

Міністерство освіти і науки України
Чернігівський промислово економічний коледж
Київського національного університету технологій та дизайну

ЗАТВЕРДЖУЮ

Заступник директора з НР

_____ С.В. Бондаренко

_____ 20__ р.

**Методичне забезпечення
лекційних занять з дисципліни
Конструкційні та електротехнічні матеріали
для студентів II-III курсу
спеціальності 5.05070104 «Монтаж і експлуатація
електроустаткування підприємств і цивільних споруд»**

Уклав

О. І. Богдан

Розглянуто на засіданні
циклової комісії
спеціальних електротехнічних дисциплін
Протокол №__ від _____ 20__ року

Голова циклової комісії

В.В. Олійник

Лекція № 1

Тема: Вступ. Загальні відомості про електротехнічні та конструкційні матеріали.

Мета:

- 1 Ознайомити з метою та завданням даної дисципліни.
- 2 Зрозуміти призначення та класифікацію електротехнічних та конструкційних матеріалів в енергетиці.
- 3 Опанувати особливості будови твердих тіл та природу електропровідності твердих тіл.

Методи: словесний

План:

- 1 Призначення і класифікацію електротехнічних та конструкційних матеріалів в електротехніці.
- 2 Особливості будови твердих тіл. Природа електропровідності твердих тіл.

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН:
конспект

Література:

- 1 Конструкционные и электротехнические материалы: Учеб. для учащихся электротехн. спец. /В.Н. Бородулин, А.С. Воробьев, С.Я. Попов и др.; Под ред. В.А. Филикова. – М.: Высш. шк., 1990
- 2 Василенко І.І., Широков В.В., Василенко Ю.І. Конструкційні та електротехнічні матеріали: Навч. Посібник. – Львів: «Магнолія», 2007. – 242 с.

Вивчення дисципліни "Електротехнічні та конструкційні матеріали" сприяє формуванню спеціаліста, здатного виконувати роботу дослідника, конструктора, технолога та експлуатаційника електротехнічного, електромеханічного та електроенергетичного обладнання, забезпечуючи його високу якість та надійність в експлуатації, ефективне використання та кваліфіковане технічне обслуговування.

Вона забезпечує сприйняття таких подальших дисциплін як «Електроніки, мікроелектроніки та схемотехніки», «Мікропроцесорної техніки», «Монтажу та налагодженню технічних засобів автоматизації». Подальший розвиток електротехніки та енергетики в даний час вимагає глибоких знань властивостей електротехнічних матеріалів. Тому на ряду із загальним розвитком електротехніки проводиться розробка нових матеріалів, а також вдосконалення вже відомих.

В даний час нові електротехнічні матеріали з'являються в результаті попереднього глибокого вивчення фізичних і хімічних характеристик і властивостей вихідних матеріалів, які могли б бути використані у створенні якісних електротехнічних матеріалів. Для розуміння цих властивостей необхідно досліджувати структуру і хімічний склад матеріалів.

У зв'язку з цим при вивченні дисципліни електротехнічні матеріали розглядаються:

- 1) теоретичні положення, на основі яких вивчаються, і випробовуються матеріали, що застосовуються в електрообладнанні, в енергосистемах, в електронній техніці;
- 2) класифікація електротехнічних матеріалів за їх призначенням, складу і властивостями;
- 3) основні характеристики, за якими оцінюється придатність матеріалів для їх використання в різних галузях електротехніки;
- 4) основні особливості технології виробництва електротехнічних матеріалів;
- 5) найбільш характерні технічні та економічні обґрунтовані області застосування електротехнічних матеріалів в практиці.

Основними чинниками, що впливають на зміну фізичних властивостей електротехнічних матеріалів, є: електричне і магнітне поле, нагрівання, зміна тиску, частоти поля та ін.

Загальні відомості про будову речовини

Основними елементарними частинками, з яких складаються всі речовини, є протони, нейтрони і електрони.

Протони і нейтрони утворюють атомні ядра, електрони заповнюють оболонки атома, компенсуючи позитивний заряд ядра. Будова ядер атомів, періодичність заповнення оболонок електронами можна знаходити за допомогою таблиці Д. І. Менделєєва.

Гази, рідкі та тверді тіла можуть складатися з атомів, молекул або іонів. Атом складається з ядра та електронної оболонки. Розміри атома - порядку 0,1 нм.

Іон - атоми або групи атомів, які втратили або приєднали електрони. Таким чином, іон несе позитивний або негативний заряд.

Розмір позитивно зарядженого іона менше розміру негативно зарядженого іона відповідного елемента.

При зближенні атомів на відстань близько декількох ангстремів між ними виявляються сили взаємодії, які можуть бути, залежно від характеру руху електронів в зближуваних атомах, силами відштовхування або притягання. В останньому випадку атоми можуть з'єднатися, в результаті чого утворюються відносно стійкі з'єднання.

У всіх з'єднаннях зв'язок атомів обумовлена силами електростатичної взаємодії електронів зовнішніх (валентних) оболонок і ядер.

Електрони внутрішніх оболонок міцно пов'язані з атомним ядром, і не беруть участь в утворенні хімічних зв'язків.

Залежно від будови зовнішніх електронних оболонок атомів, що вступили в з'єднання, можуть утворюватися різні види зв'язків.

Розрізняють такі види зв'язків:

1. Ковалентний зв'язок;
2. Іонна зв'язок;
3. Металева зв'язок;
4. Молекулярна зв'язок.

1 Ковалентних зв'язок називається зв'язок атомів один з одним, що досягається за рахунок електронів зовнішніх оболонок, які стають спільними.

Ковалентний зв'язок спостерігається в молекулах, утворених з металлоїдних атомів (наприклад, в кристалах алмазу, германію, кремнію та ін.). Між атомами, що утворюють решітку кристала (наприклад, в кристалах алмазу, германію, кремнію та ін.)

Молекули з ковалентним зв'язком можуть бути неполярними (нейтральними) або полярними (дипольними). Все залежить від їх будови.

Молекули, в яких центри позитивних і негативних зарядів збігаються, називаються неполярними або нейтральними (симетричну будову).

Молекули, в яких центри позитивних і негативних зарядів не збігаються і знаходяться на деякій відстані один від одного, називаються полярними або дипольними.

Полярність молекули характеризується величиною дипольного моменту μ , який визначається добутком заряду на відстань між центрами позитивних і негативних зарядів.

$$\mu = q L$$

2 Іонний зв'язок - вид зв'язку, який здійснюється силами електростатичного притягання між позитивними і негативними іонами. цей вид зв'язку

спостерігається в ряді рідин (вода, розчини лугів, кислот) і у багатьох твердих неорганічних речовин (галоїдні солі лужних металів).

У твердих речовинах з іонним зв'язком може спостерігатися щільна і нещільна упаковка іонів.

Рідини з іонним характером зв'язку є провідниками другого роду (електролітами), тверді - іонні сполуки - діелектриками або напівпровідниками. Молекули з іонним зв'язком - полярні.

3 Металеваий зв'язок - призводить до утворення кристалічних тіл (металів). Кристалічна структура металів настільки щільна, що внутрішні заповнені електронами оболонки сусідніх атомів стикаються, а зовнішні (валентні) електрони притягуються усіма оточуючими позитивно зарядженими ядрами, т. Е. Являються колективними. Тому метали розглядаються як системи, побудовані з позитивно заряджених атомних кістяків, що знаходяться в середовищі вільних колективізованих електронів. У зв'язку з цим метали мають вельми високу електропровідність навіть у слабких електричних полях.

4 Молекулярна зв'язок. Цей вид зв'язку спостерігається у деяких речовин, між молекулами з ковалентним характером внутримолекулярної взаємодії та можливий тільки при узгодженому русі валентних електронів в сусідніх молекулах. Характерною особливістю цього виду зв'язку є те, що в будь-який момент часу зовнішні електрони повинні бути максимально віддалені один від одного і максимально наближені до позитивних зарядів (ядрам). Тоді сили тяжіння валентних електронів ядрами сусідніх молекул виявляються сильнішими сил взаємного відштовхування електронів зовнішніх оболонок. Речовини з молекулярною характером зв'язку володіють найнижчими температурами плавлення.

Матеріал - це об'єкт, що володіє певним складом, структурою та властивостями, призначений для виконання певних функцій. Матеріали можуть мати різне агрегатний стан: тверде, рідке, газоподібне або полум'яне. Функції, які виконують матеріали, різноманітні: забезпечення протікання струму (в провідникових матеріалах), збереження певної форми при механічних навантаженнях (в конструкційних матеріалах), забезпечення ізоляції (в діелектричних матеріалах), перетворення електричної енергії в теплову (в резистивних матеріалах).

Зазвичай матеріал виконує кілька функцій. Наприклад, діелектрик обов'язково відчуває якісь механічні навантаження, тобто є конструкційним матеріалом.

Матеріалознавство - наука, що займається вивченням складу, структури, властивостей матеріалів, поведінкою матеріалів при різних впливах: теплових, електричних, магнітних і т. д., а також при поєднанні цих впливів.

Електротехнічне матеріалознавство - це розділ матеріалознавства, який займається матеріалами для електротехніки та енергетики, т. е. матеріалами, що володіють специфічними властивостями, необхідними для конструювання, виробництва та експлуатації електротехнічного обладнання.

Матеріали відіграють визначальну роль в енергетиці. Наприклад, ізолятори високовольтних ліній. Історично першими придумали ізолятори з фарфору. Технологія їх виготовлення достатньо складна, капризна. Ізолятори виходять досить громіздкими і важкими. Навчилися працювати зі склом - з'явилися скляні ізолятори. Вони легше, дешевше, їх діагностика дещо простіше. І, нарешті, останні винаходи - це ізолятори з кремнійорганічної гуми. Перші ізолятори з гуми були не дуже вдалі. На їх поверхні з плином часу утворювалися мікротріщини, в яких набивалися бруд, утворювалися провідні треки, потім ізолятори пробивалися. Докладне вивчення поведінки ізоляторів в електричному полі проводів високовольтних ліній (ПЛ) в умовах зовнішніх атмосферних впливів дозволило підібрати ряд добавок, які поліпшили атмосферостійкість, стійкість по відношенню до забруднень і дії електричних розрядів. В результаті зараз створено цілий клас легких, міцних ізоляторів на різні рівні впливає напруги.

Для порівняння, вага підвісних ізоляторів для ПЛ 1150 кВ порівняємо з вагою проводів в прольоті між опорами і становить кілька тонн. Це змушує ставити додаткові паралельні гірлянди ізоляторів, що збільшує навантаження на опору. Потрібно використовувати міцніші, а значить більш масивні опори.

Це збільшує матеріалоємність, велику вагу опор значно піднімає витрати на монтаж. Для довідки, вартість монтажу становить до 70% вартості будівництва лінії електропередач. На прикладі видно, як один елемент конструкції впливає на конструкцію в цілому.

Таким чином, електротехнічні матеріали (ЕТМ) є одним з визначальних чинників техніко-економічних показників будь-якої системи електропостачання.

Основні матеріали, які використовуються в енергетиці, можна розділити на декілька класів - це провідникові матеріали, магнітні матеріали та діелектричні матеріали. спільним для них є те, що вони експлуатуються в умовах дії напруги, а значить і електричного поля.

Провідниковими називають матеріали, основним електричним властивістю яких є сильно виражена, порівняно з іншими електротехнічними матеріалами, електропровідність. Їх застосування в техніці зумовлене в основному цією властивістю, визначальним високу питому електричну провідність при нормальній температурі.

Напівпровідниковими називають матеріали, які є за своєю питомою провідністю проміжними між провідниковими і діелектричними матеріалами і відмітним властивістю яких є виключно сильна залежність питомої провідності від концентрації та виду домішок або інших дефектів, а також у більшості випадків від зовнішніх енергетичних впливів (температури, освітленості і т. п.).

Діелектричними називають матеріали, основним електричним властивістю яких є здатність до поляризації і в яких можливе існування електростатичного поля. Реальний (технічний) діелектрик тим більше наближається до ідеального, чим менше його питома провідність і чим слабше у нього виражені уповільнені механізми поляризації, пов'язані з розсіюванням електричної енергії та виділенням тепла.

Магнітними називають матеріали, призначені для роботи в магнітному полі при безпосередній взаємодії з цим полем.

Композиційні матеріали - це матеріали, що складаються з декількох компонент, що виконують різні функції, причому між компонентами існують межі розділу.

2 Особливості будови твердих тіл. Природа електропровідності твердих тіл

Більшість матеріалів являють собою тверді тіла.

Твердими називають тіла, що відрізняються сталістю форми та об'єму. Тверді тіла поділяються на кристалічні і аморфні.

Кристалічні - тверді тіла, що мають правильне періодичне розташування складових їх частинок – кристалічну решітку (рис. 1).

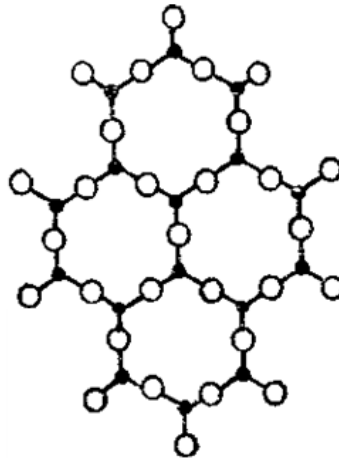


Рис. 1. Схематичне двомірне зображення решітки кристала

Монокристали мають форму правильних багатогранників, обумовлену їх хімічним складом. Більшість твердих тіл полікристалів - мають мілкокристалічну структуру, тобто складаються з великого числа зрощених дрібних, хаотично розташованих кристалів (кристалічних зерен, кристалітів).

Кристали мають симетрію, яка полягає в тому, що будь-якому заданому напрямку в кристалі відповідають одне або кілька напрямків, які стосовно розглянутих властивостей є абсолютно однаковими.

У металах вузли кристалічної решітки зайняті позитивними іонами, утвореними при відокремленні від атомів валентних електронів.

В іонних кристалах у вузлах кристалічної решітки правильно чергуються позитивні і негативні іони.

У валентних кристалах вузли кристалічної решітки зайняті нейтральними атомами.

Ідеальних кристалічних решіток не існує. Всі вони володіють порушенням періодичності структури - дефектами .

Дефекти кристалічної решітки призводять до розсіювання електронних хвиль де Бройля, в результаті чого з'являється опір електричному струму.

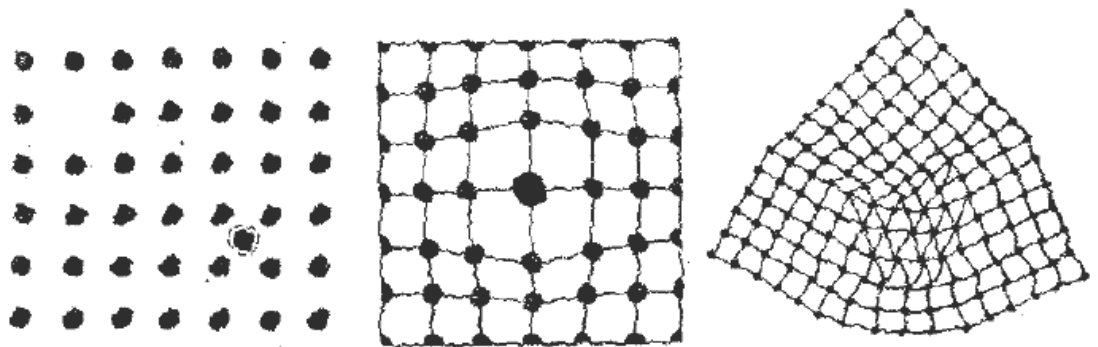


Рис. 2. Дефекти кристалічної решітки

Різниця між провідниками, напівпровідниками і діелектриками найбільш наочно можна показати за допомогою енергетичних діаграм зонної теорії твердих тіл.

Дослідження спектрів випромінювання різних речовин в газоподібному стані, коли атоми розташовані відносно один одного на великих відстанях, показує, що для атомів кожної речовини характерні цілком певні спектральні лінії. Це говорить про наявність певних енергетичних станів (рівнів) для різних атомів.

Енергетичні діаграми діелектриків, напівпровідників і провідників мають різну ширину забороненої зони (рис. 3). Зони енергії в кристалах підрозділяються на валентні зони та зони провідності.

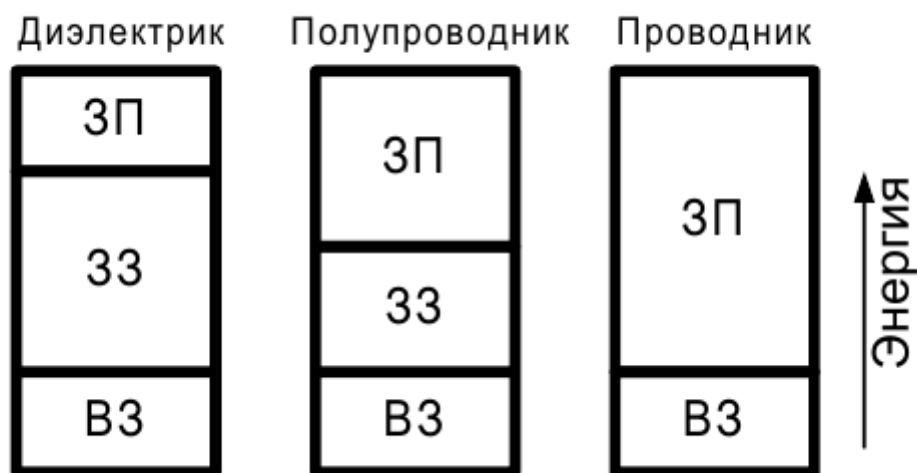


Рис. 3. Енергетичні діаграми діелектрика:

ЗП - зона провідності; ЗЗ - заборонена зона; ВЗ - валентна зона

Валентні зони - це повністю зайняті електронами зони, утворені з енергетичних рівнів електронів внутрішніх оболонок вільних атомів.

Зони провідності - це частково або цілком незаповнені зони, рівні енергії в яких відповідають енергіям зовнішніх електронів ізольованих атомів або іонів.

Перехід електрона з однієї зони в іншу здійснюється шляхом поглинання або віддачі енергії, достатньої для переходу електрона через заборонену зону.

У металах навіть слабке електричне поле здатне повідомити електронам достатній імпульс, щоб викликати їх перехід в зону провідності. З цієї причини метали є хорошими провідниками електричного струму.

У діелектриків заборонена зона настільки велика, що електронна електропровідність не грає в них визначальної ролі. Тому діелектрики володіють дуже високим електричним опором.

Лекція № 2

Тема: Будова, властивості металів і сплавів

Мета:

- 1 Ознайомити з будовою металів
- 2 Зрозуміти властивості металів і сплавів

Методи: словесний, наочний

План:

- 1 Будова і кристалізація металів.
- 2 Властивості металів.

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН:
конспект, каталог

Література:

1 Конструкционные и электротехнические материалы: Учеб. для учащихся электротехн. спец. /В.Н. Бородулин, А.С. Воробьев, С.Я. Попов и др.; Под ред. В.А. Филикова. – М.: Высш. шк., 1990

2 Василенко І.І., Широков В.В., Василенко Ю.І. Конструкційні та електротехнічні матеріали: Навч. Посібник. – Львів: «Магнолія», 2007. – 242 с.

Будова і кристалізація металів

Метали - кристалічні тіла, атоми яких розташовуються в геометрично правильному порядку, утворюючи кристали, на відміну від аморфних тіл (наприклад, смола), атоми яких знаходяться в безладному стані.

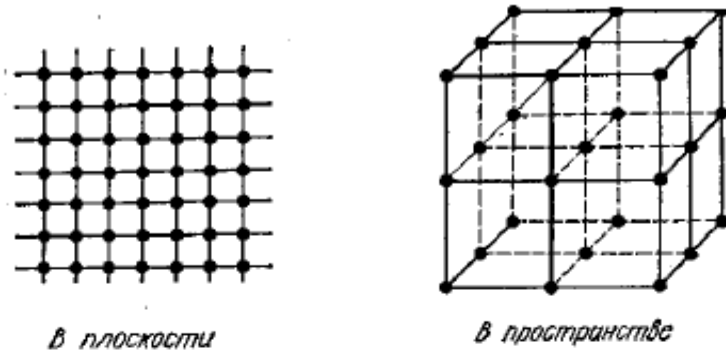
Розташовуючись в металах в строгому порядку, атоми в площині утворюють атомну сітку, а в просторі - атомно-кристалічну решітку (рис. 1). Лінії на цих схемах є умовними; в дійсності ніяких ліній не існує, а атоми коливаються біля точок рівноваги, т. е. вузлів решітки з великою частотою. Типи кристалічних решіток у різних металів різні. Найчастіше зустрічаються

решітки: кубічна об'ємно-центрована, кубічна гранецентрована і гексагональна щільноупакована.

Елементарні комірки таких кристалічних решіток наведено на рис. 1. В осередку решітки кубічної об'ємноцентрованої атоми розташовані у вершинах куба і в центрі куба; такі ґратки мають хром, ванадій, вольфрам, молібден та ін. В осередку кубічної гранецентрованої решітки атоми розташовані у вершинах і в центрі кожної грані куба; такі ґратки мають алюміній, нікель, мідь, свинець та ін. В осередку гексагональної решітки атоми розташовані у вершинах шестикутних підстав призми, в центрі цих підстав і всередині призми; гексагональні ґрати мають магній, титан, цинк та ін. В реальному металі кристалічна решітка складається з величезної кількості комірок.

Розміри кристалічної решітки характеризуються її параметрами, вимірами в ангстремах - A ($1A = 10^{-8}$ см або $1A = 0,1$ Нм). Параметр кубічної решітки характеризується довжиною ребра куба, позначається буквою a і знаходиться в межах $0,28-0,6$ Нм ($2,8 - 6A$). Для характеристики гексагональної решітки приймають два параметра - сторону шестикутника a й висоту призми c . Коли відношення $c / a = 1,633$, то атоми упаковані найбільш щільно, і тому така решітка називається гексагональною щільно упакованою.

Схема расположения атомов в металле



Кубические решетки металлов

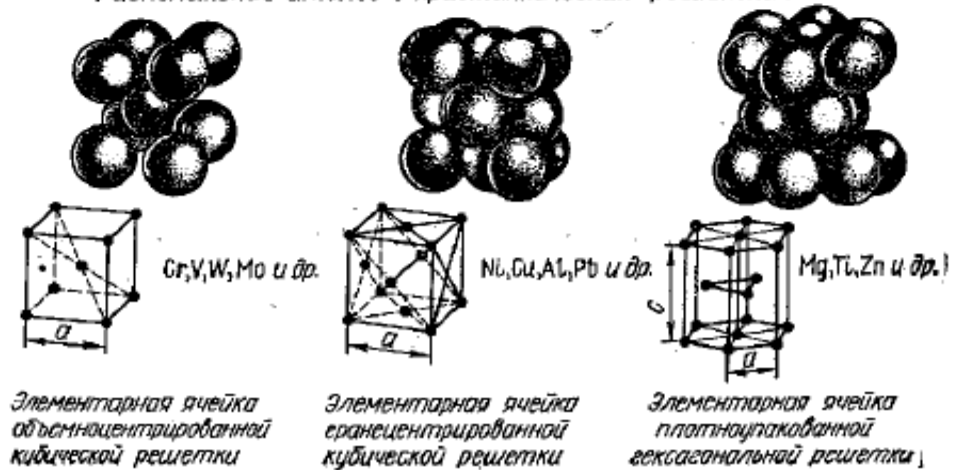
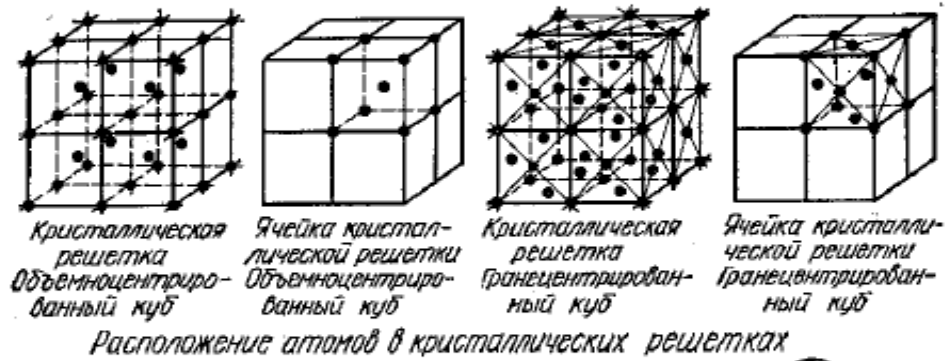


Рисунок 1 – Атомно-кристалічна будова металів

Реальна будова металевих кристалів

Необхідно відзначити, що такий порядок в розташуванні атомів (упаковка), як це показано при описі елементарних комірок кристалічної решітки, є не по всьому об'єму кристала (кристалічної решітки).

Насправді реальний кристал на відміну від ідеального має структурні недосконалості: точкові, лінійні і поверхневі.

Точкові недосконалості. Як зазначалося, атоми знаходяться в коливальному русі біля вузлів решітки. Чим вища температура, тим більше

амплітуда. Хоча більшість атомів металу в даній кристалічній решітці володіє однаковою (середньою енергією) і відхиляється при даній температурі з однаковою амплітудою, окремі атоми мають енергію, що значно перевищує середню енергію. Такі атоми мають не тільки амплітуду коливань більшу, ніж середня, але можуть переміщатися з одного місця в інше. Найбільш легко переміщуються атоми поверхневого шару, виходячи на поверхню (наприклад, атом 1, рис. 2, а). Місце, де знаходився такий атом (вільний вузол), називається вакансією, яка не залишається вільною. Через деякий час до неї переміщається один із сусідніх атомів з більш глибокого шару (наприклад, атом 2, рис. 2, б), а покинутий їм вузол також стає вакансією; потім переміщається, наприклад, атом 5 (рис. 2, в) і т. д. Таким чином, вакансія переміщається в глиб кристала. Як видно з рис. 2, г, вакансія спотворює кристалічну решітку.

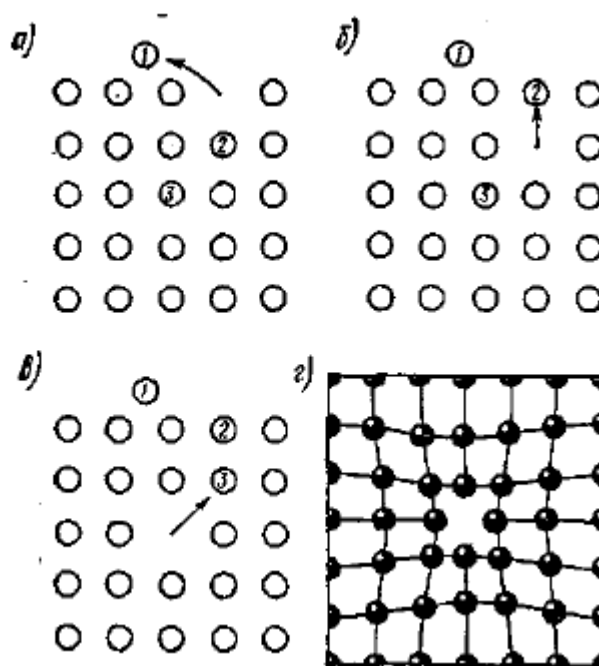


Рисунок 2 – Вакансії в кристалічній решітці

З підвищенням температури збільшується кількість вакансій і вони частіше переходять з одного вузла в інший. Вакансії відіграють визначальну роль в дифузійних процесах, що протікають в металах.

Лінійні недосконалості. Ці недосконалості називаються дислокаціями (від англійського слова dislocation, що в перекладі означає зміщення, зсув). Існують різні види дислокацій, одним з яких є крайова (лінійна) дислокація, сутність якої пояснимо таким прикладом.

Характерним для дислокацій є їх легка рухливість. Це пояснюється тим, що кристалічна решітка в зоні дислокацій пружно спотворена, атоми в цій зоні зміщені щодо їх рівноважного положення в кристалічній решітці і тому атоми, що утворюють дислокацію, прагнуть переміститися в рівноважний стан.

Освіта дислокацій може відбуватися в процесі кристалізації, при пластичної деформації, термічної обробки та інших процесах. Дислокації надають досить істотний вплив на всі процеси, що протікають в металах Вони дуже сильно впливають на механічні властивості, різко знижуючи міцність металів.

Поверхневі недосконалості. Цими недосконалостями є границі зерен і блоків металу. На кордоні між зернами атоми мають менш правильне розташування, ніж в обсязі зерна. Зерна розорієнтованих, повернути один щодо одного на кілька градусів. За кордонів зерен скупчуються дислокації і вакансії. Зерно складається з великої кількості розорієнтованих на дуже невеликі кути (десяті частки градусів) областей, званих субзернами або блоками (рис. 3), межі яких представляють собою дислокації, що розділяють зерно на блоки.

