробляють зі скляних ниток, які виготовляють з безлужного або малолужного скла. Переваги склотканин перед азбестовими чи іншими волокнами в тому, що вони мають гладку поверхню, яка знижує вбирання вологи з повітря. Нагрівостійкість склотканин і стрічок вище, ніж азбестових.

Основні сфери застосування лакотканин: електричні машини, апарати та прилади низької напруги. Лакотканини використовують для гнучкої виткової та пазової ізоляції, а також у якості різних електроізоляційних прокладок.

Вироби з лакотканин

Лакотканина ЛКМ – капронова тканина з масляним зв'язуєчим. Має підвищену еластичність.

Лакотканина ЛШМ – шовкова тканина з масляним зв'язуєчим. Має малу усадку та стійкість до короткочасного підвищення температури.

Лакотканина ЛСМ - склотканина з масляним зв'язуєчим. Застосовується для виготовлення композиційних матеріалів, а також у якості міжшарової ізоляції у високонавантажених трансформаторах.

Максимальна робоча температура ЛШМ і ЛКМ - 105°С, ЛСМ – 120 °С.

Плівка ПМА – поліімідна плівка без липкого шару; плівка ППМ – з липким шаром. Застосовуються для високотемпературної ізоляції електродвигунів для добування нафти і для тягових двигунів міського транспорту; ізоляції трансформаторів, генераторів і конденсаторів; ізоляції бортових дротів і кабелів для авіації та космосу; підкладки для гнучких печатних плат та інше.

Плівка ПЕТ-Е – поліетилентерефталат. Має малу усадку, хімічну стійкість, високу теплостійкість, підвищені механічні властивості, діелектричні показники в широкому діапазоні температур (-65 °С - +155 °С). Використовується для ізоляції дротів і кабелів, обмоток електричних машин і апаратів, для пазової ізоляції статорів електродвигунів широкого інтервалу потужностей, для виробів радіотехнічного призначення.

Кіперна стрічка – текстильна стрічка з бавовняної пряжі. Застосовується при виробництві різних кабельних та електромонтажних робіт у якості шару, що стягує основну ізоляцію обмоток високовольтних і низьковольтних електричних машин.

Скlostрічка – виробляється зі скляних скручених ниток. Має високі електроізоляційні та термічні властивості. Застосовується для виготовлення обмоток електричних машин, апаратів і дротів.

Лавсанова стрічка ЛЕСП застосовується для виготовлення обмоток електричних машин, апаратів і дротів, а також для теплоізоляції трубопроводів малих діаметрів. Робоча температура від -60 °С до +160 °С.

Фторопластова стрічка має малу пористість, феноменальну інертність, відмінні електричні та механічні властивості, повну гідрофобність, високу термостійкість, низький коефіцієнт тертя, що майже не залежить від температури. Хороша механічна міцність зберігається від 190 °С до 250 °С.

Застосовується для ізоляції дротів, кабелів, рознімачів, виготовлення печатних плат, пазової ізоляції електричних машин, а також у техніці НВЧ.

Тафтяна стрічка – щільна бавовняна або шовкова тканина, застосовується для монтажних робіт, для виготовлення шару, що стягує основну ізоляцію обмоток електричних машин, апаратів і дротів.

Склошнур-чулок ШС має високу термостійкість, гнучкі, еластичні, стійкі до вібрації та вологи, пружні. Застосовується для електричного, світлового обладнання, а також для оснастки двигунів. Температурна стійкість від -10 °С до +600 °С. Робоча напруга 300 - 700 В.

Трубка ТКР виготовляється з кремнійорганічної гуми. Широко використовується для електричного, медичного обладнання та в

освітлювальних приборах підвищеної потужності. Температурна стійкість від -60°C до $+200^{\circ}\text{C}$, робоча напруга 4000 - 10000 В.

Трубка ТКСПр (зсередини силіконова гума, зовні скловолокно) має високий ізоляційний захист і функцію опору температурі. Використовується для ізоляції в електричному обладнанні високих класів нагрівостійкості та домашніх електронагрівальних приборах. Температурна стійкість від -60°C до $+200^{\circ}\text{C}$. Середня робоча напруга 7000 В.

Трубка ТКСП (зсередини скловолокно, зовні силіконова гума) має високі електроізоляційні та термостійкі властивості, відрізняється гнучкістю та м'якістю. Широко використовується для ізоляції в електричному обладнанні високих класів нагрівостійкості, домашніх електронагрівальних приборах, спеціальному світловому обладнанні. Температурна стійкість від -10°C до $+200^{\circ}\text{C}$, середня робоча напруга 5000 В.