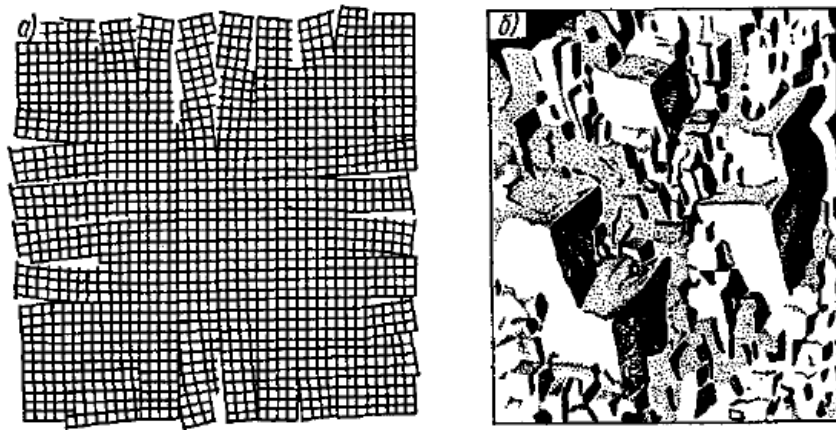


Рисунок 3 – Блочна структура кристала

а – схема; б- в вольфрамі

Метали характеризуються фізичними, хімічними, механічними і технологічними властивостями.

До *фізичних властивостей* належать густина, температура плавлення, теплопровідність, електропровідність, теплове розширення.

Найменшу питому вагу мають сплави, виготовлені на основі магнію, алюмінію і титану.

Температура плавлення має важливе значення для сплавів, з яких виготовляють деталі, що працюють в умовах підвищених і високих температур (підшипникові сплави).

Теплопровідність має також важливе значення для деталей теплотехнічної апаратури, радіаторів, блоків і головок циліндрів, поршнів тощо.

Щільністю називають кількість певної речовини (її масу), що міститься в одиниці об'єму. Числове значення густини деяких металів подано в табл. 1.1

Зауважимо, що щільність (і питома вага) того самого металу може бути різною залежно від способу його одержання і внутрішньої будови.

Температурою плавлення називають температуру, за якої метал цілком переходить у рідкий стан. Температура плавлення металів має велике значення у ливарній справі, обробці металів тиском і в металургії.

Теплопровідністю називають здатність металів з різною швидкістю проводити теплоту під час нагрівання й охолодження.

Електропровідністю називають здатність металів проводити електричний струм. Цю властивість металів використовують при передаванні електроенергії на значні відстані.

Теплове розширення — це властивість металів розширюватися під час нагрівання. Під час охолодження відбувається зворотнє явище.

Хімічні властивості - це здатність металів і сплавів бути стійкими до окислення і розчинення в різних агресивних середовищах.

Під впливом кисню повітря і вологи метали зазнають корозії: чавун і сталь іржавіють; бронза вкривається зеленим шаром оксиду міді; при нагріванні в печах верхній шар сталі окислюється і перетворюється на окалину.

Метали і сплави, що не окислюються в умовах високих температур, називають *жаростійкими*. Такі сплави застосовують для виготовлення колекторів, клапанів двигунів внутрішнього згорання, лопаток газових турбін тощо. Жаростійкі (*окалиностійкі*) матеріали стійкі до корозії в газових середовищах за температури понад 550 °С, працюють у ненавантаженому або навантаженому стані.

Сплави, які працюють у навантаженому стані за високих температур протягом певного часу і мають при цьому достатню жаростійкість, називають *жароміцними* матеріалами.

Щоб забезпечити високу стійкість металів у повітрі та в агресивних середовищах, до сплавів додають титан, нікель та ін.

Урахування особливостей хімічних властивостей металів дає змогу правильно вибирати метали для виробів, які працюють у різних умовах, наприклад в агресивному середовищі (кислоти, луги тощо), в середовищах з водою і паром, високої температури.

До *механічних властивостей* належать: міцність, пружність, пластичність, в'язкість, твердість, зносостійкість, стомленість та інші.

Міцність — це здатність металу чинити опір дії зовнішніх руйнівних сил. Залежно від характеру цих сил розрізняють міцність при розтягуванні,

стисненні, згинанні, скручуванні.

Пружність — властивість металу відновлювати попередню форму і розміри після дії зовнішньої сили, яка спричинила деформацію.

Пластичність — це здатність металу змінювати під дією зовнішніх сил свою форму і розміри, не руйнуючись, зберігати набуту форму після припинення дії сили.

В'язкість — це здатність металу чинити опір динамічному (ударному) навантаженню.

Твердість — це здатність металу чинити опір проникненню в нього іншого, твердішого тіла.

Зносостійкість — це опір металу спрацюванню, тобто зменшенню розмірів під час тертя.

Утомленість — це руйнування металу під діями повторних або знакозмінних напружень (наприклад, відломлення дроту).

Для визначення механічних властивостей із матеріалу виготовляють спеціальні стандартні зразки встановленої форми і розмірів, які випробовують на спеціальних машинах. Випробовування матеріалів бувають **статичні та динамічні**.

Технологічні властивості металів і сплавів характеризують їхню здатність піддаватися різним способам гарячої і холодної обробки: ковкості, литтю, зварюванню, різанню та ін.

Ковкість — здатність металів без руйнування піддаватись обробці тиском (кування, штампування, прокатування та ін.).

Лиття — здатність металів забезпечувати рідкотекучість при заповненні форми для виготовлення виробу ливарним способом.

Зварювання — здатність металу давати міцні з'єднання місцевим нагріванням їх до розплавленого стану з наступним охолодженням.

Різання — здатність металів піддаватись обробці різальними інструментами (точіння, фрезерування, свердління та ін.).

Щоб визначити придатність металів для різних видів обробки, застосовують різні проби. Найпоширенішими є проби на загин; подвійний замок (листовий метал); осадку (метали для заклепок); глибину витискання листів (листовий метал для штампування) та ін.

Основні відомості про сплави

Чисті метали в більшості випадків не забезпечують необхідного комплексу механічних і технологічних властивостей і тому рідко застосовуються для виготовлення виробів. Деякий застосування має, наприклад, мідь, головним чином для виготовлення провідників електрики. У більшості випадків у техніці застосовують сплави.

Металевим сплавом називається речовина, що складається з двох або більше елементів (металів або металів з металоїдами), що володіє металевими властивостями. Звичайним способом приготування сплавів є сплав, але іноді застосовують спікання, електроліз або сублимацію.

У більшості випадків входять до сплав елементи в рідкому стані повністю розчинні один в одному, т. ін. Є рідкий розчин, у якому атоми різних елементів більш-менш рівномірно перемішані один з одним (рис. 32, а). У твердому вигляді сплави здатні утворювати тверді розчини, хімічні сполуки, механічні суміші (рис. 4, б, в, г).

Твердий розчин. У багатьох сплавах при переході в твердий стан (при кристалізації) зберігається однорідність розподілу атомів різних елементів і, отже, зберігається і розчинність. Утворився в цьому випадку кристал (зерно) називається твердим розчином.

Мікроструктура твердого розчину в умовах рівноваги являє собою зовсім однорідні й однакові за складом зерна і схожа на структуру чистого металу (рис. 4, б). Твердий розчин, як і чистий метал, має одну кристалічну решітку. Різниця полягає лише в тому, що в кристалічній решітці чистого металу всі вузли зайняті атомами одного елемента, а в твердому розчині - атомами різних елементів, що утворюють цей твердий розчин. Розчинність в твердому стані може бути необмеженою і обмеженою.

Розчинність твердого розчину, отриманого при будь-якому кількісному співвідношенні елементів, називається необмеженою. Розчинність твердого розчину, отриманого при певному кількісному співвідношенні елементів, називається обмеженою.

По розташуванню атомів у кристалічній решітці розрізняють тверді розчини заміщення і тверді розчини впровадження.

У твердому розчині заміщення атоми розчиненого елемента займають вузли атомів елемента розчинника, т. Е. Перебувають у вузлах загальної кристалічної решітки (рис. 4, а).

У твердому розчині впровадження атоми розчиненого елемента розташовуються усередині кристалічної решітки елемента розчинника між атомами металу-розчинника (рис. 4, б).

При утворенні твердих розчинів властивості сплавів змінюються плавно і відрізняються від властивостей елементів, з яких вони складаються.

Хімічна сполука. Особливий характер металевої зв'язку в сплавах призводить до утворення особливого виду хімічних сполук. На відміну від звичайних хімічних сполук багато металеві з'єднання мають пемений склад, який може змінюватися в широких межах. Характерною особливістю металевого хімічної сполуки є утворення кристалічної решітки (див. рисунок 4, в), відмінної від решіток утворюють елементів, і суттєва зміна всіх властивостей. Іноді в металевих сплавах утворюються також хімічні сполуки з нормальною валентністю, наприклад оксиди, сульфіді, а також сполуки металів з різко відмінним електронною будовою атомів.

Механічна суміш. Якщо елементи, що входять до складу сплаву не розчиняються один в одному в твердому стані і не вступають в хімічну реакцію з утворенням сполуки, то при цих умовах з атомів кожного елемента утворюється окрема кристалічна решітка, і кристали (зерна) елементів, що входять в сплав, утворюють механічну суміш (див. рис. 4, г). При утворенні механічної суміші, коли кожен елемент кристалізується самостійно,

властивості сплаву виходять середніми між властивостями елементів, які його утворюють.

Механічні суміші утворюються також у випадках, коли елементи мають обмеженою розчинністю, а також коли утворюють хімічну сполуку. Якщо в сплаві кількість елементів перевищує їх граничну розчинність, то виникає механічна суміш двох насичених твердих розчинів. При наявності в сплаві хімічної сполуки утворюється механічна суміш із зерен твердого розчину і хімічної сполуки і т. д.

При вивченні процесів, що відбуваються в металах і сплавах їх перетворення, і описі їх будови в металознавстві користуються такими поняттями: система, фаза, компонент.

Системою називається сукупність фаз, що знаходяться в рівновазі при певних зовнішніх умовах (температурі, тиску) Система може бути простою, якщо вона складається з одного елемента, і складною, якщо вона складається з кількох елементів.

Фазою називається однорідна за хімічним складом і кристалічному будовою частина системи, відокремлена від інших частин системи поверхнею розділу. Фазами можуть бути метали і неметали, рідкі та тверді розчини, хімічні сполуки. Однофазної системою є, наприклад, однорідна рідина, двофазної - механічна суміш кристалів двох металів. Компонентами називають речовини, що утворюють систему. Компонентами можуть бути елементи (метали і неметали) або стійкі хімічні сполуки.

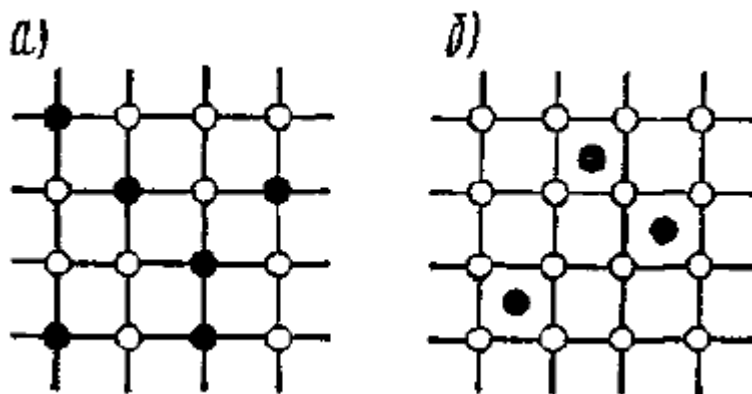


Рисунок 4 – Розташування атомів в твердих розчинах

а – твердий розчин заміщення; б- твердий розчин втручання.

Лекція №3

Тема: Сплави заліза з вуглецем

Мета:

- 1 Ознайомити з характеристикою сплавів заліза
- 2 Опанувати діаграму стану Fe-C
- 2 Зрозуміти структурні складові сплавів заліза з вуглецем

Методи: словесний, наочний

План:

- 1 Характеристика сплаву залізо-вуглець.
- 2 Діаграма станів Fe-C.
- 3 Основні структурні складові сплаву залізо-вуглець.

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН:
конспект, діаграма станів Fe-C.

Література:

- 1 Конструкционные и электротехнические материалы: Учеб. для учащихся электротехн. спец. /В.Н. Бородулин, А.С. Воробьев, С.Я. Попов и др.; Под ред. В.А. Филикова. – М.: Высш. шк., 1990
- 2 Василенко І.І., Широков В.В., Василенко Ю.І. Конструкційні та електротехнічні матеріали: Навч. Посібник. – Львів: «Магнолія», 2007. – 242 с.

Сплави на основі заліза і особливо залізовуглецевих сплави сталі і чавуну - продовжують залишатися найважливішими матеріалами. Для правильного розуміння природи властивостей різноманітних марок сучасних сталей і чавунів, включаючи і спеціальні так звані леговані сталі, необхідно отримати гарне уявлення про діаграмі залізо-вуглець, розібратися у

відбитому на ній структурно-фазовому складі і відкритих I К. Черновим критичних температурних точках .

Діаграма станів залізо-вуглець

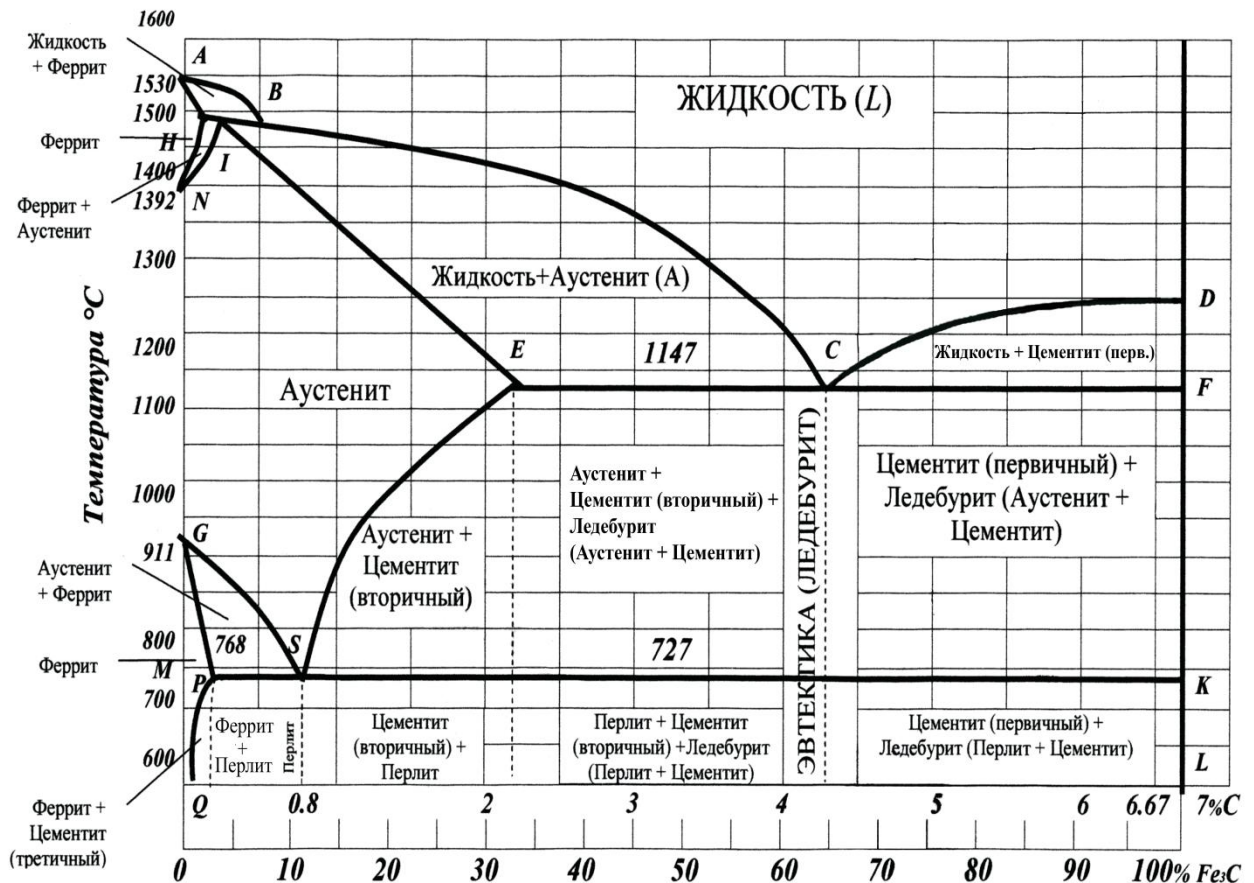


Рисунок 1 – Діаграма станів Fe-C

Залежно від вмісту вуглецю, температури нагрівання і швидкості охолодження в залізовуглецевих сплавах утворюються шість структурних складових: ферит, перліт, аустеніт, ледебурит, цементит і графіт.

Ферит - твердий розчин вуглецю в α - залізі з граничною концентрацією 0,02 % за температури 727 °C і 0,006 % вуглецю за температури 20 °C.

Перліт - евтектоїдна суміш зерен фериту і цементиту, відповідає повному розпаду твердого розчину аустеніту. При повільному охолодженні вміст вуглецю становить 0,8 %.

Аустеніт — твердий розчин вуглецю в γ - залізі (гранецентрованою кубічною решіткою). Найбільший вміст вуглецю в аустеніті за температури 1147 °C становить 2,14 %. Зі зниженням температури до 727 C вміст вуглецю зменшується до 0,8 %.

Ледебурит - евтектична суміш перліту, вторинного цементиту і первинного цементиту з вмістом вуглецю 4,3 %.

Цементит - хімічна сполука заліза з вуглецем (Без С), вміст вуглецю - 6,67 %. **Графіт** - кристалічна видозмінна вільного вуглецю, а в чавунах і сталях після відпалювання.

Залізо і вуглець при визначених концентраціях і температурах здатні створювати механічні суміші, хімічні з'єднання і тверді розчини, тому діаграма залізовуглецевих сплавів має складний характер. **Діаграма стану** залізо цементит будується по осі абсцис відкладанням вмісту вуглецю у сплаві (у відсотках). Сплави з вмістом вуглецю, більшим за 6,67 %, на діаграмі не позначаються, бо вони не мають практичного значення. По осі ординат відкладаються температури залізовуглецевих сплавів, за яких відбуваються внутрішні перетворення. Найвищою температурою на правій ординаті є температура плавлення цементиту, а на лівій ординаті - температура плавлення чистого заліза (1539 °С). За характером перетворень сплавів за змінами **температури** всю діаграму можна розбити на дві частини: верхню, яка охоплює первинну кристалізацію сплавів, **від лінії ліквідусу АСБ до лінії солідусу АЕСЕ**; нижню, яка охоплює вторинну кристалізацію сплавів і утворення визначених структур, від лінії солідусу до повного охолодження. Вище лінії ліквідусу АСБ сплави будь-якої концентрації знаходяться в рідкому стані. Лінія солідусу АЕСБ вказує температуру твердіння сплавів, на ній закінчуються процеси первинної кристалізації. Між лінією солідусу і лінією РБК проходять процеси вторинної кристалізації сплавів. Діаграма розділена на групи сталей і чавунів. Межею між ними є вміст вуглецю (2,14 %).

Практичне застосування діаграми залізовуглецевих сплавів має велике значення при визначенні температури плавлення, кристалізації чавунів і сталей та температурних інтервалів для гарячої обробки сталі тиском, а найголовніше - при визначенні температури нагрівання сталі за різних видів термічної обробки.

Лінія *АСО*, що є лінією *ліквідусу*, характеризує початок випадання кристалів з рідкого сплаву.

Лінія *АЕСЕ*, що є лінією *солідусу*, характеризує сплави в твердому стані.

Цементит, який виділяється по лінії *СО*, називають *первинним цементитом*. У точці С (після затвердіння) утворюється *евтектики* (грец. найменший), що складається з перліту, вторинного і первинного цементиту і має найменшу температуру плавлення. Цю евтектику називають *ледебуритом*, вміст вуглецю становить 4,3 %. Чавуни, які складаються з перліту, вторинного цементиту і ледебуриту називають *доевтектичними*, а чавуни, які складаються з ледебуриту і первинного цементиту - *заевтектичними*, відповідно, чавун з вмістом вуглецю 4,3 % *евтектичним*. Сплав, який містить 0,8 % вуглецю, називають *евтектоїдом* і складається він з механічної суміші фериту, перліту і вторинного цементиту. Відповідно, сталі, які містять менше 0,8 % вуглецю, називаються *доевтектоїдними* і складаються з фериту і перліту, а більше 0,8 % вуглецю - *заевтектоїдними* і складаються з перліту і вторинного цементиту. Фазові перетворення в залізовуглецевих сплавах при нагріванні і охолодженні відбуваються і при визначених температурах, які називаються *критичними точками* їх прийнято позначати літерою А. При охолодженні до неї додається індекс г, а при нагріванні с. Порядок розташування точок позначають цифрами 1, 2, 3.

Лекція № 4

Тема: Електрична міцність діелектриків

Мета:

- 1 Ознайомити з загальними відомостями про пробій діелектрика
- 2 Дати характеристику поняттю електрична міцність діелектрика
- 3 Опанувати основні різновиди пробоїв діелектриків

Методи: словесний

План:

- 1 Загальні відомості про пробій діелектрика.
- 2 Електрична міцність діелектрика.
- 3 Різновиди пробоїв діелектрика.

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН:
конспект

Література:

- 1 Конструкционные и электротехнические материалы: Учеб. для учащихся электротехн. спец. /В.Н. Бородулин, А.С. Воробьев, С.Я. Попов и др.; Под ред. В.А. Филикова. – М.: Высш. шк., 1990
- 2 Василенко І.І., Широков В.В., Василенко Ю.І. Конструкційні та електротехнічні матеріали: Навч. Посібник. – Львів: «Магнолія», 2007. – 242 с.

При перевищенні прикладеної до діелектрика напруги вище деякого критичного значення ізоляційні властивості порушуються і відбувається **утворення провідного каналу**. При цьому струм витoku через діелектрик різко зростає, а опір відповідно зменшується. **Явище утворення в діелектрику провідного каналу під дією електричного поля називається пробоєм**. Залежність струму від прикладеної напруги показана на рис.4.1.

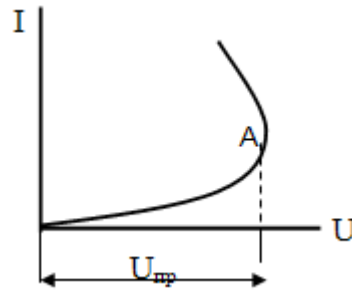


Рис.4.1 – Вольт-амперна характеристика електричної ізоляції

Точка А, для якої $dI/dU = \infty$, відповідає пробію. Значення напруги, при якому відбувається пробій, називається пробивною напругою $U_{пр}$, а відповідне значення напруженості електричного поля – електричною міцністю $E_{пр}$. Для найпростішого випадку однорідного електричного поля в діелектрику $E_{пр} = U_{пр}/h$, де h – товщина діелектрика. У більшості випадків при збільшенні h значення $E_{пр}$ зменшується нелінійно.

Електрична міцність високоякісних твердих діелектриків, як правило, вище рідких і тим більше газоподібних діелектриків. Однак газоподібні й рідкі діелектрики, на відміну від твердих, після пробію можуть через деякий проміжок часу відновити свої властивості при відсутності напруги.

Для надійної роботи будь-якого електротехнічного пристрою робоча напруга його ізоляції повинна бути значно менше пробивної напруги.

Фізична сутність розвитку пробію різна. Розрізняють наступні види про-бою: чисто електричний, електротепловий, електромеханічний, електрохімічний, іонізаційний.

Чисто електричний пробій являє собою безпосереднє руйнування структури діелектрика силами електричного поля, що впливають на електрично заряджені частки в діелектрику. Цей вид пробію розвивається практично миттєво. Якщо одразу після додавання напруги не відбувся електричний пробій, то теоретично цю напругу діелектрик повинен витримувати тривалий час. Це положення не відноситься до пробію діелектрика короткочасними імпульсами.

Електротепловий пробій пов'язаний з нагріванням діелектрика в електричному полі в результаті діелектричних втрат. Процес нагрівання діелектрика протікає, постійно підсилюючись. Це приводить до істотної зміни структури діелектрика (розплавлення, обвуглювання, розтріскування) і зменшенню його електричної міцності. При цьому достатньо, щоб розігрілося яке-небудь місце діелектрика, в якому тепловіддача гірше або підвищені питомі втрати, а середня температура всього діелектрика може практично не відрізнятися від первісної. При гарному тепловідводі може наступити рівновага між теплом, що виділяється в діелектрику, і його відводом у навколишнє середовище. У цьому разі діелектрик може тривалий час працювати під напругою. Якщо відведення тепла утруднене, то навіть незначна напруга, прикладена до діелектрика, через якийсь час може викликати пробій. При електротепловому пробію $U_{пр}$ залежить як від частоти прикладеної напруги, так і від температури навколишнього середовища, зменшуючись при їхньому збільшенні.

Електро механічний пробій виникає в результаті механічного руйнування діелектрика (утворення макроскопічних тріщин) силами електричного поля. У ряді випадків механічні руйнування в діелектриках виникають у результаті тис-ку електродів.

Електрохімічний пробій – це вид пробою, який повільно розвивається і пов'язаний з хімічною зміною матеріалу в електричному полі. Цей вид пробою спостерігається як при постійній, так і при змінній напрузі внаслідок розвитку в матеріалах електролітичних процесів.

Іонізаційний пробій пояснюється дією на діелектрик хімічно агресивних речовин, що утворюються в газових порах діелектрика при часткових розрядах, а також ерозією діелектрика на межі пор іонами газу.

Пробій газів

Повітря є найпоширенішим ізоляційним середовищем, що використовується в різних електротехнічних системах. Пробій повітря та

інших газів слід розглядати як наслідок розвитку процесів ударної іонізації і фотоіонізації.

При впливі поля позитивні й негативні іони й електрони, що містяться в газі та знаходяться в безладному тепловому русі, починають переміщуватися в напрямку поля. При цьому вони одержують додаткову енергію $W = q U_{\lambda}$, де q – заряд, U_{λ} - різниця потенціалів на довжині вільного пробігу.

При однорідному полі можна вважати, що $U_{\lambda} = E l$, де E - напруженість поля, l – довжина вільного пробігу зарядженої частки. Тоді

$$W = q E l . \quad (1.1)$$

Ця енергія віддається атомам чи молекулам газу в момент зіткнення. Якщо ця енергія досить велика, то при зіткненні відбувається збудження атомів або молекул і навіть іонізація молекул.

Енергію іонізації звичайно характеризують іонізаційним потенціалом $U_{и} = W_{и} / q$. Іонізаційний потенціал різних газів знаходиться в межах від 4 до 25В, що відповідає енергії іонізації від 4 до 25еВ.(табл.1.1)

Таблиця 1.1. Іонізаційний потенціал деяких газів

Газ	H ₂	N ₂	O ₂	Cl ₂	Xe	Kr	Ar	He
Потенціал іонізації, В	15,4	15,6	12,1	11,5	12,1	14	15,8	24,6

Швидкість і відповідно енергія електронів, яку вони здобувають при русі в електричному полі, визначаються в основному характером їхніх зіткнень з молекулами й атомами даного газу. Якщо електрони в газі при зіткненні з молекулами чи атомами випробують відносно велике число

непружних зіткнень, що характерно для складних молекул газу, то для досягнення ними енергії, необхідної для іонізації, потрібна велика напруженість електричного поля. Електрична міцність такого газу буде високою. Тому часто газу з малим іонізаційним потенціалом відповідає велика електрична міцність і навпаки. Так, одноатомні гази Ne, He, хоча і володіють високим іонізаційним потенціалом, але мають низьку електричну міцність. Зіткнення позитивних і негативних іонів з частками газу навіть при енергіях порядку тисячі електрон-вольт не приводить до іонізації газу. Пояснюється це тим, що:

- електрони мають у 100-1000 разів більшу рухливість, ніж іони;
- електрони мають на порядок більшу довжину вільного пробігу, ніж іони;
- енергія, передана іоном периферичному електрону нейтральної частки мала, тому умови для відщеплення електрона несприятливі.

У той же час, позитивні іони можуть вивільняти електрони з металу, бомбардуючи поверхню катода.

У ряді випадків електрон, розігнаний електричним полем, не іонізує молекулу, а переводить її в збуджений стан. При переході в урівноважений стан ця молекула віддає свою надлишкову енергію у вигляді випромінювання – випускає фотон. Якщо цей фотон буде поглинутий якою-небудь молекулою, то це може привести до її іонізації. Швидкість руху фотона більша, ніж швидкість руху електронної лавини. Вона складає $3 \cdot 10^8$ м/с. Фотони обганяють електронну лавину й іонізують частки газу попереду основної лавини. Звільнені при цьому електрони породжують нові лавини далеко перед першою. У наступних стадіях окремі лавини, наганяючи одна одну, утворюють суцільний канал іонізованого газу з підвищеною провідністю, який називається стрімером.

Одночасно з ростом стрімера, спрямованого від катода до анода, починається утворення зустрічного лавинного потоку позитивно

заряджених часток, спрямованого до катода. Утворюється розрядний канал у вигляді плазми з надлишковим позитивним зарядом.

Під впливом ударів позитивних іонів на катоді утворюється катодна пляма, що випромінює електрони.

У результаті зазначених процесів і виникає пробій газу. Чим більше прикладена напруга до газового проміжку, тим швидше відбувається пробій.

Якщо напруга подається у вигляді імпульсу, то чим менше тривалість імпульсу, тим більше пробивна напруга. Ця зміна пробивної напруги характеризується коефіцієнтом імпульсу $\beta = \frac{U_{примп}}{U_{пр}}$, де $U_{примп}$ - напруга пробою при імпульсній напрузі, $U_{пр}$ - напруга пробою при постійній напрузі чи змінній напрузі з частотою 50 Гц.

Регламентуються дві форми випробувальних імпульсів: 1) грозовий імпульс з тривалістю переднього фронту 1,2 мкс і тривалістю імпульсу 50 мкс;

2) комутаційний імпульс з тривалістю переднього фронту імпульсу 250 мкс і тривалістю імпульсу 2500 мкс.

Грозовий імпульс умовно позначають символом 1,2/50, а комутаційний – 250/2500.

Для газових проміжків з однорідним чи слабо неоднорідним полями коефіцієнт імпульсу для стандартних імпульсів практично дорівнює одиниці. У випадку сильно неоднорідного поля в газовому проміжку коефіцієнт імпульсу залежить від полярності імпульсу, ступеня неоднорідності, довжини проміжку і для грозового імпульсу може істотно перевищувати одиницю.

Пробій газу в однорідному полі

Однорідне електричне поле може бути отримане між плоскими електродами із закругленими краями, а також між сферами, якщо відстань між ними не перевищує їхнього діаметра. Час розвитку пробою в однорідному полі складає $10^{-7} - 10^{-8}$ с, причому величина напруги пробою залежить від температури і тиску наповнюючого газу. При нормальному тиску (0,1Мпа) і температурі 20°C електрична міцність повітря при відстані між електродами в 1 см складає близько 3,2 МВ/м. Зі зменшенням відстані між електродами електрична міцність збільшується, що пояснюється труднощами формування розряду.

Відповідно до закону Пашена в однорідному електричному полі при не-змінній температурі напруга пробою є функцією тиску наповнюючого газу і відстані між електродами $U_{пр} = f(ph)$. Дана залежність наведена на рис.4.2. Мінімальне значення пробивних напруг для різних газів складає 280-420 В. Для повітря - біля 300В. При підвищенні тиску понад 100кПа відстань між молекулами зменшується, у результаті чого зменшується довжина вільного пробігу електронів і відповідно збільшується електрична міцність. Спадання напруги спостерігається при зменшенні тиску нижче атмосферного до певної величини.

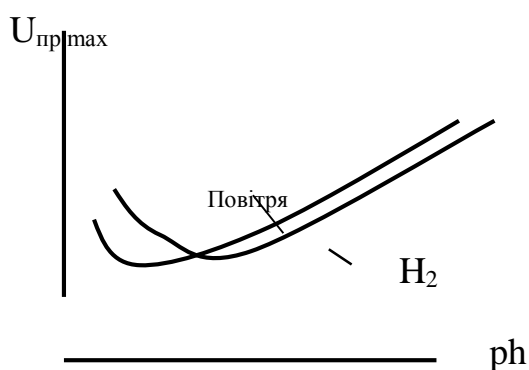


Рисунок 1.2 – Залежність $U_{пр\ max} = f(ph)$ для повітря і водню

Подальше зменшення тиску приводить до зростання електричної міцності, що пояснюється зменшенням числа молекул в одиниці об'єму газу і зниженням імовірності зіткнень електронів з молекулами. При високому вакуумі електрична міцність досягає великих значень (порядку

10^2 МВ/м). У цьому разі на величину електричної міцності впливає матеріал і стан поверхні електродів, тому що можливе виникнення "холодної" емісії електронів з поверхні електродів.

Електрична міцність залежить від хімічного складу газу. Меншою електричною міцністю в порівнянні з повітрям володіють інертні гази, що використовуються для заповнення джерел світла і електровакуумних приладів. Високою електричною міцністю відрізняються деякі важкі гази з високою молекулярною масою. Прикладом може служити елегаз (SF_6), фреон (CCl_2F_2). Їхня електрична міцність практично в 2,5 раза вище, ніж у повітря.

Пробій газів у неоднорідному електричному полі

Неоднорідне електричне поле виникає між електродами: голкою і площиною, двома голками, двома сферами, при відстані між ними, що перевищує радіус сфер, проводами і т.д. Пробій газу в неоднорідному електричному полі підкоряється вже іншим закономірностям. Особливістю даного пробою є виникнення часткового розряду у вигляді корони в місцях, де напруженість електричного поля досягає критичних значень, з наступним переходом корони в іскровий розряд і дугу при зростанні напруги. При цьому в газах спостерігається ефект полярності, який полягає в тому, що величина напруги пробою залежить від полярності підведеної напруги. При рівних умовах для несиметричних електродів голка-площина пробивна напруга при позитивній полярності голки значно нижче, ніж при негативній. Упр,кв

Цей ефект викликаний тим, що в неоднорідному електричному полі в місці найбільшої неоднорідності, тобто поблизу голки виникають позитивні об'ємні заряди. Ці заряди створюють електричне поле, напруженість якого при позитивній полярності голки спрямована згідно з напруженістю зовнішнього електричного поля. Унаслідок цього результуюча напруженість електричного поля збільшується і пробій настає при меншій напрузі. При негативній полярності голки поле просторового позитивного заряду частково компенсує зовнішнє електричне поле, тому пробивна напруга більше.

Пробій рідких діелектриків

Рідкі діелектрики мають більш високу електричну міцність ніж гази, що обумовлено значно меншою довжиною вільного пробігу електронів. Теорію електричного пробою, розглянуту для газів, можна застосувати і для рідких діелектриків за умови, що вони будуть максимально очищені від домішок.

Електрична міцність технічних рідких діелектриків істотно залежить від наявності забруднень, зменшуючись у міру збільшення полярності рідини і, відповідно, зростання її дісоціуючої здатності. Різде зниження електричної міцності спостерігається при влученні в рідкий діелектрик навіть невеликої кількості води. У трансформаторній олії вода звичайно знаходиться у вигляді емульсії, тобто у вигляді дрібних зважених часток. Під впливом електричного поля частки води поляризуються і утворюють між електродами ланцюжки з підвищеною провідністю, по яких і відбувається пробій.

Досвід експлуатації рідких діелектриків свідчить, що електрична міцність істотно знижується при наявності в них волокнистих домішок. Це пов'язано з високою гігроскопічністю волокон, зволоження яких підвищує їхню діелектричну проникність. Під впливом електричного поля волокна прагнуть виши-куватися уздовж силових ліній поля, що полегшує умови пробою.

На пробій рідких діелектриків впливає форма електродів: зі збільшенням ступеня неоднорідності електричного поля пробивна напруга рідкого діелектрика зменшується.

Зміна електричної міцності спостерігається в міру збільшення числа пробоїв у тому самому об'ємі рідини, що пов'язано із забрудненням діелектрика продуктами розкладання в місці пробою.

При збільшенні температури електрична міцність чистих рідких діелектриків практично не змінюється доти, поки не починається кипіння легких масляних фракцій і утворення при цьому пухирців пару, що приводить до

утворення газового містка між електродами. З цього моменту $E_{пр}$ рідкого діелектрика починає зменшуватися.

В очищених від домішок рідинах при високих значеннях напруженості електричного поля може відбуватися виривання електронів з металевих електродів і, як і у випадку пробою газів, руйнування молекул самої рідини за рахунок зіткнень із зарядженими частками.

Пробій твердих діелектриків

Для твердих діелектриків характерні такі види пробою: 1) електричний ;
2) електротепловий; 3) електрохімічний.

Залежно від різних факторів у тому самому діелектрику можуть виникати зазначені види пробою.

Електричний пробій за своєю природою є електронним процесом, коли з деяких початкових електронів у твердому тілі утворюється електронна лавина. Він обумовлений ударною іонізацією чи розривом зв'язків між частками діелектрика під дією електричного поля. Відповідно до теорії А.А.Воробйова, електрична міцність діелектриків збільшується зі зростанням енергії кристалічних ґраток. У рівномірному електричному полі вільні електрони, появі яких сприяє автоелектронна емісія, прискорюються і, зіштовхуючись з вузлами кристалічних ґраток, віддають їм накопичену енергію. Електрони, що досягли критичної швидкості, роблять відщеплення нових електронів, і стаціонарний стан порушується унаслідок виникнення ударної іонізації. У процесі ударної іонізації при взаємодії носіїв зарядів з електронами відбувається порушення хімічних зв'язків і перехід твердої речовини в стан частково іонізованої газової плазми, яка поширюється в напрямку потоку носіїв заряду. Потенціал заряду виноситься в головну частину каналу. Процес далі йде доти, поки канал не перетне весь розрядний проміжок.

Чисто електричний пробій має місце, коли виключений вплив електропро-відності і діелектричних втрат, а також відсутня іонізація газових включень. Цей вид пробою протікає практично миттєво за час 10^{-7} - 10^{-8} с.

Більшість технічних діелектриків відрізняються неоднорідністю структури. Наявність у них включень з підвищеною провідністю і діелектричною проникністю приводить до викривлення електричного поля, утворення всередині діелектрика ділянок з підвищеною провідністю. Це приводить до зменшення електричної міцності неоднорідних діелектриків.

У сильно неоднорідному електричному полі у твердих діелектриках може мати місце ефект полярності, причому менша пробивна напруга відповідає позитивній полярності електрода з малим радіусом кривизни. Незважаючи на те, що у твердих діелектриках ефект полярності виражений слабкіше, ніж у газоподібних, розходження пробивних напруг може досягати 20-30%.

Низькою електричною міцністю відрізняються пористі діелектрики, наприклад, непросочений папір, дерево, кераміка і т.д. З метою підвищення електричної міцності проводять їхнє просочення чи покриття спеціальними складами, що обмежують доступ вологи всередину діелектрика.

Тепловий пробій твердих діелектриків виникає в тому випадку, коли кількість теплової енергії, що виділяється в діелектрику внаслідок діелектричних втрат, стійко перевищить кількість енергії, що діелектрик здатний передати в навколишнє середовище. Необмежений ріст температури закінчується тепловим руйнуванням діелектрика. Таким чином, тепловим пробоем називається пробій, обумовлений порушенням теплової рівноваги діелектрика внаслідок діелектричних втрат.

Пробій, як правило, відбувається в тому місці діелектрика, де умови тепловідводу найгірші, тому величина $U_{пр}$ залежить від властивостей того середовища, у якому знаходиться діелектрик. З ростом температури навколишнього середовища пробивна напруга експоненціально зменшується,

що пов'язано зі збільшенням кількості енергії, яка виділяється в діелектрику в результаті діелектричних втрат, і зменшенням кількості енергії, яку діелектрик здатний відводити в навколишнє середовище.

Зменшення $E_{пр}$ спостерігається також при тривалій витримці зразка під напругою, тому що діелектрик за цей час нагрівається більше за рахунок діелектричних втрат.

Розглянемо методику спрощеного розрахунку пробивної напруги при тепловому пробі однорідного діелектрика, в якому переважними є втрати, обумовлені наскрізною електропровідністю. Значення потужності, що розсіюється в діелектрику, виражається формулою

$$P_a = U^2 \omega C \operatorname{tg} \delta$$

Лекція №5

Тема: Обробка металів тиском

Мета:

- 1 Ознайомити з особливостями обробки металу тиском
- 2 Опанувати основні види обробки металу тиском

Методи: словесний, наочний

План:

- 1 Особливості обробки металу тиском.
- 2 Основні види обробки металу тиском.

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН:
конспект,

Література:

- 1 Конструкционные и электротехнические материалы: Учеб. для учащихся электротехн. спец. /В.Н. Бородулин, А.С. Воробьев, С.Я. Попов и др.; Под ред. В.А. Филикова. – М.: Высш. шк., 1990
- 2 Василенко І.І., Широков В.В., Василенко Ю.І. Конструкційні та електротехнічні матеріали: Навч. Посібник. – Львів: «Магнолія», 2007. – 242 с.

Обробку металів тиском здійснюють впливом на метал зовнішніх сил, які спричиняють у металі напруження, що перевищують межу текучості, в результаті чого металева заготовка пластично деформується. При цьому форма заготовки змінюється за рахунок переміщення (зсувів) часточок металу без порушення цілісності. Обробка металів тиском є подальшим етапом обробки злиwkів і прокатування чорних і кольорових металів та їхніх сплавів. Із злиwkів одержують напівфабрикати у вигляді різних профілів прокату: квадратні і круглі заготовки, листи, фасонні профілі, труби, дрiт, ковані і штамповані поковки, штамповки.

Основними видами обробки металів тиском є прокатування, пресування, волочіння, вільне кування, об'ємне і листове штампування.

Прокатуванням називають обтискування металу обертовими валками прокатного стану.

При цьому утворюються вироби з однаковою по всій довжині формою поперечного перерізу (прутки, дрiт, балки, рейки, листи, труби) або з формою, що періодично змінюється по довжині.

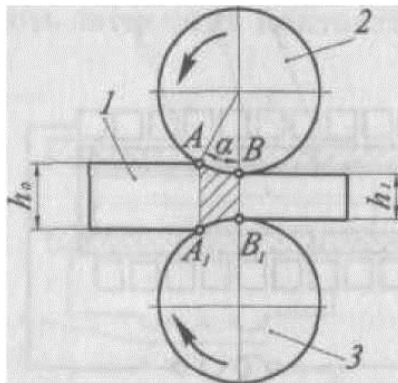


Рис.1. Схема вальцювання металу:

1 — заготовка; 2,3 - валок; h_0 - початкова і h_t -кінцева висота заготовки; α - кут захоплення

Пресуванням здійснюють витиснення нагрітого або холодного металу із замкненої порожнини крізь отвір матриці.

Залежно від форми цього отвору утворюються прутки різного профілю, дрiт і труби (переважно з кольорових металів і сплавів). Пресування виконують двома методами - прямим і зворотним (рис. 2).

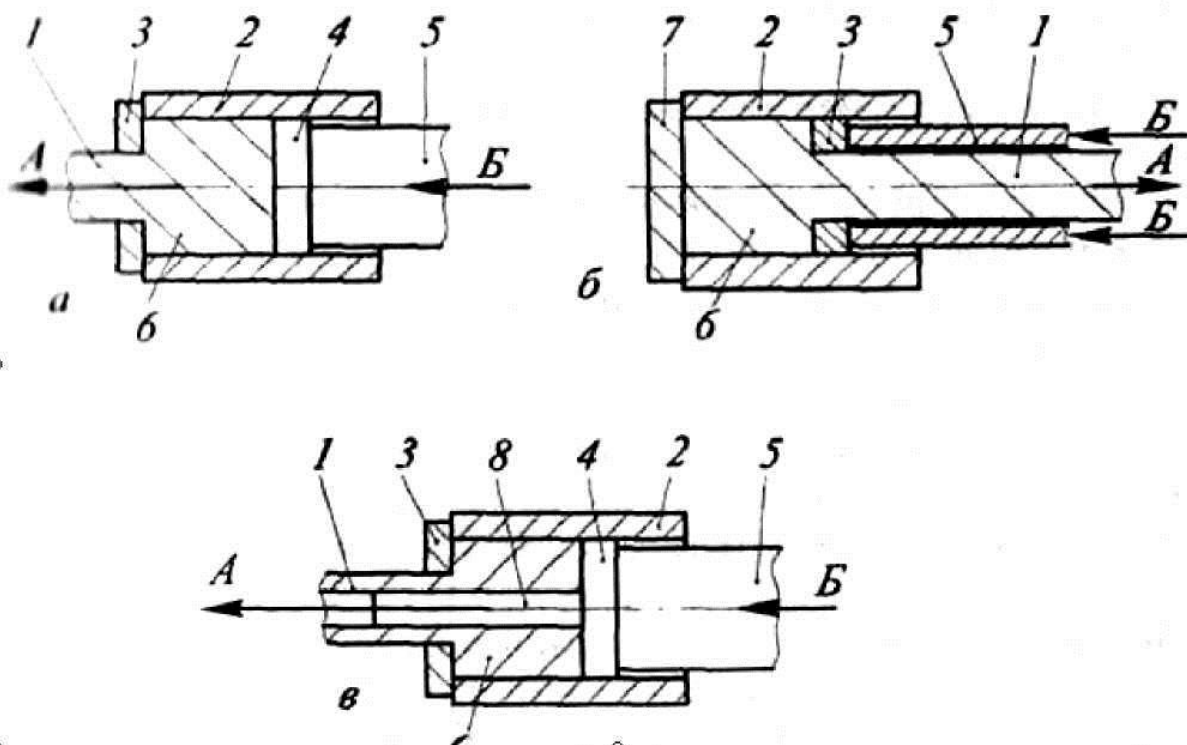


Рис.2. Прямий (а, в) і зворотний методи пресування: 1- виріб; 2 - контейнер; 3 - матриця; 4 - прес-шайба; 5 — пуансон; 6 — заготовка; 7 — кришка; 8 — голка

Під час прямого пресування напрям виходу з матриці 3 (рис. 2) виробу 1 (стрілка А) співпадає з напрямом руху пуансона 5 (стрілка Б). Зворотне пресування характеризується тим, що напрям виходу з матриці 3 виробу 1 (стрілка А) протилежний напрямові руху пуансона 5 (стрілка Б).

Волочіння це протягування металеві заготовки крізь калібрований отвір (фільтру).

Волочіння застосовують для виготовлення тонких сортів дроту, тонкостінних труб і каліброваних прутків з прокатої або пресованої заготовки. Інструмент для волочіння - волока має робочий отвір, що складається з чотирьох зон: вхідної або мастильної I, де формувальної II, калібрувальної III та вихідної IV.

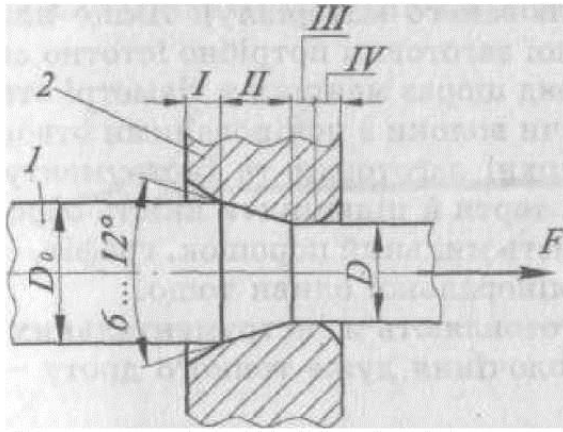


Рис. 3. Схема волочіння:
1-заготовка; 2 - волока; I - вхідна, II - деформувальна, III-калібрувальна і IV - вихідна зони; B_1 і B_2 - діаметри заготовки до і після волоки відповідно; F - тягова сила

Вільне кування - це деформування заготовки плоскими або фасонними бойками під молотом або пресом із застосуванням різноманітних ковальських інструментів.

При цьому нагрітий метал вільно переміщується від центра заготовки в сторони (рис.4). Цим методом виготовляють поковки порівняно простої форми.

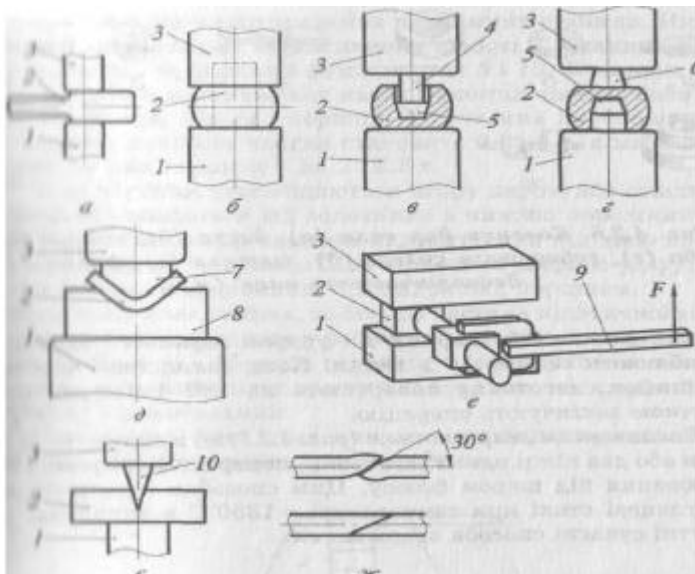


Рис. 4. Схеми видовження (а); сплющування (б); пробивання (в,г); гнуття (д); кручення (е); рубання (є) і ковальського зварювання (ж):1-нижній ударник; 2 — заготовка; 3 - верхній ударник; 4 - надставка; 5, 6 - прошивень; 7,8- половини підкладного штампа; 9 - вилка; 10 - сокира; F - сила.

Об'ємне штампування застосовують при деформуванні одночасно всієї заготовки за допомогою спеціальних бойків - штампів пластично деформується, набираючи конфігурацію і розміри порожнини (Рис. 5). Це процес серійного і масового виробництва однакових поковок.

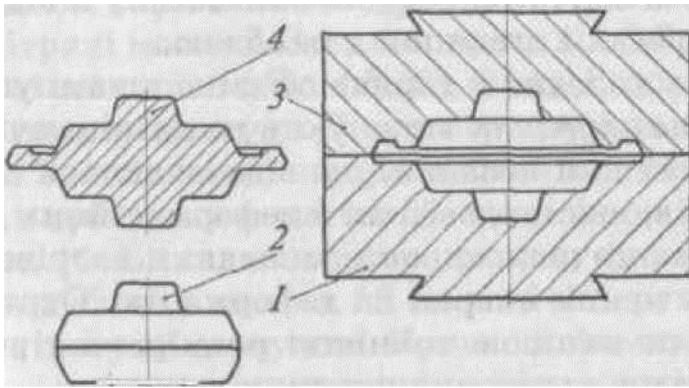


Рис. 5. Схема об'ємного штампування:

1-нижня частина штампа; 2 - кованка; 3 - верхня частина штампа; 4 - кованка з невідокремленим облоєм

Листове штампування - це обробка листового прокату в штампах на пресах. Вироблювані деталі за формою бувають плоскі -і вирізуванні з листа, або порожнисті - при витягуванні з листа.

На опір деформуванню і пластичність впливає температура деформації, хімічний склад металевого сплаву, вид напруженого стану, швидкість деформації. Операції листового штампування поділяють на:

-роздільні, коли відокремлюють частину матеріалу від листа, стрічки або штаби за заданим контуром;

-формозмінні, коли утворюють об'ємну конфігурацію деталі; штампо-складальні, що використовуються для з'єднання кількох деталей в один вузол запресуванням, клепаанням, гнуттям

Пластичність називають здатність металу за певних умов зазнавати остаточної (пластичної) деформації без руйнування.

Найбільшу пластичність мають чисті метали. Вуглець у сталі значно підвищує міцність, одночасно знижуючи пластичність. Кувати сталі, що містять понад 1% вуглецю, досить важко, оскільки при цьому необхідно повільно нагрівати заготовки, температурний інтервал кування помітно звужується, а отже, при ударах не можна допускати великого ступеня деформації. Сталь, що містить понад 1,5% вуглецю, кувати дуже важко.

При гарячій обробці майже одночасно відбуваються два протилежних процеси:

- зміцнення, зумовлене деформацією;
- рекристалізація, що знімає зміцнення.

Залежно від того, як відбуваються процеси зміцнення і знеміцнення, розрізняють *гарячу деформацію* (при повному знеміцненні), *неповну гарячу* (при частковому знеміцненні) і *холодну деформацію* (при відсутності знеміцнення).

Пластична деформація призводить до значних змін механічних, фізичних і хімічних властивостей металу. Ці зміни характеризуються такими

явищами: зміною форми зерен, їх діленням і подрібненням; зміною орієнтування зерен, утворенням волокнистої будови, або текстури; підвищенням опірності деформуванню, збільшенням границі пружності, текучості й міцності, а також твердості, зниженням пластичності; збільшенням залишкових напружень; зміною фізико-хімічних властивостей (збільшується електроопірність, знижується теплопровідність, опір корозії тощо).

Сукупність явищ, пов'язаних зі зміною механічних і фізико-хімічних властивостей металу в процесі холодної пластичної деформації, називається *зміцненням, або наклепом*.

Відновити пластичні властивості зміцненого металу можна термічною обробкою: *зворотом* або *рекристалізаційним відпалюванням*.

Зворотом називається процес часткового зняття механічного зміцнення (на 20 - 30%).

Від температури деформації залежить механізм пластичної деформації, зміцнювальні процеси, фазовий склад, механічні показники пластичності, опір деформуванню і розмір зерна сталі.

Хімічний склад. Найбільшу пластичність мають чисті метали. Складові елементи в металевому сплаві значно впливають на його пластичність. Вуглець у сталі підвищує міцність при одночасному зниженні пластичності. При обробці тиском на молотах і пресах *швидкість деформації* металу заготовки є різною внаслідок різної швидкості поступального руху робочого органу машини. Підвищення швидкості відносної деформації за одиницю часу призводить до зниження пластичності збільшення опору деформуванню.

Нагрівання є одним із основних чинників підвищення пластичності, який у багато разів знижує опір деформуванню. Тому при значній деформації, якої зазнає метал при прокатуванні, пресуванні, куванні й об'ємному штампуванні, вихідна заготовка нагрівається до оптимальної температури. При прокатуванні нагріті або холодні заготовки пропускають між обертовими валками прокатного стану. Волочіння - спосіб холодної обробки металів тиском, при якому метал, який обробляється, протягують через калібрований отвір.

При нагріванні металу його міцність зменшується, а пластичність збільшується, тому опір деформації значно менший, ніж при холодній обробці. Для сталі температура нагрівання має бути на 150-200 °С нижчою за температуру початку плавлення. Температурні інтервали гарячої обробки тиском вуглецевої сталі можуть становити: для сталі, яка містить 0,2-0,7 % вуглецю 1200-850 °С, а для сталі з вмістом 0,8-1,3 % вуглецю - 1100-820 °С. Кольорові метали і сплави слід нагрівати на 100-150 °С нижче від

температури початку плавлення.

Прокатування здійснюють на металургійних і машинобудівних заводах. При **прокатуванні** нагріті або холодні заготовки пропускають між обертовими валками прокатних станів. Продукція, яка виготовляється прокатуванням, називається прокатом. Прокат отримують із сталі, міді, латуні та інших сплавів. Прокатні стани за видом продукції діляться на обтискні, заготівельні, рейкобалкові, листопрокатні, сортові, дотові та спеціальні. До обтискних стани відносяться *блюмінги і слябінги*. Вони призначені для обтискання нагрітих до температури прокатування зливків квадратного перерізу (*блюми*) і прямокутного перерізу (*сляби*). Блюми в подальшому застосовують для виготовлення сортового, а сляби - листового прокату. За кількістю валків прокатні стани ділять на двовалкові, тривалкові, чотиривалкові.

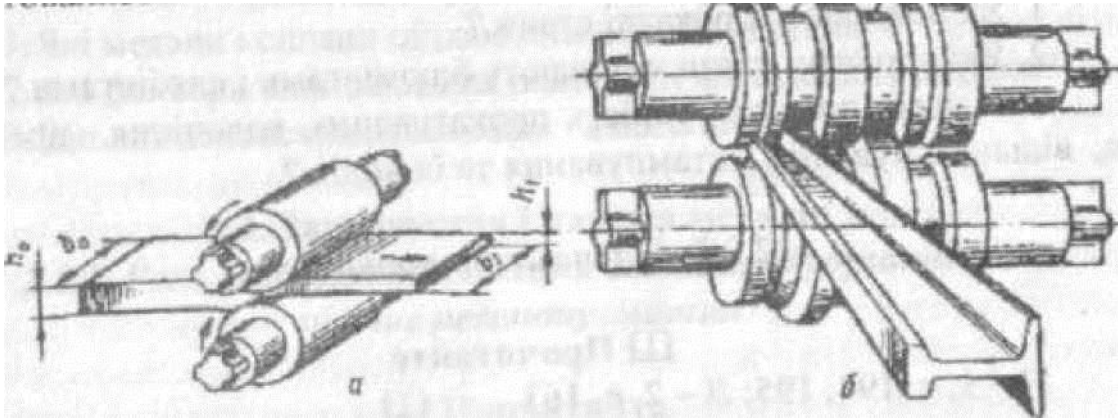


Рис.6 - Прокатування металів: а - листове прокатування; б - профільне прокатування

Прокатні стани класифікують за трьома ознаками: за призначенням; за кількістю валків і їх розміщенням у робочих клітках; за кількістю і взаємним розміщенням робочих клітей.

За призначенням прокатні стани поділяються на два основні типи:

■ стани для виробництва заготовок - напівпродукту для дальшого прокатування різних виробів (обтискні стани - блюмінги та слябінги і заготовочні стани);

• стани для прокатування готових виробів (сортів, у тому числі рейкобалкові, дотові, листові, трубопрокатні, спеціального призначення).

За кількістю валків і їх розміщенням у робочих клітках прокатні стани бувають з горизонтальними валками, з горизонтальними і вертикальними валками, з косо розміщеними валками тощо.

Стани з *горизонтальними валками* виконані за такими схемами:

Двовалковий може бути *нереверсивний і реверсивний*. *Нереверсивний* стан має сталий напрям обертання валків. У *реверсивного* стана напрям

обертання валків після кожного пропускання заготовки змінюється, тобто штаба прокатується в обидві сторони. *Тривалковий (тріо) стан* має в робочій кліті один над одним три валки зі сталим напрямом обертання. Прокатувана заготовка після пропускання між нижнім і середнім валками піднімається і повертається назад між середнім і верхнім валками.

Чотиривалковий стан має два робочих валки невеликого діаметра (середні) і два опорних валки великого діаметра (крайні). Опорні валки оберігають середні тонкі валки від прогину і збільшують тиск на метал, що особливо важливо при прокатуванні тонких широких листів.