Трубка ТСПл (ТЛВ) – це склошнур, який не має лугу та покритий смолою ПВХ. Має хороші діелектричні властивості, хімічний опір, м'якість та еластичність. Застосовується як обмотка, механічний захист в електрообладнанні, медичинському обладнанні та побутовій техніці.

Трубка ТСПк – це склошнур, просочений силіконом. Має високі електричні властивості, гнучкість, м'якість. Застосовується для ізоляції в електричному обладнанні високих класів нагрівостійкості, побутових електронагрівальних приборах. Температурна стійкість від -10°C до $+200^{\circ}\text{C}$. Середня робоча напруга 255 В.

Трубка ТУТ (з термічною усадкою) призначена для монтажу та комплектації кінцевих і з'єднувальних муфт силових кабелів напругою до 1 кВ, ізоляції та герметизації жил дротів, кабелів, місць паяння, бандажування джгутів дротів, приєднання контактних клем, кабельних наконечників і штекерних рознімачів, захисту від корозії та впливу агресивного середовища. Температурна стійкість від -45°C до $+125^{\circ}\text{C}$, максимальна напруга 10000 В. Трубки ТУТ випускаються різних кольорів.

Полімери, які складаються з молекул лінійної структури, називаються *лінійними*. Вони здатні розм'якшуватись при нагріванні, тобто є термопластичними матеріалами. *Просторові полімери*

відносно крихкі, не розм'якшуються при нагріванні, тобто є термореактивними матеріалами.

Високополімерні речовини бувають природними (природний каучук, янтар) і синтетичними, які найчастіше застосовуються в електротехніці. Ці синтетичні діелектрики одержують у результаті хімічних реакцій полімеризації та поліконденсації.

2.6.1 Полімеризаційні тверді діелектрики

Полістирол – термопластичний діелектрик, який розм'якшується при температурі 110 – 120 °С, розчиняється в неполярних розчинниках (бензол, толуол, ксилол та ін.). З нього виготовляють каркаси котушок, ізоляційні панелі, ізолятори та основи для електровимірювальних приладів. Полістирольні плівки (стироплівки) товщиною 20 - 100 мкм застосовуються для ізоляції жил високочастотних кабелів і у виробництві конденсаторів.

Основний недолік полістиролових виробів - крихкість і здатність до розтріскування.

Поліетилен – твердий непрозорий матеріал білого або світло-сірого кольору, трохи жирний навімацки. Розрізняють поліетилен високого тиску, який одержують при температурі 180 - 200 °С у присутні кисню 0,05 % (ВД), низького тиску НД (получають при температурі 60 °С із застосуванням каталізаторів) і середнього тиску СД (одержують при температурі 130 - 140 °С). Поліетилени НД і СД мають більшу щільність, ніж поліетилени ВД, підвищену механічну міцність і більшу жорсткість, але меншу стійкість до теплового старіння. Вироби із поліетилену одержують методами лиття під тиском, гарячим пресуванням або екструзією (при нанесенні поліетиленової ізоляції на дроти, при виготовленні ізоляційних шлангів і трубок). З поліетилену ВД виготовляють електроізоляційні напівпрозорі плівки товщиною від 30 до 200 мкм, з поліетилену СД та НД – негнучкі електроізоляційні вироби, каркаси котушок, плати та інше. При кімнатній температурі поліетилени не розчинюються ні в якому розчиннику. Тільки при температурі 70 °С і вище вони можуть розчинюватись у ксилолі, мінеральних маслах, чотирихлористому вуглеці.

Усі поліетиленові вироби не стійки до сонячного світла, тому для підвищення світлостійкості до поліетилену вводять сажу та інші барвники. Вироби з поліетилену можна з'єднувати зварюванням.

Основний недолік поліетиленів – невелика нагрівостійкість і здатність до розтріскування при підвищеному механічному навантаженні.

Полівінілхлорид – матеріал, із якого методом гарячого пресування виготовляють механічно міцні вироби (плати, труби та інше), стійкі до мінеральних масел, луг, кислот, багатьох розчинників. Із цього матеріалу одержують твердий жорсткий *вініпласт* у вигляді листів, пластин, труб тощо. Ці вироби мають високу механічну міцність, особливо з ударним навантаженням. Вони легко зварюються, склеюються, піддаються всім видам механічної обробки. З вініпласту виготовляють баки для акумуляторів і різні електроізоляційні деталі, які стійкі до ударного навантаження.

Недолік вініпласту – мала холодостійкість. Розкладається при 150 – 200 °С.