Універсальні стани мають *горизонтальні* і *вертикальні* валки, їх використовують для прокатування широкої штаби, для обтискання злитків у сляби (на слябінгах) і остаточного прокатування широкополицевих двотаврових балок з висотою вертикальної стінки 500 - 1200 мм. Вертикальні валки обтискають прокатувану заготовку з боків.

Стани з косо розміщеними валками призначені для гвинтового поперечного прокатування і застосовуються для виробництва безшовних труб періодичного прокату і куль.

За взаємним розміщенням робочих клітей розрізняють декілька типів станів. Основними з них є *одноклітьові*, *лінійні* та *неперервні*.

Прикладом одно клітьового стану є *блюмінг*. Лінійні стани мають малу продуктивність. Швидкість штаби на виході з останньої кліті в них становить 2-4 м/сек. Неперервні стани забезпечують рух штаби лише в одному напрямі. Швидкість штаби на виході з останньої кліті становить 18-42 м/сек. Продуктивність повністю механізованого неперервного стану досягає 1-4 млн. т прокату на рік.

Прокат класифікують за сортаментом (профілями та розмірами) і якістю (хімічним складом і механічними властивостями).

Профілем прокатоного виробу називається форма його поперечного перерізу. Сукупність профілів і розмірів становить сортамент прокату. Увесь сортамент прокатаних виробів можна розбити на чотири групи:

- спеціальний і періодичний прокат;
- листовий прокат;
- сортовий прокат;
- труби.

Волочіння - спосіб холодної обробки металів тиском, при якому метал, який оброблюється, протягується через калібрований отвір у волоці для зменшення перерізу вихідної заготовки. Волочильні стани залежно від характеру роботи пристрою, який тягне заготовку, ділять на барабанні і з прямолінійним рухом. Волочінням виготовляють дріт, трубки, фасонні

вироби.

Величина обтискання при волочінні залежить від пластичності й міцності матеріалу.

Волочильним інструментом є волочильна матриця, яка має й інші назви: волочильна дошка, волока, філь'єр. Волочильні матриці звичайно виготовляють складеними. Вони мають зовнішню оправку і робочу частину (вставку), а також можуть складатися з окремих частин. Робочі вставки матриць виготовляють зі сталей марок У10, У12, У13, Х12, Х12М, твердих сплавів ВК8, ВК6, ВК3. Вставки з діаметром очка менше 0,3мм виготовляють зі штучних алмазів і мінералокераміки

Пресування - спосіб отримання виробів шляхом видавлювання нагрітого до температури гарячої обробки тиском металу, або холодного, який знаходиться в спеціальному штампі. Використовуються два методи пресування: прямий і зворотний. Пресуванням виготовляють прут і труби в більшості з кольорових металів.

Останнім часом пресуванням почали обробляти вуглецеві і спеціальні сталі, титанові сплави і мало пластичні метали, що є великою перевагою пресування порівняно з іншими способами.

Існує прямий і зворотний метод пресування.

При *прямому пресуванні* напрям переміщення металу збігається з напрямом руху пуансона.

При *зворотному пресуванні* переміщення металу і рух пуансона з матрицею не збігаються. Метал заготовки всередині контейнера залишається нерухомим, що усуває тертя металу об стінки контейнера і знижує потрібну потужність преса: прес-залишок зменшується до 6-10%. Під час *пресування труб* на кінці пуансона закріплюють голку. Залежно від конструкції преса кріплення голки буває нерухомим і рухомим. У першому випадку голка переміщається разом з пуансоном, а в другому вона рухається самостійно

Кування - обробка тиском за допомогою універсального підкладного інструменту чи бойків. Кування буває ручне і машинне. Цей вид обробки металів тиском широко використовують під час ремонтних робіт, виготовлення нескладних деталей та інструментів. Операції ручного і машинного кування ділять на роз'єднувальні та формозмінні. До обладнання для кування відносять кувальні молоти, горизонтальні кувальні машини і гідравлічні кувальні преси.

Вільним куванням виготовляють поковки масою від 0,1 кг до 300 т. Поковки понад 1,5 т виготовляють тільки вільним куванням, бо штампувати їх важко. Вільне кування застосовують в індивідуальному і малосерійному виробництві.

Основними операціями вільного кування є протяжка, осадка, прошивка, гнуття, закручування, рубання, ковальське зварювання, випрямляння, обробні операції.

Протяжка застосовується для збільшення довжини заготовки при зменшенні її поперечних розмірів.

Осадкою називають кувальну операцію, за допомогою якої досягається зменшення висоти заготовки і збільшення її поперечних розмірів. Місцеве потовщення заготовки називається *висадкою*.

Прошивка застосовується для утворення в поковці заглибини або наскрізного отвору.

Гнуття застосовують при виготовленні гаків, колінчастих валів, скоб, якорів тощо. Для гнуття використовують підкладки і спеціальні пристрої. Особливим випадком гнуття є *передача* - зміщення частини заготовки відносно її поздовжньої осі.

Закручування застосовують для того, щоб повернути на певний кут одну частину поковки відносно іншої. За допомогою цієї операції виготовляють вали з колінами, розміщеними під кутом 90° і 120° , вилки, важелі тощо.

Рубання застосовують для розділення заготовки на частини (рубання), часткового розділення (надрубання), відокремлення частини матеріалу по зовнішньому (обрубання) або внутрішньому (вирубання) контуру поковки.

Ковальське зварювання полягає у з'єднуванні в одне ціле частин поковки за допомогою нагрівання їх під шаром флюсу до температури зварювання (1350°C) і дальшого проковування. В наш час ковальське зварювання витіснило газове і електричне зварювання.

Машинне кування здійснюють на молотах і пресах. Молоти діють динамічно (ударом), а преси розвивають статичний тиск.

Молот має падаючі частини, найважча з яких називається *бабою*; до її нижньої поверхні прикріплюють верхній бойок. До падаючих частин належать також *шток* і *поршень*. Сумарна маса падаючих частин визначає тоннаж молота.

Падаючі частини молота переміщуються вниз під дією тільки своєї ваги (в молотах односторонньої, або простої дії) або під дією своєї ваги і додаткового зусилля (в молотах двосторонньої, або подвійної дії. Додаткове зусилля створюється тиском пари або повітря на верхню поверхню поршня. Для вільного кування застосовують молоти подвійної дії.

Молоти поділяють на *приводні* і *пароповітряні*.

Приводні кувальні молоти поділяються на важільні, ресорні (пружинні) і пневматичні, їх використовують для кування малих поковок.

Падаючі частини пневматичних молотів приводяться в рух стисненим повітрям з тиском 0,3—0,4 Мн/м' (3-4 ат), яке подається компресором, вбудованим у станину молота; маса падаючих частин - 50-1000 кг.

Падаючі частини парових молотів можна приводити в дію стисненим повітрям замість пари; тому ці молоти називаються пароповітряними. Пароповітряні молоти за конструкцією станин поділяють на одностоякові (маса падаючих частин 0,5-1 т) і двостоякові. Двостоякові бувають арочні (1-5 т) і мостові, що мають станину у вигляді букви "П" (3-8 т). На них кують поковки масою до 3 т.

Преси поділяються на гідравлічні і парогідравлічні.

Об'ємним штампуванням на молотах виготовляють близько 65% штампованих поковок. Цим методом штампують поковки найскладніших форм; колінчасті вали, передні осі й шатуни автомобілів, важелі, шестерні, фланці тощо.

Вихідним матеріалом для об'ємного штампування є сортовий прокат: кругла сталь діаметром 10-225 мм; квадратна сталь зі стороною квадрата 12—150 мм; штабова сталь завтовшки 10-60 мм, а також прокатні прутки з кольорових металів і сплавів. Застосування періодичного прокату знижує трудомісткість виготовлення поковок на 30% і дає 15% економії металу.

Прокат доставляють у вигляді прутків завдовжки 4-8 м. У заготівельному відділенні ковальсько-штампувального цеху їх розрізають на мірні заготовки заданої довжини (60—1500 мм). Заготовку можна різати різними способами: механічними пилами, анодно-механічним способом, на кривошипних пресножицях, ламанням на холодноламах і газом

Штампуння - спосіб обробки металів тиском за допомогою штампів. Штампуння буває холодним і гарячим. Гарячим штампунням виготовляють заготовки сталевих колінчастих валів, розподільних валів, шатунів тощо. Холодне штампуння виконується без нагріву металу. Виготовляють деталі в основному з прокату різних профілів. Обладнанням для гарячої штампунки служать молоти, преси, горизонтальні кувальні машини, а інструментами є штампи.

Сукупність форм і розмірів профілів, які отримані прокатом, називають *сортаментом*, який виготовляється згідно з ГОСТом. Залежно від виду прокат буває сортовий, листовий, трубний, періодичний і спеціальний. Круглу сталь прокатують діаметром 5-250 мм, листову - від 0,2 мм (фольга) до 160 мм. безшовні труби - діаметром 30-650 мм з товщиною стінки 2-16 мм. зварні труби діаметром 5-2500 мм з товщиною стінки 0,5-16 мм з вуглецевих і легированих сталей.

Обтискання — це місцеве зменшення поперечного перерізу

порожнього виробу, виготовленого витягуванням. У цій операції робочим інструментом є матриця, в яку зштовхується обтискувана заготовка виробу. Величина обтискання за один перехід становить 20-30%.

Формування застосовують для того, щоб виріб набув остаточної форми (профілю) і щоб надати попередньо вирубаному або витягнутому виробу точніших розмірів. Прикладом формування є утворення на виробах різних опуклостей, западин, орнаментів, ребер жорсткості тощо.

Випучування - це формування зсередини, коли утворення опуклостей і орнаментів досягають за рахунок тиску зсередини гуми, рідини або сипких матеріалів.

Розбортовування полягає в утворенні борта в заготовці з попередньо пробитим отвором. Розбортовуванням можна виготовляти порожністі заклепки, фланці, люки в днищах котлів тощо.

Листове карбування застосовують для доведення товщини плоских деталей до потрібного розміру або для утворення на поверхні деталей рельєфного рисунка, написів (монети, ордени, значки, емблеми), а також художніх зображень на виробах і предметах широкого вжитку (деталі годинника, ложки, виделки тощо).

Холодним ударним видавлюванням виготовляють порожністі деталі різної форми з кольорових металів і сплавів (свинцю, олова, алюмінію, міді, цинку, дюралюмінію, латуні). Можливість обробки сталевих заготовок обмежена стійкістю інструмента.

Лекція № 6

Тема: Обробка металів різанням

- 1 Ознайомити з особливостями обробки металів різанням
- 2 Опанувати основні види обробки металів різанням

Методи: словесний, наочний

План:

- 1 Особливості обробки металу різанням.
- 2 Основні види обробки металу різанням

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН:
конспект,

Література:

1 Конструкционные и электротехнические материалы: Учеб. для учащихся электротехн. спец. /В.Н. Бородулин, А.С. Воробьев, С.Я. Попов и др.; Под ред. В.А. Филикова. – М.: Высш. шк., 1990

2 Василенко І.І., Широков В.В., Василенко Ю.І. Конструкційні та електротехнічні матеріали: Навч. Посібник. – Львів: «Магнолія», 2007. – 242 с.

Вільним куванням виготовляють поковки масою від 0,1 кг до 300 т. Поковки понад 1,5 т виготовляють тільки вільним куванням, бо штампувати їх важко. Вільне кування застосовують в індивідуальному і малосерійному виробництві.

Основними операціями вільного кування є протяжка, осадка, прошивка, гнуття, закручування, рубання, ковальське зварювання, випрямлення, обробні операції.

Протяжка застосовується для збільшення довжини заготовки при зменшенні її поперечних розмірів.

Осадкою називають кувальну операцію, за допомогою якої досягається зменшення висоти заготовки і збільшення її поперечних розмірів. Місцеве потовщення заготовки називається *висадкою*.

Прошивка застосовується для утворення в поковці заглибини або наскрізного отвору.

Гнуття застосовують при виготовленні гаків, колінчастих валів, скоб, якорів тощо. Для гнуття використовують підкладки і спеціальні пристрої. Особливим випадком гнуття є *передача* - зміщення частини заготовки відносно її поздовжньої осі.

Закручування застосовують для того, щоб повернути на певний кут одну частину поковки відносно іншої. За допомогою цієї операції виготовляють вали з колінами, розміщеними під кутом 90° і 120°, вилки, важелі тощо.

Рубання застосовують для розділення заготовки на частини (рубання), часткового розділення (надрубання), відокремлення частини матеріалу по зовнішньому (обрубання) або внутрішньому (вирубання) контуру поковки.

Ковальське зварювання полягає у з'єднуванні в одне ціле частин поковки за допомогою нагрівання їх під шаром флюсу до температури зварювання (1350°C) і дальшого проковування. В наш час ковальське зварювання витіснило газове і електричне зварювання.

Машинне кування здійснюють на молотах і пресах. Молоти діють динамічно (ударом), а преси розвивають статичний тиск.

Молот має падаючі частини, найважча з яких називається *бабою*; до її

нижньої поверхні прикріплюють верхній бойок. До падаючих частин належать також *шток* і *поршень*. Сумарна маса падаючих частин визначає тоннаж молота.

Падаючі частини молота переміщуються вниз під дією тільки своєї ваги (в молотах односторонньої, або простої дії) або під дією своєї ваги і додаткового зусилля (в молотах двосторонньої, або подвійної дії. Додаткове зусилля створюється тиском пари або повітря на верхню поверхню поршня. Для вільного кування застосовують молоти подвійної дії.

Молоти поділяють на *приводні* і *пароповітряні*.

Приводні кувальні молоти поділяються на важільні, ресорні (пружинні) і пневматичні, їх використовують для кування малих поковок. Падаючі частини пневматичних молотів приводяться в рух стисненим повітрям з тиском 0,3—0,4 Мн/м' (3-4 ат), яке подається компресором, вбудованим у станину молота; маса падаючих частин - 50-1000 кг.

Падаючі частини парових молотів можна приводити в дію стисненим повітрям замість пари; тому ці молоти називаються пароповітряними. Пароповітряні молоти за конструкцією станин поділяють на одностоякові (маса падаючих частин 0,5-1 т) і двостоякові. Двостоякові бувають арочні (1-5 т) і мостові, що мають станину у вигляді букви "П" (3-8 т). На них кують поковки масою до 3 т.

Преси поділяються на гідравлічні і парогідравлічні.

Об'ємним штампуванням на молотах виготовляють близько 65% штапованих поковок. Цим методом штапують поковки найскладніших форм; колінчасті вали, передні осі й шатуни автомобілів, важелі, шестерні, фланці тощо.

Вихідним матеріалом для об'ємного штампування є сортовий прокат: кругла сталь діаметром 10-225 мм; квадратна сталь зі стороною квадрата 12—150 мм; штабова сталь завтовшки 10-60 мм, а також прокатні прутки з кольорових металів і сплавів. Застосування періодичного прокату знижує трудомісткість виготовлення поковок на 30% і дає 15% економії металу.

Прокат доставляють у вигляді прутків завдовжки 4-8 м. У заготівельному відділенні ковальсько-штампувального цеху їх розрізають на мірні заготовки заданої довжини (60—1500 мм). Заготовку можна різати різними способами: механічними пилами, анодно-механічним способом, на кривошипних прес-ножицях, ламанням на холодноламах і газом

Штампуння - спосіб обробки металів тиском за допомогою штампів. Штампуння буває холодним і гарячим. Гарячим штампунням виготовляють заготовки сталевих колінчастих валів, розподільних валів, шатунів тощо. Холодне штампуння виконується без нагріву металу.

Виготовляють деталі в основному з прокату різних профілів. Обладнанням для гарячої штамповки служать молоти, преси, горизонтальні кувальні машини, а інструментами є штампи.

Сукупність форм і розмірів профілів, які отримані прокатом, називають *сортаментом*, який виготовляється згідно з ГОСТом. Залежно від виду прокат буває сортовий, листовий, трубний, періодичний і спеціальний. Круглу сталь прокатують діаметром 5 250 мм, листову - від 0,2 мм (фольга) до 160 мм. безшовні труби - діаметром 30 650 мм з товщиною стінки 2 160 мм. зварні труби діаметром 5 2500 мм з товщиною стінки 0,5-16 мм з вуглецевих і легованих сталей.

Обтискання — це місцеве зменшення поперечного перерізу порожнистого виробу, виготовленого витягуванням. У цій операції робочим інструментом є матриця, в яку зштовхується обтискувана заготовка виробу. Величина обтискання за один перехід становить 20-30%.

Формування застосовують для того, щоб виріб набув остаточної форми (профілю) і щоб надати попередньо вирубаному або витягнутому виробу точніших розмірів. Прикладом формування є утворення на виробах різних опуклостей, западин, орнаментів, ребер жорсткості тощо.

Випучування - це формування зсередини, коли утворення опуклостей і орнаментів досягають за рахунок тиску зсередини гуми, рідини або сипких матеріалів.

Розбортовування полягає в утворенні борта в заготовці з попередньо пробитим отвором. Розбортовуванням можна виготовляти порожнисті заклепки, фланці, люки в днищах котлів тощо.

Листове карбування застосовують для доведення товщини плоских деталей до потрібного розміру або для утворення на поверхні деталей рельєфного рисунка, написів (монети, ордени, значки, емблеми), а також художніх зображень на виробах і предметах широкого вжитку (деталі годинника, ложки, виделки тощо).

Холодним ударним видавлюванням виготовляють порожнисті деталі різної форми з кольорових металів і сплавів (свинцю, олова, алюмінію, міді, цинку, дюралюмінію, латуні). Можливість обробки сталевих заготовок обмежена стійкістю інструмента.

Лекція №7

Тема: Корозія металів, боротьба з нею

Мета:

- 1 Ознайомити з особливостями корозії металів
- 2 Опанувати основні види корозії
- 3 Зрозуміти основні види захисту від корозії

Методи: словесний, наочний

План:

- 1 Особливості корозії металів.
- 2 Основні види корозії.
- 3 Основні види захисту від корозії.

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН:
конспект

Література:

1 Конструкционные и электротехнические материалы: Учеб. для учащихся электротехн. спец. /В.Н. Бородулин, А.С. Воробьев, С.Я. Попов и др.; Под ред. В.А. Филикова. – М.: Высш. шк., 1990

2 Василенко І.І., Широков В.В., Василенко Ю.І. Конструкційні та електротехнічні матеріали: Навч. Посібник. – Львів: «Магнолія», 2007. – 242 с.

Вироби з металевих порошків набувають все ширшого застосування в різних галузях промисловості, оскільки їх виробництво економічна вигідне, До основних видів порошкових сплавів відносять: антифрикційні, фрикційні, пористі (фільтри), електротехнічні (контакти), магнітні, інструментальні металокерамічні.

Особливу увагу зверніть на металокерамічні тверді сплави. Запам'ятайте,

що означають буквені позначення, які стоять в кінці назви марки: М - дрібнозерниста структура, К - крупнозерниста структура, В - одержана спіканням в атмосфері водню, Ш - особливо дрібна структура.

Розгляньте суть процесу, що протікає при хімічній і електрохімічній корозії.

Потрібно знати способи хімічного захисту, технологію утворення окисних плівок, способи механічного захисту, покриття металів лаками, фарбами, маслами, петролатумами, використання інгібіторів та ін., а також вміти вибирати їх для деталей сільськогосподарської техніки.

Відомо, ще 50% простоїв сільськогосподарської техніки у період сезонних робіт (посівної, збирання врожаю та ін.), пов'язані з корозією металів, що є результатом недбалого зберігання цієї техніки на відкритих майданчиках.

Корозія (з латинської - "роз'їдання") - це процес руйнування металів під дією оточуючого середовища. Під час роботи або зберігання метали і металеві вироби підпадають під дію вологого повітря, води, пари, газів, а також кислот, лугів, солей або їх розчинів. Внаслідок взаємодії металів із середовищем на поверхні металу виникають зміни структури хімічних і фізичних властивостей. Внаслідок корозії метали частково або повністю руйнуються, якість виробів гіршає, і вони можуть стати непридатними для використання.

Корозія металів завдає народному господарству великої шкоди. Особливо великої шкоди завдає корозія в сільському господарстві, де зберігання сільськогосподарських машин не перебуває на належному рівні (дуже часто вони зберігаються під відкритим небом). Підрахунки показали, що близько однієї десятої всього металу, який щороку надходить у народне господарство у вигляді різних виробів, машин, втрачається безповоротно через руйнівну дію корозії. Щоб уявити всю економічну шкоду від корозії, слід взяти до уваги ще більші збитки від припинення виробництва через корозію деталей, а також великі кошти, які витрачаються на ремонт або на заміну зіпсованих деталей (виробів), наприклад на заміну або ремонт непридатних деталей тракторів, комбайнів, кормо переробних машин, водопровідних труб, кабелів тощо.

Щоб успішно боротися з корозією металів, треба насамперед знати суть цього явища та способи захисту металевих виробів від корозії в конкретних умовах.

В залежності від середовища, в якому працюють деталі машин, може виникати електрохімічна, або хімічна корозія.

Електрохімічною корозією називається руйнування металу при його контактуванні з електролітами. Електролітами можуть бути різні електропровідні рідини, найчастіше вода від атмосферних опадів або іншого походження, розчини солей, кислот, луги тощо. При контактуванні металу з електролітом іони з поверхні металу переходять в електроліт, зумовлюючи виникнення між ними електрорушійних сил. Цей процес розчинення металів у електроліті подібний до принципу роботи гальванічного елемента. Це пояснюється тим, що метали і сплави неоднорідні за хімічним складом і є сукупністю різних складових (фаз): тверді розчини, хімічні сполуки (карбіди). Вони володіють різним електродним потенціалом, причому фаза з більш від'ємним потенціалом є анодом, частинки якого переходять у розчин, а фаза з високим потенціалом є катодом і зберігається незмінною.

З цього випливає, що однофазні сплави і чисті метали мають вищу корозійну стійкість, ніж сплави, що складаються із суміші фаз. Проте й однофазні сплави піддаються корозії через наявність різних дефектів структур.

При утворенні гальванічної пари двох металів руйнуватися буде метал, потенціал в якого менший.

Наприклад, у парі «мідь-залізо» руйнується залізо, а в парі «цинк-залізо» руйнується цинк.

Хімічною корозією *називають* руйнування металів у сухих газах щ високої температурі, у рідинах — неелектролітах (бензин, масло, смола). При хімічній корозії під дією кисню повітря на поверхні металу утворюється тонкий шар оксидів. Міцність такого шару неоднакова. Наприклад, шар оксиду заліза (Fe_2O_3) неміцний і легко руйнується, алюмінію (Al_2O_3) - дуже

міцний і захищає його від подальшого руйнування. Хімічна корозія спостерігається нечасто. Прикладом може ти підгоряння клапанів двигунів внутрішнього згорання, окалина їй гарячій обробці тиском, термообробці тощо.

За видом корозійного середовища корозію поділяють на атмосферну, ґрунтову, підводну (або корозію в морській воді). За характером корозійних руйнувань виділяють суцільну, поверхневу, місцеву, міжкристалічну корозію.

Найбільш небезпечною є міжкристалічна корозія, яка виникає і поширюється границями зерен і малопомітна під час огляду.

Застосовують такі способи захисту металів і техніки від корозії: талеві покриття; хімічні покриття; неметалеві покриття; електрохімічний захист; застосування хімічно стійких металів і сплавів.

Кожний з них має свої особливості і галузь застосування. Для металевих покриттів застосовують головним чином цинк (оцинковування), свинець (свинцювання), олово (лудіння), мідь (обміднення), нікель (нікелювання), хром (хромування) тощо.

Металеві покриття можуть бути нанесені різними способами: гарячим, гальванічним, дифузійним, металізацією (напилюванням), термомеханічним тощо.

Гарячий спосіб застосовують для нанесення тонкого шару легкоплавких металів: олова, свинцю, цинку. За цим способом старанно очищений від іржі, окалини, жиру виріб занурюють у ванну з розплавленим металом, який змочує його. Гаряче покриття застосовують при нанесенні олова на мідний посуд, для виготовлення білої жерсті, оцинкованої покрівельної сталі, дроту, труб, освинцьованої хімічної апаратури.

Гальванічний спосіб покриття полягає в осадженні поверхні виробів захисного металу (олова, цинку, нікелю, хрому тощо) за допомогою електричного струму. Розрізняють анодні й катодні гальванічні покриття.

Анодне покриття проводять металами, потенціал яких нижчий ніж потенціал основного металу. Прикладом анодного покриття є покриття сталі цинком.

Якщо потенціал захисних металів вищий від потенціалу основного металу, то роблять **катодне покриття**, яке захищає основний метал, поки вони залишаються суцільними. Найчастіше катодним покриттям є нікелювання сталевих виробів.

Дифузійний спосіб полягає в поглинанні поверхневим шаром виробів захисного металу (алюмінію, хрому, кремнію) при високих температурах. Результатом процесу є одержання стійкої проти корозії поверхні виробів не тільки при звичайній температурі, а й при високих температурах (до 900°C). Алітування, хромування і силіціювання належать до хіміко-термічної обробки.

Металізація - це покривання поверхні виробу дрібними краплями розплавленого металу (алюмінію, цинку тощо). Металопокриття виконують за допомогою металізатора, в якому дріт плавиться за допомогою електричної дуги або горючого газу, а стиснуте повітря розпилює розплавлений метал на поверхню виробу.

Термомеханічний спосіб полягає в сумісному гарячому прокатуванні основного і захисного металу (алюмінію, міді, латуні, нержавіючої сталі). Цей процес називають **плануванням**.

Хімічне покриття полягає в тому, що на поверхні виробу штучно створюють хімічні сполуки (найчастіше оксидні плівки). **Оксидування** використовують для захисту від корозії чорних металів, алюмінію, магнію та їх сплавів. При оксидуванні вироби занурюють у розчин азотнокислих солей або розчину лугів і двоокис марганцю при температурі 135—145°C. Оксидування інколи називають **воронінням**, оскільки вироби набувають синьо-чорного кольору.

Крім оксидних плівок на сталевих виробах наводять плівки фосфорнокислих солей заліза і марганцю. Такий спосіб захисту металу від

корозії називають **фосфатуванням**.

Неметалеві покриття — найбільш поширений і доступний метод захисту металів від корозії як при виробництві нових машин, так і в процесі їх експлуатації. Неметалеві покриття виконують фарбами, лаками, емалями, мастилами, а також пластичними масами, гумою. Нанесення цих речовин на поверхню виробів ізолює метал від руйнівного середовища і збільшує термін їх служби.

Електрохімічний захист поділяють на протекторний і катодний.

Суть **протекторного захисту** полягає в тому, що до поверхні, яка підлягає захисту, прикріплюють протектор, виготовлений з металу, який має менший потенціал, ніж потенціал виробу (наприклад, цинк у залізних виробках). При цьому утворюється гальванічна пара: виріб -протектор, в якій анодом буде протектор (який поступово руйнуватиметься), катодом - виріб, який захищається протектором, а електролітом - середовище. Після руйнування протектор замінюють новим (так за допомогою цинкового протектора захищають підводну частину суден від корозії).

Катодний захист застосовують для підземних трубопроводів, електропроводів тощо, які приєднують до негативного полюса джерела постійного струму, а позитивний полюс заземлюється.

Застосування хімічно стійких сплавів (наприклад, нержавіючих хромових і хромонікелевих сталей) є найбільш надійним засобом захисту від корозії. Стійкими проти корозії є також жаростійкі, кислототривкі сталі та сплави. Проте застосувати їх не завжди можна через високу вартість або з технічних міркувань.

Лекція № 8

Тема: Магнітом'які матеріали

Мета:

- 1 Ознайомити з визначенням магнітом'яких матеріалів
- 2 Зрозуміти класифікацію та призначення магнітом'яких матеріалів

Методи: словесний

План:

- 1 Визначення і класифікацію магнітом'яких матеріалів.
- 2 Різновиди і призначення магнітом'яких матеріалів.

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН:
конспект

Література:

- 1 Конструкционные и электротехнические материалы: Учеб. для учащихся электротехн. спец. /В.Н. Бородулин, А.С. Воробьев, С.Я. Попов и др.; Под ред. В.А. Филикова. – М.: Высш. шк., 1990
- 2 Василенко І.І., Широков В.В., Василенко Ю.І. Конструкційні та електротехнічні матеріали: Навч. Посібник. – Львів: «Магнолія», 2007. – 242 с.

Магнітні матеріали це матеріали, які здатні намагнічуватись в зовнішньому магнітному полі. Розрізняють магнітом'які (легко перемагнічуються) та магнітотверді матеріали (важко розмагнічуються).

Класифікація магнітних матеріалів

Всі магнітні матеріали по тим чи іншим ознаками можна розділити на:

- а) магнітом'які матеріали;
- б) матеріали спеціалізованого призначення;
- в) магнітотверді матеріали.

Магнітом'які матеріали

Відмінною особливістю магнітом'яких матеріалів є:

- Високе значення відносної магнітної проникності μ_r ;
- Мала коерцитивної сила H_c ;
- Малі втрати в сталі $P_{ст}$.

Магнітом'які матеріали використовуються як осердя трансформаторів, електромагнітів, у вимірювальних приладах та ряді інших пристроїв, де

необхідно при найменшій витраті електричної енергії досягти найбільшої магнітної індукції.

Розглянемо найбільш характерні магнітом'які матеріали.

Залізо

а) Технічно чисте залізо зазвичай містить невелику кількість домішок (від 0,08% до 0,1%): вуглецю, сірки, марганцю, кремнію та інших елементів, що погіршують його магнітні властивості. Технічно чисте залізо має дуже низький електричний опір і тому застосовується в основному для магнітопроводів постійного магнітного потоку. За кордоном такий матеріал відомий під назвою «армко-залізо».

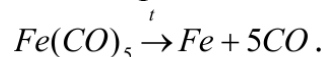
Низьковуглецева електротехнічна листована сталь - одна з різновидів технічно чистого заліза випускається товщиною від 0,2 до 4 мм, містить вуглецю $C \leq 0,04\%$ і не понад 0,6% інших домішок. Нижче наводяться усереднені значення відносної магнітної проникності і коерцитивної сили: μ не менше 3500-4500; H_c не більше 65 100, А / м.

б) Особливо чисте залізо містить дуже малу кількість домішок (менше 0,05%) і може бути отримано двома шляхами.

Електролітичне залізо виготовляють електролізом розчину сірчанокислого або хлористого заліза. Анодом служить чисте залізо, катодом - пластина м'якої сталі.

Залізо, яке залишилось на катоді (товщина шару 4-6 мм) після ретельної промивки знімають і подрібнюють в порошок у кульових млинах, після чого виробляють вакуумний відпал і переплавку у вакуумі.

в) Карбонільне залізо отримують термічним розкладанням пентакарбоніла заліза відповідно до рівняння:



Карбонільне залізо має вигляд тонкого порошку, що робить його вельми зручним для виготовлення пресованих високочастотних магнітних сердечників.

Кремниста електротехнічна сталь

Кремниста електротехнічна сталь є основним магнітомягким матеріалом масового споживання. У змінних магнітних полях для поліпшення магнітних властивостей до складу сталі вводять кремній Si до 4%.

Введення Si дозволяє збільшити електричний опір, що викликає зниження втрат на вихрові струми.

Крім того, наявність в сталі Si сприяє виділенню вуглецю у вигляді графіту, а також майже повного окислення сталі.

Разом з тим Si несприятливо впливає на механічні властивості заліза, збільшує його крихкість і ускладнює прокатку в листи і штампування. При вмісті Si до 4% сталь володіє ще хорошими механічними властивостями, але при вмісті $Si > 5\%$ вона стає крихкою.

Шляхом комбінованої гарячої і холодної прокатки кремистої сталі і особливої термічної обробки можна виготовити текстуровану сталі крупнокристалічного будови, причому кристали виявляються орієнтованими

таким чином, що вісь їх легкого намагнічування збігається з напрямком прокатки. Магнітні властивості такої сталі в напрямку прокатки значно вище, ніж сталі, що не піддавалася подібній обробці. Текстуровані сталі застосовуються для сердечників трансформаторів, що виготовляються способом намотування. Вага і габарити при цьому зменшуються: у силових трансформаторів на 20-25%; у радіотрансформаторів на 40%.

Електротехнічну тонколистову сталь для роботи в змінних магнітних полях маркують чотирма цифрами (ДСТУ 21427,0 - 75).

Перша цифра в позначенні сталі характеризує структурний стан і вид прокатки:

- 1 - гарячекатана ізотропна;
- 2 - холоднокатанная ізотропна;
- 3 - холоднокатанная анізотропна з ребровою структурою.

Друга цифра характеризує вміст кремнію Si: 126

0 - вміст Si до 0,4%;

1 - від 0,4 до 0,8%;

2 - від 0,8 до 1,8%;

3 - від 1,8 до 2,8%;

4 - від 2,8 до 3,8%;

5 - від 3,8 до 4,8.

Третя цифра характеризує групу з основної нормованої характеристики:

0 - нормуються питомі втрати при магнітній індукції $B = 1,7$ Тл і частоті $F = 50$ Гц;

1 - нормуються питомі втрати при магнітній індукції $B = 1,5$ Тл і частоті $F = 50$ Гц;

2 - нормуються питомі втрати при магнітній індукції $B = 1,0$ Тл і частоті $F = 400$ Гц;

6 - нормується магнітна індукція B в слабких магнітних полях при напруженості магнітного поля $0,4$ А / м;

7 - нормується магнітна індукція B в середніх магнітних полях при напруженості магнітного поля 10 А / м.

Перші три цифри позначають тип сталі.

Четверта цифра маркування позначає порядковий номер сталі.

Сталь випускається у вигляді рулонів, листів і різаною стрічки. вона може бути без ізоляційного покриття або мати його. Товщина листів сталі 0,1-1мм. Сталь різних класів призначається для виготовлення магнітних мереж апаратів, трансформаторів, приладів, електричних машин.

Пермаллої

Пермаллої - залізонікелеві сплави, що володіють дуже великою μ в області слабких полів і малої коерцитивної силою.

Пермаллої поділяються на:

- Високонікелеві з вмістом нікелю до 72-80%;

- Нізконікелевіе з вмістом нікелю до 40-50%.

Дуже легка намагнічуваність пермаллоєв в слабких полях пояснюється практично відсутністю у них анізотропії та явища магнітострикції.

Феррити - хімічні сполуки окису заліза Fe_2O_3 з оксидами одного або кількох двовалентних металів, що мають загальну формулу $MeO \cdot Fe_2O_3$, де Me - двовалентний метал. Ферит може бути магнітним, якщо на місці Me варто іон марганцю, нікелю, магнію, міді і деякі інші метали, і немагнітним - якщо стоїть іон цинку.

Феррити отримують у вигляді кераміки та монокристалів. Феритова кераміка не містить склоподібної фази. Вироби з феритів отримують методом спікання спресованої маси порошкоподібних оксидів металів. Феррити є твердими і тендітними матеріалами і допускають тільки шліфування і полірування.

Технічні ферити являють собою розчин магнітного і немагнітного феритів. Феррити для радіочастот діляться на дві групи: нікель-цинкові ($NiO-ZnO-Fe_2O_3$) і марганець-цинковий ($MnO-ZnO-Fe_2O_3$). Цинкові ферити додають у магнітні ферити для збільшення магнітної проникності і зменшення коерцитивної сили, але це призводить до зниження температурної стабільності магнітних властивостей.

Лекція № 9

Тема: Магнітотверді матеріали

Мета:

- 1 Ознайомити з визначенням магнітотвердих матеріалів
- 2 Зрозуміти класифікацію та призначення магнітотвердих матеріалів

Методи: словесний

План:

- 1 Визначення і класифікацію магнітотвердих матеріалів.
- 2 Різновиди і призначення магнітотвердих матеріалів.

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН:
конспект

Література:

- 1 Конструкционные и электротехнические материалы: Учеб. для учащихся электротехн. спец. /В.Н. Бородулин, А.С. Воробьев, С.Я. Попов и др.; Под ред. В.А. Филикова. – М.: Высш. шк., 1990
- 2 Василенко І.І., Широков В.В., Василенко Ю.І. Конструкційні та електротехнічні матеріали: Навч. Посібник. – Львів: «Магнолія», 2007. – 242 с.

Магнітні матеріали це матеріали, які здатні намагнічуватись в зовнішньому магнітному колі. Розрізняють магнітом'які (легко перемагнічуються) та магнітотверді матеріали (важко розмагнічуються).

Магнітотверді матеріали

За складом, станом і способом отримання магнітотверді матеріали поділяються на:

1. Леговані сталі, гартувати на мартенсит.
2. Литі магнітотверді сплави.
3. Магніти з порошків.
4. Магнітотверді ферити.
5. Пластично деформуються сплави і магнітні стрічки.

На відміну від магнітом'яких матеріалів магнітотверді матеріали мають менше значення μ_r і більше значення H_c , тобто петля гістерезиса магнітотвердих значно ширше петлі магнітом'яких. характеристиками магнітотвердих є: коерцитивної сила H_c , залишкова магнітна індукція B_r , максимальна енергія W_{max} , що віддається магнітом у зовнішній простір. Магніт в замкнутому стані (у вигляді тороїда) не віддає енергію в зовнішній простір. Для віддачі магнітної енергії W_{max} необхідно в магнітну мережу ввести повітряний зазор між полюсами (див. рис. 3.1).

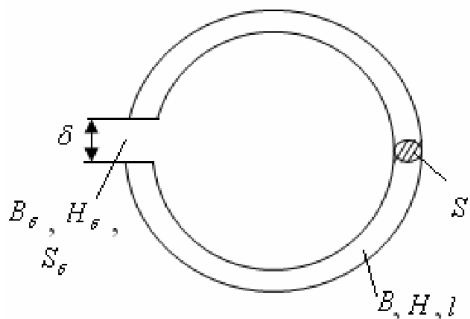


Рисунок 3.1 – Фізична модель тороїдального магніта з повітряним зазором δ

Робоча точка постійного магніту в цьому випадку буде на ділянці кривої розмагнічування між характерними точками ділянки петлі гістерезису (рисунок 3.2).

$$H = H_c \text{ и } B = B_r$$

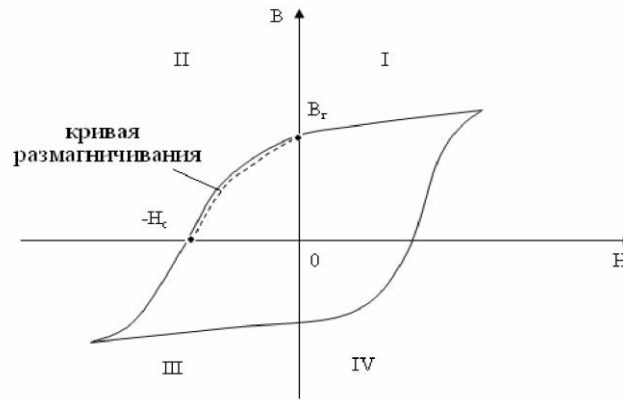


Рисунок 3.2 - Петля гістерезису з характерними точками і ділянками

Якщо знехтувати випучуванням силових ліній магнітного поля, то $B_\delta = B$. На підставі закону повного струму при інтегруванні по замкнутому контурі отримаємо:

$$H_\delta \cdot \delta + H \cdot l = 0,$$

звідки

$$H_\delta = -\frac{H \cdot l}{\delta}.$$

Таким чином, зі зміною повітряного зазору δ змінюються значення B_δ і H_δ , а значить і енергія магнітного поля в повітряному зазорі:

$$W_\delta = \frac{B_\delta \cdot H_\delta}{2} \cdot S \cdot \delta.$$

Леговані сталі, гартувати на мартенсит

Для виготовлення постійних магнітів використовуються мартенситні сталі, леговані добавками вольфраму, хрому, молібдену, кобальту.

переваги:

- а) допускають механічну обробку на металорізальних верстатах;
- б) незначна вартість.

недоліки:

- а) невисокі магнітні властивості.
- б) невисока максимальна питома енергія

В даний час цей матеріал знаходить обмежене застосування.

Литі магнітотверді сплави

До даних сплавів ставляться сплави на основі Al-Ni-Fe, які раніше називалися альні.

При додаванні Zr або Si магнітні властивості поліпшуються.

Сплав альні з Si називається альнісі; сплав альні з Co називається магніко; сплав альні з великим вмістом Co називається магніко. Різко поліпшені магнітні властивості сплаву магніко обумовлені не тільки його складом, але і спеціальною обробкою - охолодженням магнітів після відливання в сильному магнітному полі. Сплав магніко анізотропен: найкращі властивості він виявляє в тому напрямку, в якому при охолодженні на нього діяло магнітне поле.

Переваги:

- Магніко при рівній магнітної енергії в 4 рази легше магнітів зі сплаву альні і в 22 рази легше магнітів зі звичайної хромової сталі;
- Досить висока максимальна питома енергія .

Недоліки:

- Труднощі виготовлення з них виробів точних розмірів внаслідок крихкості і твердості сплавів, що допускають обробку тільки шляхом шліфування.

В даний час до 80% всіх споживаних промисловістю магнітотвердих матеріалів виготовляються з цих сплавів.

Магніти з порошків

Магніти з порошків бувають двох типів:

- а) металокерамічні магніти
- б) металлопластичні магнітів

Металокерамічні магніти виготовляються шляхом пресування порошку з подрібнених тонкодисперсних магнітотвердих сплавів і подальшого спікання при високих температурах.

Металлопластичні магніти виготовляються за аналогією прес совки деталей із пластмас, тобто є сполучна - органічний полімер і наповнювач, тільки в якості наповнювача використовують зерна магнітотверді сплаву. Через жорсткий наповнювача при виготовленні деталей або виробів потрібні високі тиску.

Переваги металокристалічних:

- Можливість отримання точних розмірів при виготовленні;
- Висока механічна міцність - в 3чб разів більше, ніж у литих магнітів.

Переваги метало пластичних:

- Можливість отримання точних розмірів і складної конфігурації виробів при виготовленні;
- Висока електричне опір дозволяє застосовувати в апаратурі зі змінним магнітним полем підвищеної частоти.

Магнітотверді ферити

До магнітотверді ферити відносяться барієвий, кобальтові та деякі інші ферити.

Найбільш відомий барієвий ферит $\text{BaO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$. На відміну від магнітом яких феритів він має не кубічну, а гексагональну кристалічну решітку з одношарової анізотропією.

В даний час промисловість випускає два види барієвих феритів:

- БІ (барієві ізотропні);
- БА (барієві анізотропні).

Технологія виготовлення подібна технології ММФ.

Переваги:

- 1) мала вага;

- 2) значно більше питомий електричний опір по порівняно з магнітотверді сплавами (в мільйони разів);
- 3) дешевизна (в 10 разів дешевше литих).

Недоліки:

- 1) низька механічна міцність;
- 2) велика крихкість;
- 3) сильна залежність магнітних властивостей від температури;
- 4) необоротна зміна магнітних властивостей після охолодження від кімнатної до низьких температур (-60°C) і нагрівання до першої температури.

Лекція № 10

Тема: Провідникові матеріали

Мета:

- 1 Ознайомити з загальними відомостями про провідникові матеріали
- 2 Дати характеристику різновидам провідникових матеріалів

Методи: словесний

План:

- 1 Загальні відомості про провідникові матеріали.
- 2 Електропровідність металів.
- 3 Різновиди провідникових матеріалів: мідь, алюміній, їх сплави.
- 4 Кріопровідники, надпровідники.

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН:
конспект

Література:

1 Конструкционные и электротехнические материалы: Учеб. для учащихся электротехн. спец. /В.Н. Бородулин, А.С. Воробьев, С.Я. Попов и др.; Под ред. В.А. Филикова. – М.: Высш. шк., 1990

2 Василенко І.І., Широков В.В., Василенко Ю.І. Конструкційні та електротехнічні матеріали: Навч. Посібник. – Львів: «Магнолія», 2007.
– 242 с.

Використання будь-якого електротехнічного матеріалу завжди супроводжується його вибором з існуючої номенклатури. З кожним роком номенклатура матеріалів, які застосовуються в електротехнічній промисловості, розширюється, що ускладнює завдання відбору відповідного матеріалу. Вибір слід проводити, виходячи з усього комплексу властивостей, якими він володіє. Для забезпечення надійної роботи проектованого електротехнічного виробу необхідні дані про вплив різних зовнішніх факторів на характеристики використовуваних матеріалів. Таким чином, тільки на підставі комплексного вивчення характеристик електротехнічних матеріалів може бути здійснений раціональний вибір того чи іншого електротехнічного матеріалу.

Провідникові матеріали

Провідниковими називаються матеріали, які мають високу питому провідність завдяки наявності в них великої кількості часток з електричними зарядами.

Класифікацію провідникових матеріалів за їхньою питомою провідністю можна представити у наступному вигляді:

- Надпровідники;

- Кріопровідники;
- Метали;
- Сплави металів;
- Електроліти;
- Напівпровідники.

Розходження між окремими матеріалами полягає не тільки в значеннях їхньої питомої провідності, але й у механізмі електропровідності. Для багатьох матеріалів характерна *електронна електропровідність*. Такі матеріали називаються *провідниками першого роду*. В електролітах та деяких інших провідниках проявляється *іонна електропровідність*. Вони називаються *провідниками другого роду*. *Моліонна (електрофоретична) електропровідність* також характерна для провідників другого роду.

Як провідники, можуть бути використані тверді речовини, рідини й, за певних умов, газу.

Твердими провідниками є метали, сплави металів, а також деякі модифікації вуглецю. З металевих провідникових матеріалів слід виділити метали високої питомої провідності, питомий опір яких при нормальній температурі не перевищує $0,05 \text{ мкОм}\cdot\text{м}$, і сплави високого опору, що мають питомий опір при нормальній температурі не менше $0,3 \text{ мкОм}\cdot\text{м}$.

До рідких провідників відносять розплавлені метали й електроліти. При нормальній температурі, як рідкий провідник, може використовуватися лише ртуть, яка має температуру плавлення -39°C або галій - $29,8^{\circ}\text{C}$. Інші метали можуть бути рідкими провідниками лише при підвищених або високих

температурах.

Електролітами є розчини кислот, лугів і солей, а також розплави іонних з'єднань. Електропровідність електролітів пов'язана з переносом іонів, у результаті чого склад електроліту поступово змінюється, а на електродах виділяються продукти електролізу.

Всі гази й пари при низькій напруженості електричного поля не є провідниками. Однак коли напруженість електричного поля перевищує деяке критичне значення, що відповідає появі ударної і фотонної іонізації, газ стає провідником з електронною та іонною електропровідністю. Особливе рівноважне провідне середовище представляє сильно іонізований газ із рівною кількістю електронів і позитивно заряджених іонів в одиниці об'єму, - плазмою.

Дуже малий питомий опір при низьких температурах мають кріопровідники й надпровідники.

Основні положення теорії електропровідності

Виведемо загальну формулу, що виражає зв'язок питомої провідності речовини з фізичними величинами, які характеризують носії заряду, наявні в речовині. Припустимо, що в речовині є тільки однакові за своєю природою, абсолютним значенням і знаком електричні заряди. Будемо вважати, що в одиниці об'єму речовини з ребром, рівним одиниці довжини, перебуває n носіїв зарядів. Тоді сумарний заряд цього об'єму відповідно дорівнює $n \cdot q$. Якщо в розглянутій частині речовини діє електричне поле з напруженістю E , яка перпендикулярна до однієї з граней куба, то на кожний носій заряду діятиме сила, рівна $F = n \cdot q \cdot E$. Ця сила створює впорядковану складову V_d швидкості носія заряду, що називається швидкістю дрейфу на відміну від V_T - невпорядкованого теплового руху. У позитивних зарядів швидкість дрейфу

збігається з напрямком напруженості електричного поля, а в негативних зарядів спрямована проти вектора напруженості. У зв'язку з тим, що швидкості різних носіїв зарядів відрізняються одна від одної й до того ж змінюються в часі, під V_d і V_T матимемо на увазі середню швидкість для всіх носіїв зарядів за деякий досить великий проміжок часу.

Провідникові матеріали

Вимоги, пропоновані до провідникових матеріалів:

- висока питома провідність;
- задовільні механічні властивості як при обробці, так і при експлуатації;
- легко й надійно паятися, зварюватися і т.д.;
- бути доступними на вітчизняному ринку;

Практичне застосування як провідникові матеріали одержали мідь і алюміній.

За механічними характеристиками розрізняють мідь марок МТ і ММ.

Мідь МТ (твердотягнута) одержують методом холодного протягання. Завдяки впливу наклепу вона має високу межу міцності при розтягуванні й мале відносне подовження, а також твердість і пружність.

Мідь ММ (м'яка відпалена) має малу твердість, невелику міцність і значне подовження при розриві.

Помітний вплив на механічні й електричні характеристики міді має температура. При нагріванні вище 200°C у результаті процесу рекристалізації механічні й електричні характеристики міді погіршуються. Крім того, питома провідність міді істотно залежить від наявності домішок. Так при вмісті в міді 0,5% домішок Zn , Cd або Ag її питома провідність зменшується на 5%.

До недоліків міді варто також віднести її схильність до атмосферної

корозії з утворенням окисних і сульфідних плівок. Швидкість окислювання зростає при нагріванні, але міцність зчеплення окисної плівки з металом не велика. Внаслідок окислювання мідь не придатна для слабкострумівих контактів, тому що металеве відшаровування і термічне розкладання викликає підвищене зношування мідних контактів при великих струмах.

М'яка мідь, питомий опір якої при 20 °С не повинен перевищувати 0,017241 мкОм*м. у вигляді дротів різного перерізу й форми, як правило, застосовується для **виготовлення струмопровідних жил кабелів, обмотувальних і монтажних проводів, екранів силових кабелів, обмоток трансформаторів і т.д.** **Тверда (холоднокатана) мідь**, питомий опір якої має бути не більше 0,0180 мкОм*м, застосовується в основному там, де необхідно забезпечити високу механічну міцність, твердість, пружність і опірність стираючим навантаженням. **Такі вимоги пред'являються до міді при виготовленні контактних проводів, шин розподільних пристроїв, колекторних пластин електричних машин і т. д.**

Сплави міді. У ряді випадків замість чистої міді як провідниковий матеріал застосовують її сплави з оловом, кремнієм, фосфором, берилієм, хромом, магнієм, кадмієм. Такі сплави, які називають бронзами, мають більше високі механічні характеристики, ніж чиста мідь. Відповідно до нормативних документів бронзи, які застосовують для виготовлення конструкційних і струмопровідних частин приладів і апаратів, розділяються на наступні групи:

- бронзи олов'яні, які обробляються тиском;
- бронзи олов'яні ливарні;
- бронзи безолов'яні ливарні.

Провідникові бронзи (кадмієва, фосфориста, берилієва, хромиста) застосовують для виготовлення контактних проводів, колекторних пластин, струмопровідних пластин, контактів і т. д.

Сплави міді з цинком - латуні, як і бронзи, володіють у порівнянні з міддю більш високими механічними характеристиками зокрема більшим відносним подовженням перед розривом і більшою межею міцності при розтяганні. Ця властивість забезпечує латуням технологічну перевагу в порівнянні з міддю при штампуванні, глибокій витяжці й т.п.

Другим за значенням провідниковим матеріалом є алюміній - найпоширеніший матеріал у природі. Його зміст у земній корі становить близько 7,5%. Алюміній має знижені в порівнянні з міддю як електричні, так і механічні властивості. Питомий опір алюмінію в 1.6 раза більше питомого опору міді, але алюміній в 3,5 раза легше міді. **Завдяки малій щільності забезпечується більша провідність на одиницю маси, тобто при однакових опорі й довжині алюмінієві дроти у два рази легше мідних, незважаючи на більший поперечний переріз.** Тому для виготовлення проводів однієї й тої ж провідності при даній довжині алюміній вигідніше міді в тому випадку, якщо тонна алюмінію дорожче міді не більш ніж у два рази.

В електротехнічній промисловості використовується алюміній, що містить не більше 0,5% домішок, марки А1. Більш чистий алюміній марки АВ00 (не більше 0,03% домішок) застосовують для виготовлення алюмінієвої фольги, електродів, корпусів оксидних конденсаторів. Алюміній найвищої чистоти марки АВ0000 містить домішок не більше 0.004%.

Алюміній активно окисляється і покривається тонкою плівкою окису з більшим електричним опором. Ця плівка охороняє алюміній від корозії, але створює великий перехідний опір у місцях контакту алюмінієвих проводів, що унеможлиблює пайку алюмінію звичайними методами. Для пайки алюмінію застосовують спеціальні пасти-припої або ультразвукові паяльники.

Важливе практичне значення має проблема захисту від гальванічної корозії місць контакту міді й алюмінію. Коли область контакту піддається

впливу вологи, то виникає місцева гальванічна пара з досить високим значенням е.р.с., причому полярність цієї пари така, що струм на зовнішній поверхні контакту спрямований від алюмінію до міді, внаслідок чого алюмінієвий провідник може бути сильно зруйнований корозією. Для усунення цього місця з'єднання мідних провідників з алюмінієвими повинні бути ретельно захищені від зволоження.

Надпровідники

Явище надпровідності було виявлено нідерландським вченим Х.Камерлінг-Оннесом в 1911 році, коли в процесі дослідження електропровідності металів при температурі скраплення гелію (4,2 К) він установив, що опір кільця із замороженої ртуті різким стрибком падає до надзвичайно малого, біля 10^{-25} Ом*м значення. Це в 10 разів менше опору міді при кімнатній температурі.

Лекція №11

Тема: Поляризація діелектриків

Мета: опанувати загальні відомості про поляризацію діелектриків

Методи: словесний, наочний

План:

- 1 Основні механічні властивості діелектриків.
- 2 Основні термічні властивості діелектриків.

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН:
КОНСПЕКТ

Література:

1 Конструкционные и электротехнические материалы: Учеб. для учащихся электротехн. спец. /В.Н. Бородулин, А.С. Воробьев, С.Я. Попов и др.; Под ред. В.А. Филикова. – М.: Высш. шк., 1990

2 Василенко І.І., Широков В.В., Василенко Ю.І. Конструкційні та електротехнічні матеріали: Навч. Посібник. – Львів: «Магнолія», 2007. – 242 с.

ПОЛЯРИЗАЦІЯ ДІЕЛЕКТРИКІВ

Основною властивістю діелектриків є здатність до поляризації під дією прикладеної напруги. Процес поляризації являє собою зміну розташування в просторі часток діелектрика, що мають електричні заряди. Елементарні диполі, що представляють зв'язані й невіддільні один від одного молекули діелектрика, позитивні й негативні заряди яких зміщені один відносно другого, характеризуються електричним моментом p :

$$p = q l, \quad (14.1)$$

де q - заряд диполя; l - відстань між зарядами.

Під дію електричного поля диполі починають орієнтуватися в просторі і створюють сумарний момент. Такий момент, віднесений до одиниці об'єму діелектрика, називається поляризованістю діелектрика P

$$P = \lim_{V \rightarrow 0} \frac{\sum_{i=1}^n p_i}{V}, \quad (14.2)$$

де V - об'єм діелектрика

Залежність поляризованості \mathbf{P} від напруженості електричного поля \mathbf{E} в діелектрику для більшості діелектриків має лінійний характер. При малих значеннях напруженості поля для ізотропних діелектриків можна записати

$$\mathbf{P} = \chi \varepsilon_0 \mathbf{E} = \alpha \mathbf{E} \quad (14.3)$$

де χ - діелектрична сприйнятливість діелектрика. Вона зв'язана з відносною діелектричною проникністю діелектрика співвідношенням $\varepsilon_r = 1 + \chi$; α - абсолютна діелектрична сприйнятливість чи питома поляризованість.

При заданому значенні прикладеної напруги величина заряду Q складається із заряду Q_0 , який був би присутній на електродах, якщо їх розділяв вакуум, і заряду Q_d , що обумовлений поляризацією діелектрика, який фактично поділяє електроди:

$$Q = Q_0 + Q_d \quad (14.4)$$

Здатність діелектрика утворювати ємність можна оцінити за допомогою параметра відносної діелектричної проникності ε_r , що представляє відношення заряду Q , отриманого при деякій напрузі на конденсаторі, що містить даний діелектрик, до заряду Q_0 , який можна було б одержати на конденсаторі тих же геометричних розмірів і при тій же напрузі, якби між електродами знаходився вакуум.

З наведеної формули видно, що значення ε_r будь-якого діелектрика більше одиниці і тільки якщо вакуум $\varepsilon_r = 1$.

Основні види поляризації діелектриків

Велика кількість різних механізмів поляризації діелектриків, що мають місце в діелектриках, можна розділити на два основних види:

- поляризації, що протікають під впливом електричного поля практично миттєво і не супроводжуються розсіюванням енергії, тобто без виділення тепла;
- поляризації, що протікають уповільнено і які супроводжуються розсіюванням енергії в діелектрику, тобто нагріванням. Такий вид поляризації називається релаксаційною.

До першого виду відносяться електронна й іонна поляризації. Інші механізми поляризації слід віднести до релаксаційних.

Електронна поляризація - це зсув орбіт електронів щодо атомних ядер. Даний механізм поляризації спостерігається у всіх діелектриків незалежно від наявності в них інших видів поляризації. При переміщенні діелектрика в зовнішнє електричне поле електронна поляризація встановлюється за час порядку 10^{-15} с. При підвищенні температури діелектрика у зв'язку з тепловим розширенням речовини і зменшенням числа часток в одиниці об'єму електронна поляризація зменшується. Однак слід зазначити, що температура не впливає на зсув і деформацію електронних орбіт атомів і іонів.

Іонна поляризація - це зсув один щодо одного іонів, що утворюють молекулу. Ця поляризація протікає за час порядку 10 с. При підвищенні температури іонна поляризація посилюється. Причиною цього є ослаблення пружних сил, що діють між іонами внаслідок збільшення відстані між ними при тепловому розширенні.

Дипольна поляризація - це орієнтація дипольних молекул у полярних діелектриках під дією електричного поля. Вона належить до числа релаксаційних поляризацій. Діелектрики, що містять електричні диполі, здатні орієнтуватися в зовнішньому електричному полі, називаються полярними. Очевидно, що дана поляризація буде виявлятися тим інтенсивніше, чим більше дипольний момент даного матеріалу. Залежно від величини електричних моментів диполів, в'язкості середовища, а також інтенсивності теплового руху молекул час установаження даної поляризації складає 10^{-2} - 10^{-10} с.

Дипольна поляризація властива полярним газам і рідинам. У цих діелектриках у зв'язку з незначною щільністю і невеликими розмірами молекул при впливі електричного поля відбувається поворот самих молекул. У твердих діелектриках також може спостерігатися дипольна поляризація. Але, на відміну від газоподібних і рідких діелектриків, поворот молекул тут неможливий, а відбувається орієнтація окремих груп атомів без порушення їхнього зв'язку з молекулами.