Полівінілхлоридний пластикат – це гнучкий рулонний матеріал товщиною від 0,8 до 2,5 мм. Застосовується у якості основної ізоляції монтажних дротів, захисних оболонок шлангів, кабелів тощо. Звичайно фарбується в чорний, синій, жовтий та інші колери. Це робиться для захисту від світлового старіння, а також для розпізнавання дротів при монтажі. З пластикату виробляють гнучкі ізоляційні трубки та липку ізоляційну стрічку.

Поліформальдегід – порошок білого кольору, із якого методом лиття під тиском або екструзією виготовляють вироби з підвищеними механічними властивостями. Підвищена твердість, велика стійкість до зносу, малий коефіцієнт тертя дозволяють одержати безшумні підшипники, шестеренні та черв'ячні передачі. Широкий діапазон робочих температур (55 – 100 °С), вологостійкість, хімічна стійкість, стійкість до іскрових розрядів, оброблюваність, хороші електричні характеристики дозволяють широко використовувати цей матеріал для ізоляційних виробів (плати, каркаси котушок складного профілю).

Органічне скло (поліметилметакрилат) – прозорий термопластичний матеріал, має дуже високу оптичну прозорість, легко фарбується. Оргскло має стійкість до розчинених кислот і луг,

бензину, мінеральних масел. Розчинюється в ароматичних вуглеводнях (бензол, толуол, ксилол), ацетоні. Піддається всім видам механічної обробки, легко склеюється дихлоретановим клеєм. При температурі 115 - 135 °С легко формується. Можна зварювати у спеціальних пристроях при температурі 140 - 150 °С.

Капрон – матеріал білого або світло-жовтого кольору, дуже стійкий до плісняви, але не стійкий до атмосферного впливу. Під дією постійного навантаження капрон повільно деформується (холодна текучість). Капрон часто застосовують у виробництві електромонтажних і конструкційних деталей малої маси. Для електричної ізоляції обмотувальних і деяких типів монтажних дротів, а також у якості основи електроізоляційних лакованих тканин застосовують капронове волокно (діаметром 0,1 мм та менше), яке має велику механічну міцність і підвищений опір зносу тертя.

Поліуретани – непрозорі полімерні матеріали. Вони можуть бути термореактивними (тверді, крихкі вироби, наприклад кабельні муфти) і термопластичними (гнучкі, еластичні плівки та волокна). Поліуретани служать основою ізоляційних лаків для емалювання обмотувальних дротів. Велике застосування мають *пінополіуретани* – товсті пластини і тонкі листи пористого матеріалу. Вони можуть бути еластичними або жорсткими, з закритими або відкритими порами. Невеликий коефіцієнт теплопровідності пінополіуретанів дозволяє застосовувати їх у якості теплоізоляційних матеріалів. Перевага всіх поліуретанів: хороша адгезія до багатьох матеріалів, мала усадка при литті, атмосферостійкість, високі електричні характеристики. Недоліки: низька холодостійкість (30 - 40 °С нижче нуля) і нагрівостійкість, яка не перевищує 100 – 105 °С.

Майже всі органічні полімерні матеріали є горючими речовинами (за винятком фторопласта-4).

2.6.2 Поліконденсаційні тверді діелектрики

Найбільше застосування у виробництві мають **фенолформальдегідні смоли** (резольні та новолачні), **поліефірні та епоксидні смоли**.

Резольні смоли – застосовуються у виробництві термореактивних пластмас (гетинакс, текстоліт та інші).

Бакеліт застосовується у якості в'язучої речовини для пластмас і для виготовлення бакелітових лаків. Спиртовими лаками та рідкими смолами просочують волокнисту основу ізоляції (папір, тканину).

Резольні смоли мають стійкість до мінеральних масел і воді, але не стійкі до електричної іскри.

Новолачні смоли – це термопластичні речовини, які зберігають плавкість і розчинність при тривалому зберіганні та навіть при нагріві до 200 °С. При додаванні у нагріту смолу 15 – 20 % уротропіну можна одержати пластмасу, яка швидко пресується, не розчинюється та не плавиться. З такої пластмаси виготовляють деталі для електричних апаратів низької напруги (патрони, кришки та основи вимикачів), а також конструкційні деталі (кнопки, рукоятки та інші).

Гліфталеві смоли (гліфталі) – це поліефірні смоли на основі спиртів та органічних смол. Їх виключна особливість – висока здатність до склеювання при гарних електричних характеристиках, стійкість до поверхневих розрядів і підвищена нагрівостійкість (до 130 °С). Гліфталі використовують в електротехніці як основу для клеючих, просочувальних і покривних лаків, у яких плівки після запікання стійкі до дії нагрітого мінерального масла. Вони широко застосовуються для склеювання слюди у виробництві твердої та гнучкої слюдяної ізоляції (міканіти, мікастрічки).