Зі збільшенням температури молекулярні сили слабшають, в'язкість

речовини зменшується, тому спочатку дипольна поляризація посилюється. Однак у той же час зростає енергія теплового руху молекул, що зменшує вплив електричного поля, і коли тепловий рух стає інтенсивним, дипольна поляризація зменшується. Проміжок часу, протягом якого впорядкованість орієнтованих полем диполів після його зняття зменшується внаслідок теплового руху в e раз у порівнянні з початковим значенням, називається часом релаксації. Іонно-релаксаційна поляризація спостерігається в іонних діелектриках з нещільним упакуванням іонів. Даний вид поляризації характерний для неорганічного скла, а також для деяких неорганічних кристалічних речовин. Слабко зв'язані іони під дією зовнішнього електричного поля крім хаотичних теплових переміщень одержують додаткові переміщення в напрямку поля. Після зняття електричного поля орієнтація іонів поступово слабшає за експонентним законом. При підвищенні температури іонно-релаксаційна поляризація посилюється.

Електронно-релаксаційна поляризація виникає в діелектриках за рахунок збуджених тепловою енергією надлишкових "дефектних" електронів чи дірок. Даний вид поляризації характерний для діелектриків з електронною електропровідністю і значним внутрішнім електричним полем. Діелектрики з електронно-релаксаційною поляризацією мають високе значення відносної діелектричної проникності. У кривій залежності $\epsilon_r = f(T)$ спостерігається максимум навіть при негативних температурах. При збільшенні частоти дана поляризація, як правило, зменшується.

Міграційна поляризація характерна для неоднорідних діелектриків і обумовлена перерозподілом вільних зарядів у його об'ємі. Даний вид поляризації зв'язаний з наявністю в діелектрику шарів з різною діелектричною проникністю і провідністю, а також різних провідних і напівпровідних включень. На межі розподілу між шарами в шаруватих матеріалах і в приелектродних шарах може відбуватися нагромадження зарядів повільно рухаючих іонів, що створює ефект міжшарової поляризації. У результаті цього в такому діелектрику при внесенні його в електричне поле утворюються

поляризовані області. При міграційній поляризації спостерігається значне розсіювання електричної енергії.

Мимовільна чи спонтанна поляризація спостерігається в сегнетоелектриках. У цих речовинах існують окремі області, що мають електричний момент навіть при відсутності зовнішнього електричного поля. Орієнтація електричних моментів у доменах різна. При внесенні даного діелектрика в електричне поле відбувається орієнтація електричних моментів у напрямку поля, в результаті чого спостерігається сильна поляризація. На відміну від інших видів поляризації, при деякому значенні напруженості зовнішнього поля настає насичення і подальше збільшення напруженості не приводить до посилення поляризації. Діелектрична поляризація в сегнетоелектриках нелінійно залежить від величини напруженості електричного поля.

Лекція № 12

Тема: Електропровідність діелектриків

Мета:

- 1 Ознайомити з загальними відомостями про діелектричні матеріали
- 2 Дати характеристику поняттю діелектричні втрати

Методи: словесний

План:

- 1 Загальні відомості про діелектричні матеріали.
- 2 Електропровідність діелектриків.

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН:
конспект

Література:

1 Конструкционные и электротехнические материалы: Учеб. для учащихся электротехн. спец. /В.Н. Бородулин, А.С. Воробьев, С.Я. Попов и др.; Под ред. В.А. Филикова. – М.: Высш. шк., 1990

2 Василенко І.І., Широков В.В., Василенко Ю.І. Конструкційні та електротехнічні матеріали: Навч. Посібник. – Львів: «Магнолія», 2007.
– 242 с.

Діелектрики належать до найбільш розповсюджених матеріалів, які застосовуються в електротехнічній промисловості. Якщо раніше ці матеріали використовували тільки як електричну ізоляцію, то в даний час, завдяки досягненням науки, вони одержали поширення в різних галузях електротехніки, радіоелектроніки й технічної кібернетики. У зв'язку з цим, раціональний вибір того чи іншого діелектричного матеріалу можливий тільки на підставі знань про їхні характеристики і вплив на них різних факторів. Це дозволить забезпечити надійну і стабільну роботу виробів, у яких застосовуються діелектричні матеріали.

Діелектрики – це матеріали здатні поляризуватись і мають дуже низьку електропровідність.

В газоподібних, рідких і твердих діелектриках електричні заряди міцно пов'язані з атомами, молекулами або іонами і в електричному полі можуть лише зміщуватися. Відбувається поділ центрів позитивного і негативного зарядів, тобто поляризація. Використовувані на практиці діелектрики містять і вільні заряди, які, переміщаючись в електричному полі, зумовлюють

електропровідність, здатність діелектрика пропускати постійний електричний струм. Однак кількість таких вільних зарядів в діелектрику невелика, а тому вельми малий і струм. **Отже, для діелектрика характерним є досить великий опір проходженню постійного струму.**

Діелектричними матеріалами називають клас електротехнічних матеріалів, призначених для використання їх діелектричних властивостей (надавати великий опір проходженню електричного струму і здатність поляризуватися).

Електроізоляційними матеріалами називають діелектричні матеріали, призначені для створення електричної ізоляції струмоведучих частин в електротехнічних і радіоелектронних пристроях. Електрична ізоляція є невід'ємною частиною електричного кола і передусім потрібна для того, щоб не пропускати струм в непередбачених електричною схемою шляхам.

2. ЕЛЕКТРОПРОВІДНІСТЬ ДІЕЛЕКТРИКІВ

За своїм призначенням електроізоляційні матеріали не повинні пропускати електричний струм. Однак поляризаційні процеси зсуву зв'язаних зарядів у речовині обумовлюють появу поляризаційних струмів, чи струмів зсуву в діелектрику. Вони протікають до моменту встановлення рівноважного стану. При електронній і іонній поляризаціях ці струми протікають практично миттєво і приладами, як правило, не фіксуються.

Струми зсуву, обумовлені різними видами релаксаційних поляризацій, називають абсорбційними струмами.

При постійній напрузі абсорбційні струми спостерігаються тільки в період включення і вимикання напруги. Під впливом змінної напруги ці струми протікають весь час до моменту відключення напруги.

З огляду на те, що в технічних діелектриках є вільні заряди, здатні переміщатися під дією електричного поля крім абсорбційних струмів протікає також струм наскрізної електропровідності. Загальний струм у діелектрику можна представити у вигляді суми наскрізного й абсорбційного струмів. Цей

струм називається струмом витоку. Залежність струму витоку через діелектрик від часу показана на рис.2.1.

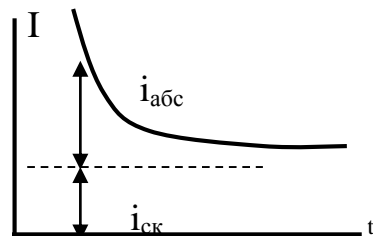


Рис.2.1–Залежність величини струму витоку через діелектрик від часу

Тривала робота твердих і рідких діелектриків може привести як до збільшення, так і до зменшення наскрізного струму. Зменшення наскрізного струму пояснюється тим, що електропровідність була обумовлена носіями зарядів, що містяться в домішках і з часом відбулося електричне очищення зразка. Збільшення струму зв'язано з протіканням у діелектрику необоротних процесів старіння речовини під напругою й участю в електропровідності зарядів, що є структурними елементами самої речовини.

Електропровідність діелектриків пояснюється наявністю в них вільних, тобто не зв'язаних з визначеними молекулами і здатних переміщуватися під дією електричного поля іонів, моліонів, електронів чи дірок.

Для багатьох електроізоляційних матеріалів характерна іонна електропровідність, пов'язана з переносом іонів, тобто з явищем електролізу. У ряді випадків електролізу піддається основна речовина діелектрика. Однак мають місце випадки (в основному для органічних діелектриків), коли молекули основної речовини діелектрика не мають здатності піддаватися дисоціації, але іонна електропровідність виникає завдяки присутності неминучих забруднень – води, солей, кислот, лугів та ін. Навіть незначний вміст домішок помітно впливає на провідність діелектриків.

У діелектриків з іонним характером електропровідності дотримується закон Фарадея: кількість речовини, що виділилася при електролізі, пропорційна кількості пройшовшої через речовину електрики.

Молионна електропровідність спостерігається в колоїдних системах, що представляють тісну суміш двох фаз, причому одна фаза (дисперсна) у виді дрібних часток рівномірно зважена в іншій (дисперсному середовищі). З колоїдних систем в електроізоляційній техніці найбільше часто зустрічаються емульсії (обидві фази рідини) і суспензії (дисперсна фаза – тверда речовина, дисперсне середовище – рідина). Стабільність колоїдних систем пов'язана з наявністю на поверхні часток дисперсної фази електричних зарядів. При впливі на колоїдну систему електричного поля частки починають рухатися, що проявляється як явище електрофорезу. При електрофорезі на відміну від електролізу, не спостерігається утворення нових речовин, а тільки змінюється відносна концентрація дисперсної фази в різних частинах об'єму системи.

Молионна електропровідність спостерігається в рідких лаках і компаундах, у зволжених оліях і т.д.

У деяких діелектриках спостерігається електронна електропровідність. Так, рутил TiO_2 , ряд титанатів $BaTiO_3$, $CaTiO_3$ та ін. виявляють електронний характер електропровідності. У сильних електричних полях можлива інжекція зарядів (електронів, дірок) у діелектрик з металевих електродів, а також утворення іонів і електронів у результаті ударної іонізації.

Провідність діелектрика можна визначити за формулою

$$G_{из} = (I_{ут} + I_{абс}) / U,$$

(2.1)

де $I_{ут}$ – струм витоку;

$I_{абс}$ – сума струмів, викликаних уповільненими механізмами поляризації,

U - прикладена постійна напруга.

Для твердих діелектриків розрізняють об'ємну провідність ізоляції G_v , чисельно визначальну провідність через товщину матеріалу, і поверхневу провідність G_s , що характеризує наявність шару підвищеної електропровідності на поверхні розділу твердої ізоляції з навколишнім газоподібним чи рідким середовищем. Цей шар утворюється внаслідок неминучих забруднень,

зволоження і т.д. Відповідно вводяться поняття об'ємного струму витoku I_v і поверхневого струму витoku I_s .

Для порівняльної оцінки об'ємної і поверхневої провідності різних матеріалів користаються значеннями питомого об'ємного опору ρ_v і питомого поверхневого опору ρ_s .

У системі СІ питомий об'ємний опір чисельно дорівнює опору куба з ребром в один метр, вирізаного з досліджуваного матеріалу, якщо струм проходить через дві протилежні грані цього куба. Розмірність цього опору Ом*м.

Для плоского зразка з постійним поперечним перерізом, вміщеного в одно-рідне поле, питомий об'ємний опір визначається за формулою

$$\rho_v = R_v \frac{S}{h}, \quad (2.2)$$

де R_v - об'ємний опір, Ом; S – площа електрода, м²; h – товщина зразка, м.

Значення ρ_v для порівняно низькоякісних діелектриків (деревина, папір, асбестоцемент і т.д.) знаходиться в межах 10^6 - 10^8 Ом м. Для таких матеріалів як полістирол, поліетилен і т.д. значення ρ_v складає 10^{14} - 10^{16} Ом м, у неіонізованих газів значення ρ_v ще вище.

Питомий поверхневий опір ρ_s чисельно дорівнює опору квадрата (будь-яких розмірів), думкою виділеного на поверхні матеріалу, якщо струм проходить через дві його протилежні:

$$\rho_s = R_s \frac{d}{l}, \quad (2.3)$$

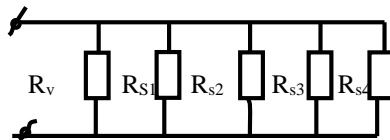
де R_s – поверхневий опір зразка матеріалу між паралельно розташованими електродами, Ом; d -ширина електрода, м; l - відстань між електродами, м.

Розмірність питомого поверхневого опору - Ом.

Використовуючи значення питомого об'ємного і поверхневого опорів, можна визначити питому об'ємну провідність $\gamma_v = 1/\rho_v$ і відповідно питому поверхневу провідність $\gamma_s = 1/\rho_s$.

Повна провідність твердого зразка діелектрика дорівнює сумі об'ємної і поверхневої провідностей.

Розглянемо задачу: дві протилежні грані куба з ребром $a = 10\text{мм}$ з діелектричного матеріалу з питомим об'ємним опором $\rho_v = 10^{10}\text{Ом}\cdot\text{м}$ і питомим поверхневим опором $\rho_{\text{ш}} = 10^{11}\text{Ом}$ покриті металевими електродами. Визначити струм, який протікає через ці грані при постійній напрузі $U = 2\text{кВ}$. Наведемо еквівалентну схему заміщення даного діелектрика



Спочатку визначимо об'ємний і поверхневий опори діелектрика

$$R_v = \rho_v a / a^2 = \rho_v / a = 10^{12}\text{Ом}$$

$$R_{S1} = R_{S2} = R_{S3} = R_{S4} = 10^{11}\text{Ом}$$

Опір ізоляції

$$R_{\text{іс}} = R_v R_{S1} / (R_{S1} + 4R_v) = 2,44 \cdot 10^{10}\text{Ом};$$

Струм, що протікає через діелектрик

$$I = U / R_{\text{іс}} = 2 \cdot 10^3 / 2,44 \cdot 10^{10} = 8,2 \cdot 10^{-8}\text{А}.$$

2.1. Електропровідність газоподібних діелектриків

Електропровідність у газах виникає тільки при наявності в них іонів чи вільних електронів. Іонізація нейтральних молекул газу відбувається під дією зовнішніх факторів, або внаслідок зіткнення іонізованих часток самого газу, прискорених електричним полем, з молекулами газу. Зовнішніми факторами є ультрафіолетові промені, рентгенівське випромінювання, космічні промені, радіоактивне випромінювання, а також термічне нагрівання газу. Іонізація відбувається внаслідок поглинання нейтральними молекулами фотонів. Енергія фотона визначається за формулою $W = h\nu$, де h – постійна Планка, $\nu = \frac{C}{\lambda}$ - частота випромінювання, $1/c$; C – швидкість світла; λ - довжина хвилі.

Іонізація молекул відбувається при перевищенні енергією кванта випромінювання величини потенціалу іонізації, $U_{и}$:

$$h\nu > eU_{в} = U_{и}, \quad (2.4)$$

де $U_{в}$ – потенціал виходу (робота, яку необхідно затратити для видалення за межі атома частки, носія заряду), e – заряд електрона ($1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл)

З підвищенням частоти здатність молекул газу до іонізації збільшується.

Енергія, яку необхідно затратити на іонізацію молекул газу, вимірюється в електронвольтах (eV). Енергія в 1 eV дорівнює кінетичній енергії, що здобуває електрон при вільному русі між двома точками з різницею потенціалів у 1В. Отже, 1eV дорівнює енергії $eU = 1,6 \cdot 10^{-19}$, Вт с (Дж).

Потенціал іонізації більшості газів знаходиться в межах 10-20 eV.

Вільні електрони, знаходячись у русі, зіштовхуються з молекулами газу, при цьому частина з них рекомбінує, тобто захоплюється позитивними іонами, а частина, що захоплюється нейтральними молекулами, утворює негативні іони. Час життя вільного електрона складає близько 10^{-6} с. Оскільки процеси іонізації і рекомбінації проходять одночасно, то при визначеній температурі і тиску настає рівновага, при якій забезпечується постійна концентрація іонів. На підставі результатів досліджень встановлено, що в

звичайних умовах середня концентрація позитивних іонів у повітрі складає 750 1/см^3 , а негативних – 650 1/см^3 .

Під впливом зовнішніх факторів газ здобуває хоч і дуже малу, але певної величини електропровідність, що називається несамостійною. При збільшенні напруги, що прикладається до газового проміжку, виникає ударна іонізація електронами, які під дією поля здобувають кінетичну енергію, достатню для іонізації нейтральних молекул при їхньому зіткненні. Одночасно з іонізацією газу відбувається і рекомбінація позитивних і негативних іонів з утворенням нейтральних молекул. Електропровідність газу, обумовлена ударною іонізацією, називається самостійною.

На рис.2.2. приведена вольт-амперна характеристика газового проміжку. У випадку утворення електропровідності під дією зовнішніх факторів при незначній напрузі струм дуже малий і баланс процесів утворення іонів і їхньої рекомбінації зберігається. У розглянутому режимі виконується закон Ома

$$\mathbf{J = \gamma E = \gamma U / h,} \quad (2.5)$$

де J – щільність струму; γ - питома провідність; U – напруга, що прикладається; h - відстань між електродами.

На рис 2.2. цей режим відповідає ділянці OA .

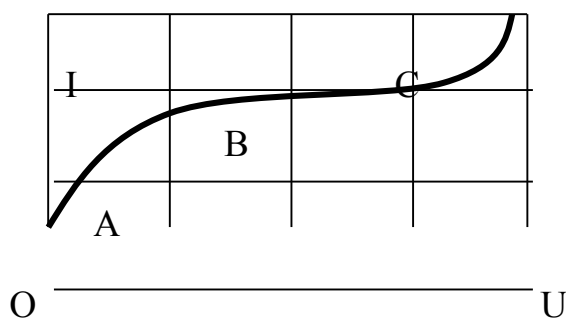


Рис 2.2 – Вольтамперна характеристика газового проміжку.

При подальшому збільшенні напруги баланс процесів утворення іонів і їхньої рекомбінації порушується, тому що іони несуться до електродів, не встигаючи рекомбінувати. Струм росте повільніше напруги (ділянка AB). Зменшення концентрації іонів продовжується з ростом напруги і при певному його значенні настає насичення (ділянка BC). Іони, що утворюються під впливом

зовнішніх іонізаторів, несуться до електродів. Щільність струму в цьому випадку дорівнює

$$J = N q h, \quad (2.6)$$

де N – кількість позитивних і негативних іонів; q – заряд іона; h – відстань між електродами.

Подальше збільшення напруги супроводжується посиленням ударної іоні-зації і збільшенням кількості вільних електронів практично в геометричній прогресії, що приводить до різкого зростання струму.

2.2. Електропровідність рідких діелектриків

Електропровідність у рідких діелектриках виникає при пересуванні іонів чи переміщенні відносно великих заряджених колоїдних часток, а також електронів.

Полярні рідини завжди мають підвищену провідність у порівнянні з неполярними, причому зростання діелектричної проникності приводить до зростання провідності.

У неполярних рідинах електропровідність визначається наявністю дисоційованих домішок, особливо води. Очищення рідких діелектриків від домішок, що містяться в них, забезпечує зменшення провідності. Однак повністю очистити рідкий діелектрик від домішок, що містяться в ньому, практично не вдається, що утруднює одержання електроізоляційної рідини з малою питомою провідністю.

На величину питомої провідності будь-якої рідини істотно впливає температура. З її підвищенням зростає провідність, тому що зменшується в'язкість рідини, зростає рухливість іонів і може збільшитися ступінь теплової дисоціації.

Відповідно до закону Вальдена, добуток питомої провідності рідкого діелектрика на його в'язкість є величиною постійною і не залежить від температури. Закон Вальдена виконується краще для чистих рідин і гірше при наявності в них домішок. Для неполярних рідин відступ від закону Вальдена

більш помітний, ніж для полярних. На рис 2.3 наведена залежність струму від напруженості поля в рідких діелектриках.

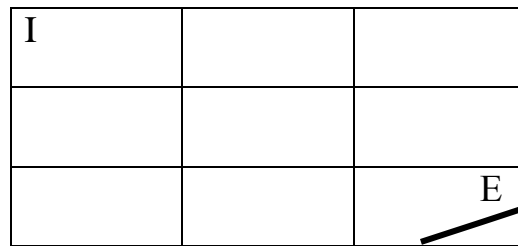


Рис 2.3 – Залежність струму від напруженості поля в рідкому діелектрику

Питома провідність залежно від концентрації іонів може бути представлена рівнянням $\gamma = nq(u_+ + u_-)$, де n – число іонів у см^3 ; q – заряд іона; u_+ і u_- – рухливість, відповідно позитивних і негативних іонів.

При невеликих значеннях напруженості електричного поля рухливість позитивних і негативних іонів незначна, порядку $10^{-4} \text{ см}^2/\text{сВ}$. У цьому випадку, внаслідок малої довжини вільного пробігу електрони не встигають одержати достатню кінетичну енергію для ударної іонізації. Струм підкоряється закону Ома. При напруженостях електричного поля 10 МВ/м і більше закон Ома вже не виконується, що пов'язано з появою електронної провідності внаслідок ударної іонізації і збільшенням числа іонів, що рухаються під дією поля. Питома провідність очищених технічних рідких діелектриків знаходиться в межах $10^{-8} - 10^{-13} \text{ 1/Ом м}$.

У колоїдних системах спостерігається моліонна чи електрофоретична електропровідність, при якій носіями зарядів є групи молекул – моліонів. Швидкість руху таких часток залежить від в'язкості рідини. Відповідно до закону Стокса стала швидкість руху кулі в в'язкому середовищі визначається як

$$V = \frac{F}{6\pi r\eta}, \quad (2.7)$$

де F – сила, що діє на кулю; r – радіус кулі; η – динамічна в'язкість.

Сила, що діє на електричний заряд і викликає його спрямоване переміщення, дорівнює $F = qE$. Тоді

$$V = \frac{qE}{6\pi r\eta} \quad (2.8)$$

Рухливість зарядів визначається як $u = V/E$. Звідси визначимо з наведеного рівняння рухливість носіїв зарядів у рідких діелектриках:

$$u = \frac{q}{6\pi r\eta} \quad (2.9)$$

З даного рівняння видно, що рухливість носіїв зарядів у рідких діелектриках істотно залежить від розмірів часток і в'язкості рідини.

У загальному виді питому провідність діелектриків можна представити у виді $\gamma = nqu$. Тоді, з урахуванням вищенаведеного рівняння, питому провідність рідкого діелектрика при моліонній електропровідності визначимо як

$$\gamma = \frac{nq}{6\pi r\eta} \quad (2.10)$$

Питома провідність рідких діелектриків сильно залежить від температури, тому що при її підвищенні зменшується в'язкість рідини і збільшується кон-центрація вільних носіїв зарядів унаслідок теплової дисоціації. Дана залежність має вигляд

$$\gamma = \gamma_0 \exp[a(T - T_0)], \quad (2.11)$$

де a – температурний коефіцієнт збільшення питомої провідності.

2.3. Електропровідність твердих діелектриків

Електропровідність твердих діелектриків обумовлена пересуванням іонів або наявністю в них вільних електронів.

Вид електропровідності можна встановити експериментально, використовуючи закон Фарадея. Іонна електропровідність супроводжується переносом речовини, тобто явищем електролізу. При електронній електропровідності дане явище не спостерігається.

У діелектриках з атомними чи молекулярними ґратками електропровідність залежить тільки від наявності домішок. Як правило, питома провідність таких матеріалів незначна.

Більшість застосовуваних на практиці твердих діелектриків мають іонну електропровідність. Це синтетичні й органічні полімери, неорганічне скло, керамічні матеріали, кристали і т.д. Пов'язано це з тим, що енергія звільнення іонів у твердих діелектриках не перевищує 5eВ, тоді як для електронів вона більше 5eВ.

Питому провідність у твердих діелектриках можна записати у вигляді

$$\gamma = nqu,$$

(2.12)

де n – число носіїв в одиниці об'єму, м^{-3} ; q – заряд носія, Кл; u – рухливість $\text{м}^2/(\text{Вс})$.

При іонній електропровідності число дисоційованих іонів і їхня рухливість знаходяться в експонентній залежності від температури:

$$n_T = n \exp[-W_d/(k)], \quad (2.13)$$

$$u_T = u_{\max} \exp[-W_{\text{пер}}/(k)], \quad (2.14)$$

де n - загальне число електронів у 1м^3 ; W_d – енергія дисоціації; k -теплова енергія; u_{\max} гранична рухливість іона; $W_{\text{пер}}$ - енергія переміщення іона.

Підставляючи n_T і u_T у рівняння для питомої провідності (2.12) і об'єднавши постійні n , u_{\max} , і q в один коефіцієнт A , одержимо

$$\gamma = A \exp(-b/T),$$

(2.15)

де $b = (W_d + W_{\text{пер}})/k$

З цієї формули випливає, що чим більше значення енергії переміщення й енергії дисоціації, тим значніше змінюється питома провідність при зміні температури.

У зв'язку з тим, що звичайно $W_d \gg W_{пер}$, температурна залежність питомої провідності визначається в основному зміною концентрації носіїв.

При напругах, близьких до значення напруги пробою, у створенні струму поряд з іонами беруть участь і електрони.

У речовинах кристалічної будови з іонними ґратками електропровідність зв'язана з валентністю іонів. Кристали з одновалентними іонами мають більшу провідність, ніж кристали з багатовалентними іонами.

В анізотропних кристалах питома провідність неоднакова по різних осях кристала.

У твердих пористих діелектриках при поглинанні ними вологи питома провідність істотно підвищується, особливо в тих випадках, коли в діелектрику є домішки, легко розчинні у воді. Для зменшення вологовбирання і вологопроникливості пористих діелектриків їх піддають просоченню.

Лекція № 13

Тема: Діелектричні втрати

Мета:

- 1 Ознайомити з загальними відомостями про діелектричні втрати
- 2 Дати характеристику поняттю кут діелектричних втрат
- 3 Охарактеризувати різні види діелектричних втрат
- 4 Освоїти діелектричні втрати в газах, рідких діелектриках

Методи: словесний

План:

- 1 Загальні відомості про діелектричні втрати.
- 2 Кут діелектричних втрат.
- 3 Основні види діелектричних втрат.
- 4 Діелектричні втрати в газах, рідких речовинах.

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН:
конспект

Література:

1 Конструкционные и электротехнические материалы: Учеб. для учащихся электротехн. спец. /В.Н. Бородулин, А.С. Воробьев, С.Я. Попов и др.; Под ред. В.А. Филикова. – М.: Высш. шк., 1990

2 Василенко І.І., Широков В.В., Василенко Ю.І. Конструкційні та електротехнічні матеріали: Навч. Посібник. – Львів: «Магнолія», 2007. – 242 с.

ДИЕЛЕКТРИЧНІ ВТРАТИ

Діелектричними втратами називають електричну потужність, що розсіюється в діелектрику в одиницю часу при впливі на нього електричного поля і викликає нагрівання діелектрика.

Втрати енергії в діелектрику спостерігаються як при змінній, так і при постійній напрузі. При постійній напрузі діелектричні втрати обумовлені електропровідністю. При впливі змінної напруги в діелектриках, крім наскрізної електропровідності можуть проявлятися й інші механізми перетворення електричної енергії в теплову.

Для оцінки здатності діелектрика розсіювати енергію в електричному полі використовують кут діелектричних втрат чи тангенс цього кута.

Кутом діелектричних втрат називається кут, що доповнює до 90 кут фазового зсуву між струмом і напругою в ємнісному колі.

Чим більше потужність, що розсіюється, тим менше кут фазового зсуву і тим більше кут діелектричних утрат δ . У разі ідеального діелектрика вектор струму випереджає вектор напруги на 90, тому кут діелектричних втрат буде дорівнювати нулю.

При постійній напрузі діелектричні втрати обумовлені практично тільки струмом наскрізної провідності, тому що втрати на однократну поляризацію незначні, а втрати, що виникають у результаті протікання поверхневого струму, розсіюються в навколишньому середовищі. Таким чином, діелектричні втрати, що розсіюються в об'ємі діелектрика і викликані струмом об'ємної наскрізної провідності при постійній напрузі, можна визначити за фор-

мулою

$$P_a = UI_{скв} = U^2 \gamma_v \frac{S}{h}$$

Для вивчення поведження діелектрика з діелектричними втратами при змінній напрузі, доцільно подати його у вигляді еквівалентних схем, що вміщують ємність і активний опір, які включені між собою послідовно чи паралельно.

Дані схеми представлені на рис.3.1.

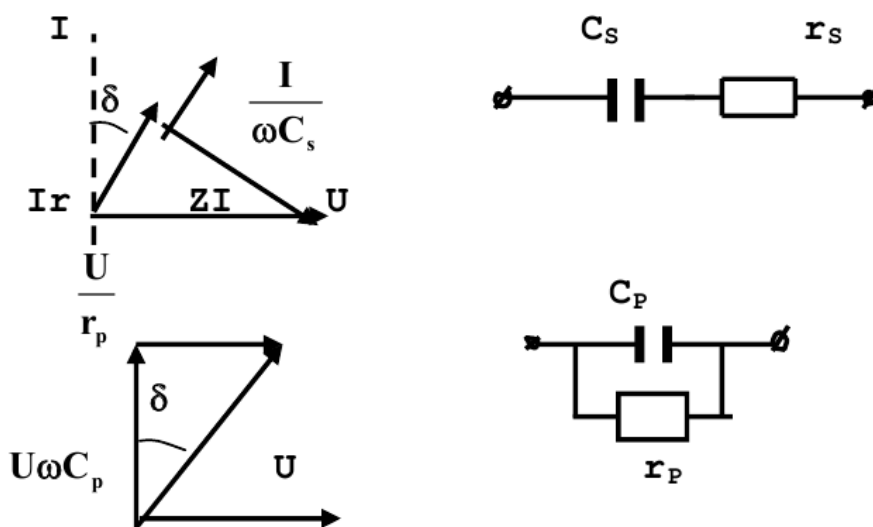


Рис.3.1. Векторні діаграми й еквівалентні схеми заміщення діелектрика

Ці схеми еквівалентні одна одній, якщо при рівності повних опорів $Z_1 = Z_2 = Z$ рівні, відповідно, їх активні й реактивні складові. Ця умова виконується, коли кути зсуву струму щодо напруги рівні і значення активної потужності однакові.

Для послідовної схеми запишемо

$$P_a = UI \cos \varphi = \frac{U^2 r_s}{x^2 + r_s^2} = \frac{U^2 r_s}{x^2 (1 + r_s^2)} = \frac{U^2 \omega C_t \operatorname{tg} \delta}{1 + \operatorname{tg}^2 \delta}$$

$$\operatorname{tg} \delta = \omega C_s r_s$$

Для паралельної схеми

$$P_a = UI_a = U^2 \omega C \operatorname{tg} \delta$$

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{1}{\omega C_p r_p}$$

Співвідношення між i_p , а також між i_p і i_s можна визначити, прирівнюючи один до одного співвідношення:

$$C_p = \frac{C_s}{1 + \operatorname{tg}^2 \delta}, \quad r_p = r_s \left(1 + \frac{1}{\operatorname{tg}^2 \delta}\right)$$

Для високоякісних діелектриків значенням δ можна зневажити і вважати $C_p \approx C_s \approx C$. Потужність, що розсіюється в діелектрику, у цьому випадку буде однаковою для обох схем:

$$P_a = U^2 \omega C \operatorname{tg} \delta$$

Якщо потрібно визначити розподіл діелектричних втрат у різних місцях діелектрика, то для розрахунку питомих діелектричних втрат у точці, де напруженість електричного поля дорівнює E , використовують формулу

$$p = \frac{P}{V} = \frac{U^2 \omega C \operatorname{tg} \delta}{Sh} = \frac{U^2 \omega \epsilon \epsilon_0 S \operatorname{tg} \delta}{Sh} = E^2 \omega \epsilon \epsilon_0 \operatorname{tg} \delta$$

Добуток $\epsilon \operatorname{tg} \delta$ називається коефіцієнтом діелектричних втрат. З наведеної формули можна зробити висновок, що при заданій частоті і напруженості електричного поля, діелектричні втрати пропорційні коефіцієнту діелектричних втрат.

Використання електроізоляційного матеріалу, що володіє великими діелектричними втратами, приводить до нагрівання виготовленого з нього виробу і передчасного його теплового старіння.

Види діелектричних втрат

За фізичною природою діелектричні втрати розділяють на види:

- втрати, обумовлені поляризацією
- втрати на електропровідність;
- іонізаційні втрати
- втрати, обумовлені неоднорідністю структури.

Втрати, обумовлені поляризацією, характерні для діелектриків, що володіють уповільненими видами поляризації. До таких діелектриків, зокрема, відносяться діелектрики з дипольною структурою і діелектрики з іонною структурою з нещільним упакуванням іонів.

Релаксаційні діелектричні втрати викликані порушенням теплового руху часток під впливом сил електричного поля. Це приводить до розсіювання енергії і нагрівання діелектрика.

При підвищенні частоти дані втрати зростають. Особливо вони значні на високих і надвисоких частотах.

У полярних діелектриків має місце характерний дипольний максимум у кривій залежності $\text{tg}\delta$ від температури (рис.3.2). При підвищенні частоти цей максимум зрушується в область більш високих температур.

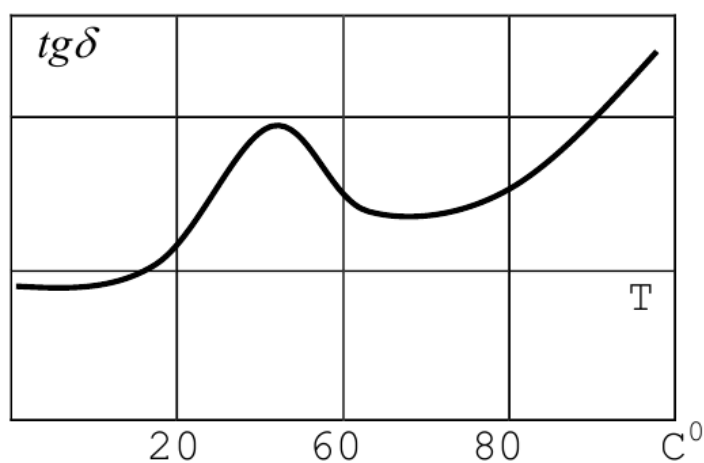


Рис.3.2 – Залежність $\text{tg}\delta = f(T)$ для полярних діелектриків

У полярних діелектриках існують також **втрати від наскрізної електропровідності**, тому після переходу через дипольний максимум спостерігається ріст $\text{tg}\delta$ у зв'язку зі зростанням питомої провідності. При наявності декількох фізичних механізмів релаксаційних втрат у залежності $\text{tg}\delta = f(T)$ з'являються додаткові максимуми.

Діелектричні втрати в сегнетоелектриках пов'язані з явищем спонтанної поляризації. Особливо вони значні при температурах нижче точки Кюрі. При температурах вище точки Кюрі ці втрати зменшуються.

До діелектричних **втрат, викликаних поляризацією**, відносяться також **резонансні втрати**, що спостерігаються в діелектриках при високих частотах.

Дані втрати можуть виникати в газах при деяких частотах і у твердих діелектриках, коли частота змушених коливань, викликаних електричним полем, збігається з частотою власних коливань часток твердої речовини.

Діелектричні втрати, обумовлені наскрізною електропровідністю, спостерігаються в діелектриках, що володіють значною об'ємною чи поверхневою провідністю. Тангенс кута діелектричних втрат у цьому разі визначається за формулою

$$\operatorname{tg}\delta = \frac{1,8 * 10^{10}}{\varepsilon_r f \rho}$$

При підвищенні температури діелектричні втрати, обумовлені наскрізною електропровідністю, збільшуються за експонентним законом:

$$P_{at} = P_{ao} \exp(\alpha T)$$

де P_{at} - втрати при температурі T °C;

P_{ao} - втрати при температурі 0 °C;

α - постійна матеріалу.

Значення $\operatorname{tg}\delta$ при зміні температури змінюється за тим же законом, тому що значення реактивної потужності ($U^2 \omega C$) від температури практично не залежить.

Іонізаційні діелектричні втрати характерні для діелектриків у газоподібному стані. Ці втрати мають місце, як правило, в неоднорідних електричних полях, коли величина прикладеної напруги перевищує значення напруги іонізації. Визначити їх можна за формулою

$$P_{ai} = Af(U - U_u)^3$$

де A – постійний коефіцієнт;

f – частота поля;

U – прикладена напруга;

U_u – напруга, що відповідає початку іонізації.

Приведена формула справедлива при лінійній залежності $\text{tg}\delta$ від напруженості поля.

Діелектричні **втрати, обумовлені неоднорідністю** структури, виникають у пластмасах з наповненням, в пористій кераміці, в шаруватих діелектриках і

т.д. Як правило, у такі діелектрики спеціально вводять в процесі виготовлення окремі компоненти для надання їм заданих властивостей. Крім того, через порушення технології виготовлення чи в процесі експлуатації, в діелектрику можуть утворюватися різні домішки, що змінюють його характеристики. Це приводить до того, що діелектрик стає неоднорідним за своєю структурою і в ньому виникають діелектричні втрати. Загальної формули для розрахунку цих втрат у зв'язку з розмаїтістю структур даних діелектриків не існує.

Діелектричні втрати в газах

Коли напруженість електричного поля не перевищує значень, що відповідають появі ударної іонізації, діелектричні втрати в газах незначні й обумовлені тільки електропровідністю. Орієнтація дипольних молекул не супроводжується помітними втратами внаслідок малої в'язкості газів. Газ в цих умовах можна розглядати як ідеальний діелектрик. (при $(\rho_v \approx 10^{15}; \epsilon \approx 1; \text{tg}\delta \approx 4 \cdot 10^{-7} \text{ f}=50 \text{ Гц})$). Значення $\text{tg}\delta$ можна визначити за формулою

$$\text{tg}\delta = \frac{1,8 \cdot 10^{10}}{\epsilon_r \cdot f \rho}$$

Коли напруженість електричного поля значна, молекули газу іонізуються, у результаті чого виникають втрати на іонізацію. На лініях електропередачі внаслідок ударної іонізації повітря поблизу проводів виникає явище корони, що супроводжується значним збільшенням діелектричних втрат.

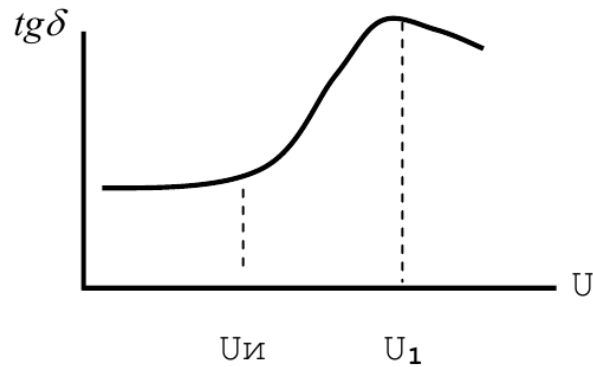


Рис. 3.3 – Залежність $\text{tg}\delta = f(U)$ для твердого діелектрика, який має газові включення

Рисунок 3.3– Залежність $\text{tg}\delta = f(U)$ для твердого діелектрика, який має газові включення

Зміна $\text{tg}\delta$ у твердих діелектриках, що містять газові включення, при збільшенні напруги показана на рис.3.3. Наведену залежність $\text{tg}\delta = f(U)$ називають **кривою іонізації**. За зростанням $\text{tg}\delta$ при збільшенні напруги можна судити про наявність газових включень у твердій ізоляції.

Коли газ вже іонізований ($U > U_1$), потрібна менша енергія на розвиток процесу і $\text{tg}\delta$ зменшується.

При високих частотах іонізаційні втрати можуть призвести до розігріву і руйнування діелектрика. Іонізація повітря, що заповнює пори у твердих діелектриках, супроводжується утворенням озону й окислів азоту, що призводить до хімічного руйнування речовини.

Діелектричні втрати в рідких діелектриках

Діелектричні втрати в рідких діелектриках обумовлені електропровідністю і явищем поляризації. Носіями зарядів у технічних рідких діелектриках можуть бути іони, що утворюються внаслідок дисоціації молекул даної рідини, а також більш великі колоїдні частки, що можуть впорядковано рухатися в електричному полі.

Питома провідність неполярних чистих рідин незначна, у зв'язку з чим малі й діелектричні втрати.

Полярні рідини, крім втрат, обумовлених електропровідністю, можуть мати значні втрати, пов'язані з дипольно-релаксаційною поляризацією. Ці втрати при змінній напрузі значно перевершують утрати, викликані електропровідністю. На величину втрат, обумовлених дипольно-релаксаційною поляризацією, помітний вплив здійснює в'язкість рідини. При великій в'язкості молекули не встигають слідкувати за зміною поля, і діелектричні втрати при цьому незначні. Якщо в'язкість рідини мала, то орієнтація молекул відбувається практично без тертя і діелектричні втрати також незначні. При середній в'язкості діелектричні втрати збільшуються і при деякому значенні в'язкості мають максимум. На рис.3.4. подано залежність $\text{tg}\delta$ від температури.

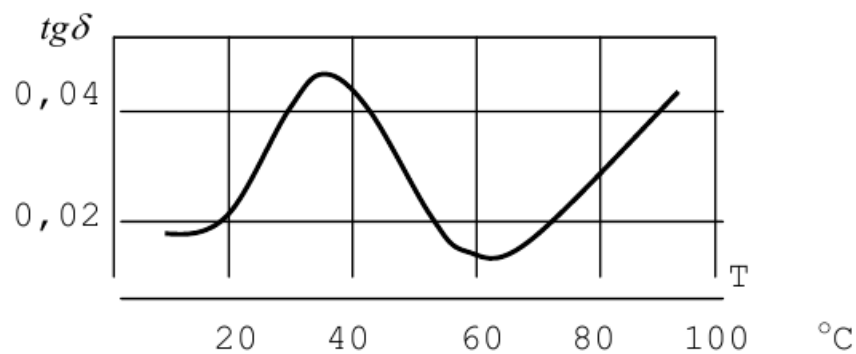


Рис. 3.4. Залежність $\text{tg}\delta = f(T)$ для полярної рідини

При дальшому збільшенні температури зростає електропровідність і відповідно ростуть втрати. Збільшення частоти зміщує представлену залежність в область більш високих температур.

Характер залежності потужності, що розсіюється, при дипольно-релаксаційних втратах у рідкому діелектрику від частоти представлений на рис.3.5.

Втрати змінюються доти, поки поляризація встигає орієнтуватися за зміною поля. Коли дипольні молекули вже не встигають орієнтуватися в напрямку

поля, потужність, що розсіюється, залишається практично незмінною.

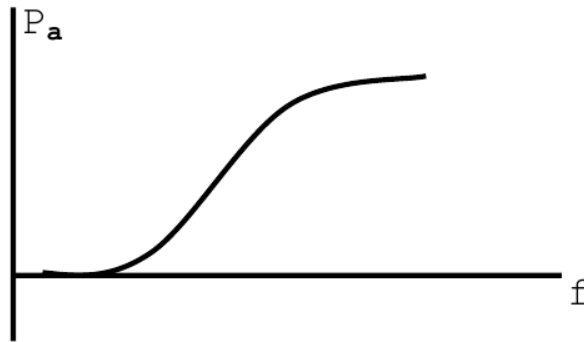


Рис.3.5-Залежність потужності, що розсіюється в діелектрику від частоти

Лекція № 14

Тема: Пластмаси і гума

Мета:

- 1 Ознайомити з загальними відомостями про пластмаси
- 2 Дати характеристику різновидам пластмас
- 3 Дати характеристику різновиду плівкових матеріалів
- 4 Опанувати призначення гуми в електротехніці і виробництві

Методи: словесний

План:

- 1 Загальні відомості про пластмаси. Різновиди пластмас.
- 3 Гума. Різновиди гуми.

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН:
конспект

Література:

- 1 Конструкционные и электротехнические материалы: Учеб. для учащихся электротехн. спец. /В.Н. Бородулин, А.С. Воробьев, С.Я. Попов и др.; Под ред. В.А. Филикова. – М.: Высш. шк., 1990
- 2 Василенко І.І., Широков В.В., Василенко Ю.І. Конструкційні та електротехнічні матеріали: Навч. Посібник. – Львів: «Магнолія», 2007. – 242 с.

Пластичні маси.

Пластичною масою називають матеріал, основою якого є полімер, що перебуває під час формування виробу у в'язкорідинному чи високоеластичному стані.

Загальні відомості про пластмаси

Сировиною, з якої отримують синтетичні високомолекулярні матеріали, є нафта, природний газ, кам'яне вугілля, сланці. Основні позитивні властивості **пластмас**: простота виготовлення з них виробів, низька густина, значна стійкість проти агресивних середовищ, добрі діелектричні та теплоізоляційні властивості, а також задовільні міцність і жорсткість. Залежно від кількості компонентів пластмаси поділяють на однокомпонентні та композитні.

Однокомпонентні пластмаси складаються з одного компонента — високомолекулярної сполуки (наприклад, поліетилену, поліпропілену, полівінілхлориду, полістиролу тощо).

Композитні (складні) пластмаси, крім високомолекулярної сполуки, містять ще й інші компоненти (пластифікатори, зміцнювальні та мастильні речовини, каталізатори, барвники, стабілізатори, антипірени, антистатиками, пороутворювачі) сумарною кількістю 20...80 % за об'ємом.

Високомолекулярні сполуки в полімерних композитних матеріалах виконують роль матриці, тобто зв'язувальної речовини, їх отримують внаслідок реакції полімеризації або поліконденсації.

Полімеризація — утворення високомолекулярної сполуки (полімера) із низькомолекулярних сполук (мономерів), під час якого не виділяються побічні продукти реакції. Прикладом реакції полімеризації може бути утворення твердої високомолекулярної речовини поліетилену $(-CH_2-CH_2-)_n$ з n -ної кількості молекул мономера у вигляді газу етилену $CH_2=CH_2$ при підвищених тиску й температурі.

Отже, молекули мономера послідовно з'єднуються між собою, утворюючи довгі ланцюгові макромолекули нової речовини такого самого складу, як і мономер. Знак „—“ означає ковалентний зв'язок, при якому два електрони стають спільними для сусідніх атомів. Кількість молекул мономера в одній макромолекулі полімера становить $10^3 \dots 10^5$.

Поліконденсація — утворення високомолекулярної сполуки (полімера) із низькомолекулярних сполук (мономерів), яке супроводжується здебільш

виділенням побічних речовин (H_2O , HCl , NH_3 та ін.). Внаслідок поліконденсації, наприклад, утворюється смола з фенолу і формальдегіду.

Зміцнювальні компоненти (наповнювачі) — органічні й неорганічні речовини у вигляді порошоків, волокон або листів, що додаються для підвищення міцності, жорсткості, теплостійкості, зменшення усадки, а також зниження вартості пластмаси.

Пластифікатори підвищують пластичність й полегшують переробку пластмас у виробі. Водночас пластифікатори зменшують міцність і жорсткість пластмаси. До них належать малолеткі органічні речовини типу гліцерину та касторової олії, які проникають у пластмасу, зменшуючи взаємодію між молекулами.

Масильні речовини (стеарин, олеїнова кислота та ін.) усувають прилипання матеріалу до прес-форми та збільшують його текучість, зменшуючи тертя між частинками композиції.

Каталізатори (уротропін, оксиди металів) прискорюють твердіння пластмаси.

Барвники (пігменти, природні лаки) надають пластмасовим виробам естетичного вигляду.

Стабілізатори (нафталін, сажа, антрацен) — речовини, що сповільнюють атмосферне старіння пластмас під дією світла, теплоти, кисню та озону. Старіння супроводжується поступовою зміною структури і погіршенням властивостей матеріалу.

Антипірени (ізоціаніти, сполуки стибію) зменшують горючість полімерів.

Антистатика перешкоджають виникненню й нагромадженню статичного електричного заряду у виробі з полімерних матеріалів.

Види компонентів та їх кількісне співвідношення впливають на властивості пластмас.

Пороутворювачі — речовини, які розпадаються під час нагрівання, виділяючи гази, що спінюють смолу, внаслідок чого утворюється пориста структура в поро- та пінопластах.

За формою макромолекул розрізняють полімери лінійної, розгалуженої, сітчастої та просторової будови.

Залежно від поведінки під час нагрівання та твердіння пластмаси поділяють на термопластичні й термореактивні.

Термопластичні пластмаси

Термопласти під час кожного нагрівання спочатку розм'якають і переходять у рідкотекучий стан, а під час охолодження тверднуть. Вони

мають порівняно невисоку верхню межу робочої температури. З-поміж термопластів найпоширенішими є поліетилен, поліпропілен, полівінілхлорид, полістирол. Промислове значення мають також політетрафторетилен, органічне скло та інші.

Поліетилен використовують для виготовлення плівок, листів, труб, різних місткостей, ізоляції електропроводів тощо. Покриття з поліетилену захищає метал від корозії.

Поліпропілен $(-\text{CH}_2-\text{CHCH}_3-)_n$, утворюється внаслідок полімеризації пропілену. Порівняно з поліетиленом він міцніший, жорсткіший, теплостійкіший і характеризується меншою густиною. Поліпропілен прозорий, але може бути забарвлений у будь-який колір, нетоксичний, хімічно тривкий, має добрі діелектричні властивості, витримує температуру до 120...150 °С. Головний недолік поліпропілену — погана морозостійкість (-5...-15 °С).

Використовується для виробництва текстильних і технічних волокон, труб, посуду, корпусів акумуляторів, електроізоляції, деталей автомобілів, холодильників, меблів і телефонів.

Полівінілхлорид $(-\text{CH}_2-\text{CHCl}-)_n$ — продукт полімеризації вінілхлориду. Полівінілхлорид (ПВХ) за обсягами виробництва стоїть на другому місці після поліетилену. Він добрий діелектрик, не токсичний, стійкий до старіння і до дії багатьох хімікатів. Залежно від складу пластмаси на основі ПВХ розрізняють непластифікований і пластифікований полівінілхлорид.

Непластифікований полівінілхлорид, або **вініпласт**, має високу міцність і пружність, застосовується для виготовлення труб, деталей насосів, профільних елементів меблів.

Пластифікований вінілхлорид, або **пластикат**, отримують, пластифікуючи ПВХ поліефірами чи синтетичними каучуками. Пластифікований полівінілхлорид використовують при виробництві лінолеуму, штучної шкіри, плівок, електроізоляції проводів і кабелів.

Полістирол $(-\text{CH}_2-\text{CHC}_6\text{H}_5-)_n$ — продукт полімеризації стиролу. Він твердий, жорсткий, прозорий, хімічно тривкий у розчинах багатьох лугів і кислот. Витримує температуру від -20 до 80 °С, має добрі діелектричні показники, набуває забарвлення різного кольору. Полістирол використовують для виготовлення корпусів телевізорів, деталей холодильників, меблевої фурнітури, підносів, футлярів, канцелярських товарів, гудзиків, електроізоляційних плівок і багатьох деталей в електро- і радіотехнічній промисловості. Недоліки полістиролу — низька теплостійкість і швидке старіння.

Пінополістирол — пластик на основі полістиролу, порожнини якого наповнені газом, внаслідок чого він має низьку густину, добрі тепло- та

звукоізоляційні властивості. Використовуються як тепло- й звукоізолятор у будівництві, літако- й суднобудуванні, холодильній техніці.

Політетрафторетилен. Високотривкий до будь-яких розчинників, добрий теплоізолятор й діелектрик, має низький коефіцієнт тертя (0,04). Його діапазон робочих температур від -26 до 260 °С. З політетрафторетилену виготовляють прокладки, манжети, радіотехнічні вироби, хімічно тривкі деталі, підшипники, що не потребують змащування, пористі вироби, а також протези людських органів.

Поліметилметакрилат або органічне скло. Він оптично прозорий, доволі міцний, добрий електроізолятор. Від силікатного скла відрізняється низькою густиною й підвищеною пластичністю. Недоліки органічного скла — невисока твердість і теплостійкість (при температурі 90 °С воно починає розм'якати). Використовується як листове скло (в т.ч. для літаків), для виготовлення лінз, призм, шкал, футлярів тощо.

Термореактивні пластмаси

Реактопласти під час нагрівання спочатку розм'якають, а згодом при певній температурі тверднуть внаслідок утворення міцних ковалентних поперечних зв'язків між макромолекулами. Деякі термореактивні полімери (наприклад епоксидні смоли) тверднуть під дією затверджувача навіть при кімнатній температурі. Затверділі реактопласти неможливо перевести, повторно нагріваючи, у рідкотекучий стан. Реактопласти відрізняються від термопластів вищою теплостійкістю, нерозчинністю і стабільністю властивостей в робочому інтервалі температур. Найпоширенішими синтетичними полімерами для термореактивних пластмас є карбамідоформальдегідні, меламіноформальдегідні та епоксидні смоли.

Карбамідоформальдегідні смоли — продукти поліконденсації карбаміду з формальдегідом. Каталізаторами затвердіння є органічні кислоти (соляна, фосфорна) та деякі солі. Карбамідоформальдегідні смоли світлостійкі, добре забарвлюються і зберігаються. На їх основі виробляють полімерні композитні матеріали з порошкоподібними, волоконними й шаруватими зміцнювачами, а також клеї, лаки, фарби та емалі. Основним споживачем карбамідоформальдегідних смол є деревообробна промисловість.

Меламіноформальдегідні смоли — продукти поліконденсації білого кристалічного порошку — меламіну а формальдегідом. Ці смоли тверднуть і при кімнатній температурі, і під час нагрівання. З них виготовляють полімерні композитні матеріали, клеї, лаки та емалі.

Фенолоформальдегідні смоли отримують поліконденсацією фенолу з формальдегідом. З фенолоформальдегідних смол виготовляють композитні

полімерні матеріали, а також клеї, лаки, електротехнічні деталі й шліфувальні круги.

Епоксидні смоли — продукти поліконденсації епіхлоргідрину з дифенілпропіленом. Вони термопластичні, але після додавання до їх складу затверджувачів стають терморезистивними. Ці смоли мають добрі адгезійні, механічні й діелектричні властивості, тверднуть в холодному і нагрітому стані. З них виготовляють клеї, лаки, шаруваті пластмаси.

Різновиди плівок

В різних областях електротехніки знаходять застосування електроізоляційні органічні полімерні плівки - тонкі і гнучкі матеріали, які можуть бути намотані в рулони різної ширини. Плівки знайшли широке застосування у виробництві конденсаторів, електричних машин, апаратів і кабельних виробів. Електроізоляційним плівкам для відмінності їх від плівок іншого призначення присвоюються спеціальні марки. Це необхідно, тому що від електроізоляційної плівки потрібні особлива чистота вихідного полімеру, відсутність слідів каталізатора та інших забруднень, чистота плівки при виготовленні і ряд інших специфічних вимог.

Органічні полімерні плівки можуть бути розділені на дві великі групи, що розділяються по електрофізичних властивостях: **неполярні і полярні плівки**. Неполярні плівки характеризуються низьким значенням $\epsilon_r = 2 - 2,5$ і малими значеннями тангенса кута діелектричних втрат $\text{tg}\delta \approx 10^{-4}$, завдяки чому вони можуть застосовуватися в високочастотній техніці, хоча досить широко використовуються при постійній і змінній напрузі промислової частоти. Полярні плівки мають підвищені значення ϵ_r від 3 до 10-15 і $\text{tg}\delta = 10^{-3} \div 10^{-4}$. Вони застосовуються як при змінній напрузі промислової частоти, так і при постійній напрузі.

Для ізоляції обмоток низьковольтних електричних машин важливу роль відіграють полімерні плівки з **підвищеною нагрівостійкістю**. Мала товщина плівок поряд з високими значеннями електричної і механічної міцності забезпечує не тільки збільшення надійності, а й суттєве поліпшення техніко-економічних показників. Застосування плівок товщиною 0,2- 0,35 мм дозволяє механізувати обмотувально-ізолюючі роботи.

Гумові матеріали

Гума — це продукт вулканізації каучуку сіркою або іншою речовиною. Серед конструкційних матеріалів тільки гума характеризується еластичністю,

тобто здатністю до великих зворотних деформацій у широкому інтервалі температур. Гумові вироби, крім еластичності, характеризуються значною міцністю, корозійною тривкістю та зносостійкістю. Вони газо- і водонепроникні, мають невелику густину та добрі електроізоляційні властивості. Вироби з гуми відіграють важливу роль в усіх галузях техніки, медицині й побуті.

Найважливішим складником гуми є полімер ізопрену з лінійною будовою молекул — натуральний або синтетичний каучук. Від каучуку залежать основні властивості гумового матеріалу. Натуральний каучук, як матеріал рослинного походження, є високомолекулярною сполукою $(C_5H_8)_n$. Синтетичний ізопреновий каучук отримують, полімеризуючи ізопрен, а синтетичний бутадієновий каучук $(C_4H_6)_n$ — полімеризуючи бутадієн. Для поліпшення властивостей гуми до її складу, крім каучуку, додають вулканізатори, зміцнювачі, пластифікатори, барвники, стабілізатори та інші компоненти.

Вулканізатори (частіше всього сірка) у суміші з каучуком утворюють поперечні ковалентні зв'язки між його лінійними макромолекулами. Коли вулканізатором є сірка кількістю 1...5 %, то при температурі 140...160 °C утворюється високоеластична гума рідкосітчастої будови. Якщо масову частку сірки в сирій гумі довести до 30 і більше відсотків, то утворюється твердий нееластичний матеріал густосітчастої просторової будови ебоніт, який використовується як ізолятор в електротехніці. Вулканізацію можна активізувати оксидами магнію, свинцю, цинку та ін.

Зміцнювачі — дрібнодисперсні порошки вуглецевої сажі, оксиду кремнію або оксиду цинку — підвищують міцність, твердість і стійкість гумовик виробів до спрацьовування. Для відповідальних гумових виробів (шини, шланги високого тиску, привідні паси та ін.) використовують волоконні зміцнювачі із синтетичних волокон або металевого дроту, покритого латунню, яка підвищує зчеплення дроту з полімером.

Пластифікатори — парафін, каніфоль, стеаринова кислота, рослинні олії — сприяють рівномірному розподілові компонентів у суміші, полегшують формування виробів й підвищують їх морозостійкість.

Барвники (мінеральні й органічні) надають гумовим виробам бажаного кольору.

Лекція № 15

Тема: Скло та кераміка

Мета:

1 Ознайомити з загальними відомостями про склокристалеві матеріали

- 2 Дати характеристику різновидам склокристалевих матеріалів
- 3 Дати характеристику загальним відомостям про керамічні матеріали
- 4 Опанувати призначення кераміки в електротехніці

Методи: словесний

План:

- 1 Загальні відомості про скло та склокристалеві матеріали.
- 2 Загальні відомості про керамічні матеріали.
3. Різновиди керамічних виробів.