Поліетилентерефталат (лавсан) – прозорий поліефірний діелектрик. Прозорі плівки лавсану товщиною 30 - 100 мкм застосовують в якості пазової ізоляції в електричних машинах. Вони стійкі до розчинників, пліснявих грибків і вологи, здатні тривало працювати при температурах, які не перевищують 120 °С, використовуються в машинах тропічного виконання, не стійкі до електричних розрядів. При тривалому знаходженні при температурі 110-120 °С у трансформаторному маслі плівки стають крихкими.

Епоксидні смоли – це сиропоподібні рідини або тверді речовини жовтого або світло-брунатного кольору. Застосовуються як основа заливальних електроізоляційних компаундів, а також у якості клеючих лаків. Перевага компаундів у тому, що вони мають дуже малу об'ємну усадку (0,3 - 2,0 %). Після затвердіння мають велику

механічну міцність і стійкість до води. У якості отверджувачів застосовують ангідриди малеїнової та фталевої кислот.

2.6.3 Нагрівостійкі високополімерні діелектрики

Більшість органічних діелектриків працюють при температурах не вище 90 – 105 °С (гліфталі – до 130 °С). При вищих температурах вони швидко руйнуються. Високу нагрівостійкість мають деякі неорганічні діелектрики, наприклад, електрокераміка (фарфор, стеатит), але з них не можна виготовити гнучкі види ізоляції.

Високополімерні кремнійорганічні діелектрики мають високу нагріво- та холодостійкість. Ці матеріали (пластмаси, гуми, лаки та інші) можуть довго працювати в інтервалі температур від -60 °С до +180 °С, а деякі навіть і до 220 °С. Крім того, вони мають високу стійкість до води, мінеральних масел, а також до електроіскрових розрядів.

Фторопласт-4 – твердий негорючий матеріал білого кольору. Має дуже високу нагрівостійкість (до 250 °С) і холодостійкість (до -269 °С). При нагріві до 327 °С кристалічна структура переходить в аморфну і фторопласт-4 стає прозорим. Він має виключну хімічну стійкість: не розчинюється в жодному з розчинників при кімнатній температурі та при нагріві; на нього не діє жодна з концентрованих кислот та луг. Цей матеріал не змочується та не поглинає воду. Недолік фторопласту-4 – текучість при кімнатної температурі, він починає деформуватись при механічних напругах від 15 МПа та вище. В електротехніці застосовують тонкі плівки (10 - 200 мкм) та вироби (плати, каркаси котушок та інше).

Полііміди – нагрівостійкі органічні діелектрики, які можуть тривало використовуватись при температурах від -155 °С до +220 °С, а поліімідні плівки працюють і при температурі -190 °С. Поліаміди хімічно стійкі: не розчинюються в більшості органічних розчинників, не взаємодіють з мінеральними маслами, водою, розведеними кислотами. На їх основі виготовляють емаль-лаки для обмотувальних дротів, які можуть тривало працювати при температурах до +220 °С. З поліімідів одержують гнучкі напівпрозорі плівки (5 - 100 мкм та більше) для ізоляції обмотувальних дротів і

для пазової ізоляції в електромашинах нагрівостійкого виконання. На базі термопластичних поліімідів виготовляють різні пластмасові вироби електроізоляційного та конструкційного призначення пресуванням або виливанням. Особливість таких пластмас – легкість переробки завдяки великій текучості, мала об'ємна усадка та стабільність властивостей при переробці. Всі поліімідні пластмаси мають високу радіаційну стійкість.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- 1 Богородицкий Н.П., Пасынков В.В., Тареев Б.М. Электротехнические материалы. - 7-е изд., перераб. и доп. - Л.: Энергоатомиздат, 1985.
- 2 Дроздов Н.Г., Никулин Н.В. Электроматериаловедение: Учебник - М.: Профтехиздат, 1963.
- 3 Гончар В.С., Харламова Т.Е. Электроматериаловедение: Рабочая программа. - СПб.: СЗТУ, 2003.
- 4 Журавлева Л.В. Электроматериаловедение: Учеб. для начального профессионального образования. - М.: Изд. центр «Академия»: ИРПО, 2000.
- 5 Конструкционные и электротехнические материалы: Учебник / Под ред. В.А. Филикова. – М.: Высшая школа, 1990.
- 6 Электроматериаловедение: Учебник / Под ред.

Н.Г. Дроздова и Н.В. Никулина. – М.: Высшая школа, 1973.

7 Никулин Н.В. Электроматериаловедение: - 3-е изд.,
перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1989.