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН:
конспект

Література:

1. Конструкционные и электротехнические материалы: Учеб. для учащихся электротехн. спец. /В.Н. Бородулин, А.С. Воробьев, С.Я. Попов и др.; Под ред. В.А. Филикова. – М.: Высш. шк., 1990

Скло та склокристалеві матеріали

Скло має високу міцність на стискування (600 – 1200 МПа), низьку міцність на розтягування (30 – 90 МПа) та дуже високу крихкість. При різкому і сильному нагріванні чи охолодженні в склі можуть виникати тріщини. При нагріванні скло розм'ягчується і при температурі близько 1000 °С починає плавитись. Більшість мінеральних кислот, за винятком плавикової, не руйнують скло.

Основною сировиною для виготовлення скла є чистий кварцовий пісок, вапняк, доломіти, кальцинована сода чи сульфат натрію. До складу окремих видів скла вводять оксиди бору (підвищує термостійкість), оксиди алюмінію (підвищує міцність і хімічну стійкість), оксиди фтору, цинку тощо. Для виготовлення кольорового скла використовують перекис марганцю, оксиди хрому, кобальту та інші мінеральні барвники.

Виробництво скла складається з таких технологічних операцій: підготовка сировинних матеріалів (збагачення, сушіння, подрібнення, змішування компонентів і брикетування);

варіння скла в скловарильних печах при 1400 – 1500 °С;

охолодження скломаси до температури, при якій вона має потрібну в'язкість;

формування виробів та їх термічну, механічну чи хімічну обробку.

Спосіб формування залежить від виду виробу. Для отримання будівельного скла застосовують витягування, прокатування та пресування.

В будівництві найбільш широко застосовується неpolіроване **листове віконне скло** товщиною 2 – 6 мм з світлопропускнуою здатністю 85 – 90 %.

Вітринне скло товщиною 6 – 10 мм для великих вікон випускається polірованим і неpolірованим. Для компенсації температурних деформацій при монтажі таких вікон застосовують гумові чи пластмасові прокладки.

Армоване скло виготовляють методом прокатування розплавленої скломаси з металевою сіткою. Воно має підвищену вогнестійкість і безпечність.

Візерунчасте скло отримують прокатуванням прозорої чи кольорової скломаси на гравірованих валках. Таке скло добре розсіює світло і є декоративним.

Гартоване скло отримують шляхом термічної обробки скла шляхом нагрівання до 620 – 680 °С, витримки при цій температурі і швидкого охолодження в струмені повітря або в маслі. При цьому міцність скла на згинання зростає в 5 – 8 разів, міцність на удар збільшується в 4 – 6 разів, а термостійкість збільшується в 2 рази. Листи гартованого скла товщиною 6 мм, покриті зі зворотної сторони кольоровими керамічними фарбами, називають **стемалітом**. З нього виготовляють багатошарові панелі, перегородки тощо.

Безосколкове скло (триплекс) – це два або більше листів загартованого скла товщиною 2 – 3 мм, склеєних еластичним прозорим полімером, який утримує осколки скла після руйнування.

Із скла також виготовляють порожнисті скляні блоки, склопакети, скляні труби, облицювальну плитку та ін. **Порожнисті скляні блоки** отримують шляхом зварювання двох випресованих з скломаси половин. Для розсіювання світла на зовнішню сторону наносять рисунок. Блоки виготовляють прозорими та кольоровими.

Склопакети – вироби з двох чи більше листів скла, з'єднаних по периметру металевою рамкою так, що між ними утворюється замкнутий простір, заповнених сухим повітрям. Склопакети виготовляють із звичайного

віконного, гартованого чи іншого листового скла. Вікна з склопакетів не потіють, не замерзають і мають в 2 – 3 рази кращу звукоізоляцію.

Профільне скло – це великогабаритні будівельні вироби коробчастого, таврового, ребристого та іншого профілю. Виготовляються такі вироби шляхом безперервного прокатування армованого чи неармованого, прозорого чи кольорового скла.

Скляні труби отримують методом витягування чи методом відцентрового формування. Вони випускаються діаметром 0,1 – 200 мм і розраховані на тиск до 0,3 МПа і температуру 120 °С.

Облицювальна скляна плитка за міцністю та експлуатаційними якостями краща за керамічну. Випускають скляну плитку емальовану, з нанесенням на одну сторону білої чи кольорової емалі, та з непрозорого різноколірного скла.

Склокристаліт отримують методом кристалізації з одночасним процесом вогневого полірування лицевої поверхні склокристалевого гранульованого матеріалу з наступною його термообробкою. Випускається у вигляді плит, що можуть мати поліровану різноколірну поверхню, чи імітують природний камінь.

Ситал – кристалічне скло спеціального складу, отримане внаслідок керованої кристалізації. До складу ситалів входять оксиди літію, кремнію, магнію, кальцію, а також каталізатори кристалізації: солі золота, срібла та міді. Розмір кристалів не перевищує 1 мкм. Кристали ситалу зцементовані склоподібною масою. За структурою ситали займають проміжне положення між звичайним склом і керамікою. Ситали мають високу твердість, міцність, термічну і хімічну стійкість.

Керамічні матеріали

Керамічними називаються матеріали, отримані з глинистої маси або з її суміші з мінеральними добавками шляхом формування та обпалювання. В сучасному будівництві кераміка застосовується для зведення стін і дахів, облицювання підлоги і стін, кладки печей і димарів, влаштування каналізації і дренажних систем тощо.

Виробництво керамічних матеріалів та виробів

Основною сировиною для виробництва кераміки є глини. Для поліпшення технологічних властивостей глини та з метою надання виробам певних фізико-механічних властивостей застосовуються добавки.

Глина є продуктом руйнування гірських порід і складається в основному з каолініту $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$. До складу глини також входять частинки кварцу, слюди та інших мінералів. Глинисті частинки мають розмір до 0,005 мм, зерна піску мають розмір 0,15 – 5 мм.

При виготовленні кераміки важливе значення мають такі властивості глини як пластичність, повітряна та вогнева усадка, вогнестійкість і колір виробу.

Пластичністю називають здатність глиняного тіста прийняти задану форму без утворення тріщин. Зі збільшенням вмісту глинистих частинок

пластичність зростає, але при цьому збільшується усадка виробу під час сушіння та обпалювання. Розрізняють глини високопластичні (жирні), глини середньої пластичності та низькопластичні (бідні) глини.

Жирні глини мають добру пластичність, легко піддаються формуванню, але під час сушіння дають усадку більше 10 % та утворюють тріщини.

Бідні глини погано піддаються формуванню, але повітряна усадка не перевищує 6%. Для підвищення пластичності до складу таких глин вводять поверхнево-активні добавки.

Вогнева усадка – це зменшення лінійних розмірів виробу в процесі обпалювання. Вона знаходиться в межах 1 – 4 %.

Вогнестійкість – це здатність глини витримувати високі температури без деформування. За вогнестійкістю глини поділяють на вогнестійкі з температурою розмягчення вище 1580 °С, тугоплавкі (1580 – 1350 °С) і легкоплавкі з температурою розмягчення нижче 1350 °С.

Вогнетривка глина має невелику кількість домішок, високо пластична, застосовується для вогнетривких, фарфорових і фаянсових виробів. Тугоплавкі глини застосовуються для виготовлення керамічної плитки, труб та інших виробів. З легких глин виготовляють червону цеглу, черепицю тощо.

Колір кераміки залежить від складу і кількості домішок в глині. Чиста глиняна сировина, каолін, має білий колір. Оксиди заліза дають глині забарвлення від світло-жовтого до темно-червоного кольору. Необхідний колір кераміки можна отримати введенням певних мінеральних добавок.

Через велику усадку і тріщини жирні глини в чистому вигляді рідко застосовуються для виробництва кераміки. До їх складу вводять пісок, шлак, золу, подрібнену кераміку, шамот тощо.

Для отримання пористої теплоізоляційної кераміки застосовують добавки, які вигоряють в процесі обпалювання (тирса, вугільний порошок, торф та ін.).

Підготовка глини до виготовлення виробів складається з подрібнення її, вилучення шкідливих домішок, внесення необхідних добавок та зволоження.

Формування керамічних виробів може виконуватись пластичним, напівсухим способами та литтям.

Пластичний спосіб полягає в тому, що глиняна маса ущільнюється і виштовхується шнеком преса через отвір певної форми у вигляді безперервного бруса. На виході брус розрізується на частини.

Напівсухим способом виробляють керамічну плитку та інші вироби шляхом пресування в формах під тиском до 15 МПа. Сирець напівсухого пресування має чітку форму і точні розміри.

Санітарно-технічні вироби та облицювальну плитку можна виготовляти відливанням глиняної маси в спеціальні форми.

Сформовані вироби для зниження вологості сушать на повітрі або в печах. Частіше всього вироби сушать в тунельних печах за рахунок спалювання газу.

Вироби після сушіння подають на обпалювання. Спочатку сирець повільно нагрівають до 100 – 120 °С. При цьому видаляється вільна вода. При подальшому нагріванні до 750 °С видаляється хімічно зв'язана вода і

вигорять органічні домішки. При подальшому підвищенні температури глиняна маса спікається і набуває необхідних властивостей. Остаточна температура призначається з врахуванням властивостей глини та виду виробу.

Глазуровані вироби обпалюють два рази. Після першого обпалювання на поверхню виробу наносять шар глазури з легкоплавкої глини, кварцу, польового шпату, оксидів свинцю, цинку тощо і знову обпалюють. Компоненти глазури розплавляються і створюють на поверхні виробу склоподібний шар, який забезпечує наряду з декоративними якостями високу водонепроникність.

Керамічні вироби

Найбільш поширеними керамічними виробами є **керамічна цегла**. Цегла випускається розмірами 250 x 120 x 65 мм або 250 x 120 x 88 мм. Модульна цегла товщиною 88 мм має технологічні порожнини.

Цегла має бути нормально обпаленою. Недопалена цегла має знижену щільність і морозостійкість. Перепалена цегла більш щільна і міцна але має відносно високу теплопровідність.

Щільність цегли знаходиться в межах 1600 – 1900 кг/м³. Більшу щільність і, відповідно, більшу теплопровідність має цегла, яка формується напівсухим пресуванням.

За межею міцності на стискування цегла випускається таких марок: 75, 100, 125, 150, 175, 200 та 300.

Для зменшення маси стін і зниження теплопровідності застосовують пористу і порожнисту цеглу та керамічний камінь (цегла великих розмірів). Пориста цегла має щільність 700 – 1500 кг/м³. Порожниста цегла і керамічний камінь мають наскрізні або глухі отвори циліндричної чи прямокутної форми.

Для облицювання внутрішніх і зовнішніх стін та підлоги застосовують **керамічну плитку**. Склад глинистої маси та спосіб виготовлення вибираються залежно від призначення плитки. Лицева сторона плитки може бути гладкою і фактурною, неглазурованою і глазурованою, певного кольору. Зворотна сторона може мати заглиблення для кращого з'єднання з цементним розчином.

Для облицювання фасадів будівель може застосовуватись **лицювальна цегла**, яка має правильну форму, чіткі грані і однорідний колір.

Каналізаційні труби виготовляються з вогнетривких або тугоплавких глин. Після сушіння на зовнішню та внутрішню поверхні труби наносять глазур і обпалюють. Глазурована поверхня надає трубі водонепроникність і високу стійкість проти дії кислот та лугів.

Дренажні труби виготовляють неглазуваними з легкоплавких глин і суглинків. Для підвищення водопроникності вони мають наскрізні канавки чи прорізи.

Для виготовлення легких бетонів застосовують керамічний пористий матеріал керамзит. Керамзит отримують обпалюванням легкоплавкої глини, які можуть здуватись при швидкому нагріванні до 1050 – 1300 °С. Здування глини забезпечують гази, які утворюються при розкладанні різних речовин,

що є в сировини. З метою посилення здування до глини додають тирсу, мелене вугілля та інші матеріали. Керамзит випускають у вигляді гранул розмірами від 5 до 40 мм з поділом на фракції. Зерна розміром до 5 мм відносяться до керамзитового піску.

Лекція №16

Тема: Призначення, класифікація проводів

Мета:

- 1 Ознайомити з призначення та класифікацію проводів
- 2 Зрозуміти розшифрування позначень з використанням каталогу

Методи: словесний, наочний

План:

- 1 Призначення та класифікація проводів.
- 2 Розшифровка позначення проводів.

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН:
конспект, каталог

Література:

- 1 Конструкционные и электротехнические материалы: Учеб. для учащихся электротехн. спец. /В.Н. Бородулин, А.С. Воробьев, С.Я. Попов и др.; Под ред. В.А. Филикова. – М.: Высш. шк., 1990
- 2 Василенко І.І., Широков В.В., Василенко Ю.І. Конструкційні та електротехнічні матеріали: Навч. Посібник. – Львів: «Магнолія», 2007. – 242 с.

Провід електричний - це неізолюваний або ізолюваний провідник електричного струму, що складається з одного (одножильний провід) або декількох (багатожильний провід) проволоки (найчастіше мідних, алюмінієвих або, значно рідше, сталевих). Провід використовують при спорудженні ліній електропередач (ЛЕП), виготовленні обмоток електричних машин, монтажі радіоапаратури, в пристроях зв'язку і т.д.

Кабелем називають пристрій, призначений для каналізації електричної енергії і, що складається з одного або кількох ізолюваних один від одного провідників, укладених у герметичну захисну оболонку з гуми, пластмаси, алюмінію або свинцю. Кабель, що має поверх захисної оболонки покриття (броню) із сталевих стрічок, плоскою або круглою дроту (для захисту від механічних пошкоджень), називається броньованим. Якщо захисні або броньові оболонки кабелю не просочені джутовою просоченої пряжею, то такий кабель називають голим.

Важливою частиною електроустановок є електрична проводка (ЕП). Вона складається з проводів та кабелів з відносяться до них кріпленнями, підтримують і захисними конструкціями.

Для монтажу ЕП застосовують силові й установчі дроти. Використовують для з'єднання електроустановок (ЕУ) та їх частин при прокладки всередині приміщення, на відкритому повітрі, в трубах і т.д. Ізоляція проводів розрахована на напругу 380, 660 і 3000 В змінного струму. І може бути гумовою або пластмасовою.

Провід поділяються на:

- Ізолювані і неізолювані;
- Захищені і не захищені.

Провід, що мають поверх ізоляції зовнішню захисну оболонку у вигляді х / б або металевого обплетення називаються *захищеними*. Для прокладки повітряних ліній застосовують:

- Алюмінієві;
- Сталеалюмінієві;
- Сталеві не ізолювані проводи.

Струмоведача частина проводу - жила, може бути одне або багатопроволкової.

0,5; 0,75; **1**; 1,0; 1,5; 2,5; 4,6; 10, 16; 25; 35; 70;
95; 120; 150; 185; 240; 300; 400; 500; 325; 800.

Різновид дроти - шнур. Це провід з особливо гнучкими ізолюваними мідними жилами. Перетином на більше 1,5 мм² кожна. Їх використовують для приєднання до мережі напругою до 220 В побутових електроприладів та виробів (чайники, праски, телевізори і т.д.).

Провід й кабелі розрізняють так само по:

- Кількості жил (від 1 до 4, контрольних кабелів від 4 до 61);
- По перерізу (від 0,5 до 800 мм²);
- По номінальній напрузі, на яку розраховані жили.

Маркування настановних проводів і шнурів складається з букв і цифр. Перша літера - *матеріал, жили*

А - алюміній. За відсутності цієї букви жила мідна; **Друга літера**

П - провід;

ПП - провід плоский; Третя і наступні літери - матеріал ізоляції та захисту:

Р - гумова;

В - полівінілхлоридна

П - поліетилен;

О - ізольовані жили в оплетки з **X / б** пряжі;

Н - негорюча гумова оболонка;

Ф - фальцьований (металева) оболонка.

Г - з гнучкою житлової;

Д - провід двожильний;

Т - з несучим тросом.

Цифрова частина приклад: 3 x 2,5, де 3 - кількість жил, 2,5 - перетин кожної мм²

У маркуванні з'єднувальних шнурів має бути присутня буква **Ш**. При виборі настановних проводів враховують:

1. умови прокладки;
2. необхідну кількість жив;
3. їх переріз (мм);
4. напруга, при якому проводи будуть експлуатуватися.

Обмотувальні емальовані проводи (ВП)

ВП призначені для виготовлення електричних машин, трансформаторів невеликої потужності, реле, контакторів і інших електротехнічних пристроїв. Класифікацію цих проводів пов'язують з температурним індексом, тобто температурою, при якій емалева ізоляція проводів зберігає свої властивості протягом гарантованого ресурсу часу 20000 годин.

ВП виготовляють в основному з міді з жилами з невеликим перерізом, тому їх розрізняють по діаметру (0,02 - 2,5 мм).

Маркування обмотувальних проводів

Перша літера - провід (П)

Подальша літера - матеріал ізоляції

ЕЛ - з лакостойкої емалі;

ЕВ - з високоміцної емалі;

ЕТ - з теплостійкої емалі;

Б - з **x / б** пряжі (волокна);

Ш - з натурального шовку;

Л - з лавсану;

К - з капрону;

ШК - зі штучного шовку - капрону;

О - один шар ізоляції;

Д - два шари ізоляції.

Таблиця 1.1 Позначення кабелів

Буква, поєднання	Значення букви або поєднання літер
А	Алюмінієва жила
АС	Алюмінієва жила і свинцева оболонка
АА	Алюмінієва жила і алюмінієва оболонка
Б	Броня з двох сталевих стрічок з антикорозійним захисним
Бн	Те ж, але з негорючим захисним покривом (не підтримує
Г	Відсутність захисних покривів поверх броні і оболонки
Л (2л)	У подушці під бронєю є шари (два шари) з пластмасових стрічок
В (н)	У подушці під бронєю є випресований шланг з
Шв (ШН)	Захисний покрив у вигляді випресованого шланга (оболонки) з
До	Броня з круглих оцинкованих сталевих дротів, поверх яких
н	Не підтримує горіння захисний покрив
М	Маслонаповнений
П	Броня з оцинкованих плоских дротів, поверх яких накладено
З	Свинцева оболонка
Про	Окремі оболонки поверх кожної фази
В - в кінці позначення	Обідні - просочена паперова ізоляція
ц	Паперова ізоляція, просочена нестекаючим складом, що містить
НР	Гумова ізоляція і оболонка з гуми, що не підтримує горіння
в	Ізоляція або оболонка з полівінілхлориду
п	Ізоляція або оболонка з термопластичного поліетилену
Чи не	Ізоляція чи оболонка з самозатухаючого поліетилену (не
Бб	Броня з профільованої сталевий стрічки

Кабелі

Кабельні вироби поділяються на:

- Силові;
- Контрольні;
- Монтажні;
- Управління та зв'язку.

Конструктивне відміну кабелів від проводів полягає в тому, що жили кабелів мають герметичну, свинцеву, алюмінієву або пластмасові оболонки.

Кабелі, що мають поверх герметичній захисну (броньовий) оболонку називаються **броньованими**. Броня виготовляється із сталевих стрічок, оцинкованої сталевий круглої або плоскої дроту. Кабелі без броньованої оболонки відносяться до категорії голих. Ізоляція кабелів виконується з паперових стрічок, просочених маслоканіфольним складом гумою або пластмасою.

Таблиця 1.2 - Маркування кабелю з ізоляцією із СПЕ

Буква, поєднання	Значення букви або поєднання літер	Приклад
А	алюмінієва жила	АПвП 1х95/16-10
ей	герметизація жили	АПвП 1х120 (ей) / 35-10
Пв	ізоляція із зшитого (вулканізованого)	ПВВ 1х95/16-10
П	оболонка з поліетилену	АПвП 1х150/25-10
Пу	- Для 10 кВ посилена оболонка збільшеної	АПвПу 1х2240/35-110
У	оболонка з ПВХ пластикату	АПвВ 1х185/35-10
Внг	оболонка з ПВХ пластикату зниженої	АПвВнг 1х185/35-10
ч	(Після визначення оболонки) поздовжня	АПвПч 1х185/35-10
2ч	подвійна герметизація	АПвП2ч 1х300/50-110
Цифри		
1	число жив	1х185/35-10
185	перетин жили в мм	
35	перетин екрану мм	
10	номінальна напруга в кВ	

Силові кабелі

Для прокладки безпосередньо в землі (траншеї), у спеціальних спорудах (канали, тунелі), а так само всередині приміщень для передачі енергії напругою понад 1000 В.

З 1996 року російське підприємство «АББ Москкабель» освоїло і випускає силові кабелі з ізоляцією із зшитого поліетилену (СПЕ) розраховані на напругу 10-35 кВ і 110-220 кВ.

На відміну від кабелів з паперовою просоченою чи маслонаповненому ізоляцією, кабелі з ізоляцією із СПЕ мають найкращі електричними і механічними властивостями і самим тривалим терміном служби серед інших типів кабелів випускаються серійно. Термін служби кабелю 110 кВ без пробоїв становить мінімум 50 років.

Контрольні кабелі

Для прокладки в приміщеннях, у пересувних ЕУ. Використовується для передачі низьковольтних сигналів управління в колах вторинної комутації. Розрахована на напругу до 660 В змінного струму і до 1000 В постійного. Жили контрольних кабелів виготовляють з міді перерізом від 0,75 до 6 мм і алюмінію перерізом від 2,5 до 10 мм.

Маркування контрольних кабелів

Буква, поєднання букв	Значення букви або поєднання літер
А	жили <u>алюмінієві</u> , якщо буква відсутня - жила мідна
До	<u>контрольний</u> кабель
Р	ізоляція з гуми
У	ізоляція з ПВХ пластикату
П	ізоляція з поліетилену
Ф	ізоляція з второпласта
З	свинцева оболонка
Б	броньований сталевими стрічками
Г	протівокорозійний захисний шар
Е	екранований від впливу зовнішніх електричних полів

Лекція №17

Тема: Загальні відомості і класифікація напівпровідників

Мета:

- 1 Ознайомити з основними відомостями про напівпровідникові матеріали
- 2 Зрозуміти класифікацію напівпровідникових матеріалів

Методи: словесний, наочний

План:

- 1 Загальні відомості про напівпровідникові матеріали.
- 2 Класифікація напівпровідникових матеріалів.

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН:
конспект, каталог

Література:

1 Конструкционные и электротехнические материалы: Учеб. для учащихся электротехн. спец. /В.Н. Бородулин, А.С. Воробьев, С.Я. Попов и др.; Под ред. В.А. Филикова. – М.: Высш. шк., 1990

2 Василенко І.І., Широков В.В., Василенко Ю.І. Конструкційні та електротехнічні матеріали: Навч. Посібник. – Львів: «Магнолія», 2007. – 242 с.

До напівпровідників належить велика група речовин з електронною електропровідністю, питомий опір яких при нормальній температурі більше, ніж у провідників, але менше, ніж у діелектриків, і знаходиться в діапазоні від 10^{-4} до 10^{10} Ом-см.

В енергетиці напівпровідники безпосередньо мало використовуються, але електронні компоненти на основі напівпровідників використовуються досить широко. Це будь-яка електроніка на станціях, підстанціях, диспетчерських управліннях, службах і т. н. Випрямлячі, підсилювачі, генератори, перетворювачі. Також з напівпровідників на основі карбиду кремнію виготовляють нелінійні обмежувачі перенапруг в лініях електропередачі (ОПН). Інтерес до напівпровідників викликаний можливістю управління їх властивостями шляхом додавання невеликих кількостей інших речовин (рисунок 1.1)

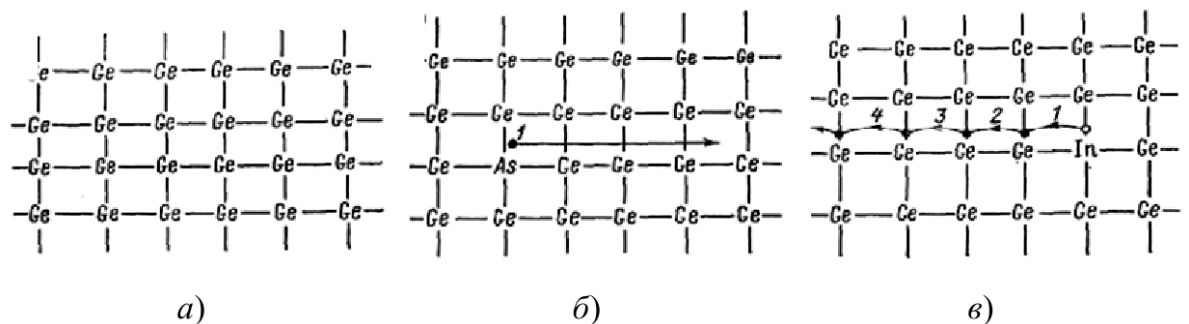


Рисунок 1.1 – Кристалічна решітка германія:

а) без домішок; б) з донорними домішками; в) з акцепторними дошками індію

Власний напівпровідник - напівпровідник, що не містить домішок, що впливають на його електропровідність (рис. 1.3, а). При додаванні речовин-донорів електронів (наприклад, до германію додати миш'як), можна створити напівпровідник з електронною провідністю (рис. 1.1, б). Такий напівпровідник називається напівпровідником n-типу. При додаванні речовин-акцепторів, легко захоплюючі електрони (наприклад, до германію додати індію), створюється напівпровідник з «акцепторною» провідністю (рис. 1.1, в). Такий напівпровідник називається напівпровідником р-типу. За рахунок комбінації напівпровідників р- і n-типу створені різні прилади: діоди, транзистори, тиристори, варистори та ін.

З напівпровідникових матеріалів в даний час найбільш широко використовуються германій і кремній.

На електропровідність напівпровідників істотний вплив роблять також температура, світло, електричне поле. При цьому на відміну від металів, питомий опір ρ напівпровідників із зростанням температури знижується (рис. 1.2)

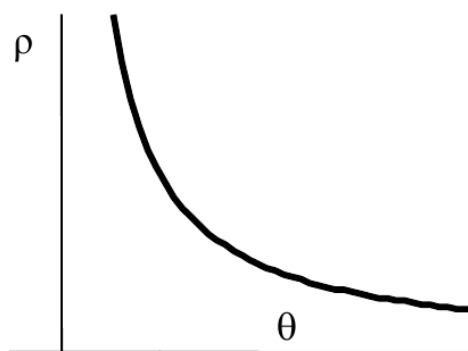


Рисунок 1.2 - Залежність $\rho = f(\theta)$ напівпровідників

Світлова енергія, що поглинається напівпровідником, викликає поява в ньому надмірної кількості носіїв заряду, і, отже, зростання електропровідності - явище фотопровідності. Фотопровідність залежить від інтенсивності

світлового потоку і довжини світлової хвилі.

Залежність електропровідності напівпровідників у від напруженості електричного поля E представлена на рис. 1.3

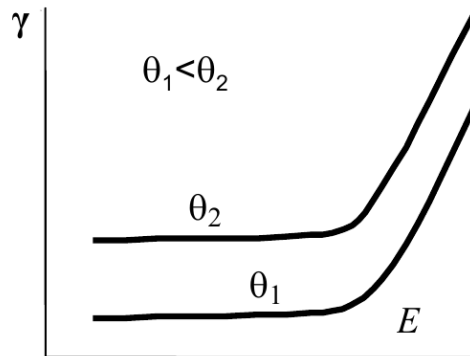


Рисунок 1.3 - Залежність $\gamma = f(E)$ для напівпровідників

При низьких значеннях напруженості дотримується закон Ома і питома провідність у них залежить від E . При більш високих напруженості спостерігається інтенсивне зростання питомої провідності за експоненціальним законом, що призводить до руйнування структури напівпровідника.

Застосування провідників засноване на використанні роботи р-п переходу - контакту між двома напівпровідниковими матеріалами різного типу провідності. Р-п перехід володіє вентильними властивостями. Проводить електричний струм лише в одному напрямку, що використовується при виготовленні діодів, тиристорів і транзисторів.

Простих напівпровідників існує, біля десятка. До них належати бор, кремній, германій, фосфор, селен.

Германій - елемент четвертої групи періодичної системи елементів. Щоб він мав електропровідність n - чи p - типу, в розплавленій очищений германій вводять відповідно донорну чи акцепторну суміш. Елемент має яскраво-сірий колір, густину 5320 кг/м^3 і температуру плавлення $937,2^\circ\text{C}$. Германій твердий і крихкий матеріал. Його використовують для виготовлення діодів і фотоелементів.

Кремній також належить до четвертої групи періодичної системи. У природі він буває у вигляді кремнезему, який є однією з вихідних речовин для одержання технічних сортів кремнію. Внаслідок очищення зливків кремнію методом зонного плавлення одержують монокристалічний кремній і електропровідністю *n*- чи *p*- типу залежно від введених легованих домішок. Кремній, як і германій, є крихким матеріалом. Густина очищеного нелегованого кремнію становить 2330 кг/м³; температура плавлення 1417 °С. Кремній застосовують ширше, ніж германій, тому що верхня межа робочої температури напівпровідникових приладів на його основі становить 130-200 °С.

Селен елемент шостої групи періодичної системи. Вихідними матеріалами для його одержання є рештки, які одержують при електролітичному рафінуванні міді. Твердий селен має аморфну чи кристалічну будову. Селен застосовують для виготовлення селенових випрямлячів фотоелементів і фоторезисторів.

Складними напівпровідниками є з'єднання елементів різних груп, а також деякі оксиди і складні речовини. Коли атоми домішок знаходяться в вузлах кристалічної решітки, то вони називаються **домішками заміщення**, коли проміж вузлів - **домішками впровадження**.