

Вступ. Класифікація матеріалів.

Матеріалознавство (англ. *materials science*) — міждисциплінарна галузь науки, що вивчає залежність між складом, структурою та властивостями матеріалів у взаємозв'язку з технологією їхнього отримання та перероблення, умовами експлуатації та вартістю, і яка спрямована на створення нових матеріалів, що задовольняли б потреби людини.

Завдання, які вирішуються сучасним матеріалознавством, значною мірою обумовлюють розвиток енергетики, електроніки, інформаційних та нанотехнологій, хімічної, аерокосмічної та інших галузей промисловості, транспорту, медицини й охорони здоров'я.

Хоча вивчати корисні властивості матеріалів люди почали здавна, але як науку матеріалознавство сформовано в середині ХХ століття, коли вже було завершено створення власного базису фізики, хімії та механіки, а також визначено поняття «структура матеріалу» в широкому діапазоні — від атомарного (завдяки відкриттю дифракції рентгенівського випромінювання й електронної мікроскопії) до макроскопічного. Нині матеріалознавство відносять до категорії меганаук, тобто до широкого напрямку діяльності людей, що визначає стійкий та безперервний прогрес цивілізації.

Під загальним терміном «*матеріали*» в матеріалознавстві зазвичай мають на увазі прості або складні речовини, їх суміші, гетерогенні композиції, що мають певний хімічний і фазовий склад, структуру та сукупність корисних властивостей. Матеріалом також називають продукт усвідомленого технологічного оброблення природної або синтетичної сировини з метою досягнення в ньому заданого комплексу властивостей та експлуатаційних характеристик у відповідних умовах. Переважно це тверді та рідкі конденсовані фази.

Технологія отримання матеріалу — вміння цілеспрямовано створювати матеріальні об'єкти з наперед заданими хімічним і фазовим складом, розмірами, структурою та властивостями. Без цього не можливе існування виробництва. Ті чи інші матеріали в людському житті потрібні повсюдно, їх вибирають усвідомлено, на основі знань для: будівництва й експлуатації житла, воєнних цілей, створення предметів побуту, для вирощування, оброблення й зберігання врожаю, створення засобів виробництва, транспортування та комунікацій, дослідження природи, а також створення нових матеріалів.

Предметом матеріалознавства є встановлення закономірностей взаємозв'язків у системі «склад — структура (електронна, атомна, нано-, мезо-, мікро-, макро-) — технологія отримання та переробки — функціональні (механічні, термічні, електричні, магнітні, оптичні та ін.) властивості» матеріалу, а також цілеспрямоване удосконалення властивостей уже відомих та створення нових матеріалів із заданими властивостями.

Мета дисципліни — пізнання властивостей матеріалів в залежності від складу і виду обробки, методів їх зміцнення для найефективнішого використання в техніці, а також створення матеріалів з наперед заданими властивостями: з високою міцністю чи пластичністю, з доброю електропровідністю, великим електричним опором або спеціальними магнітними властивостями, а також, поєднання різних властивостей в одному матеріалі (композиційні матеріали).

Головним *завданням* цієї дисципліни є набуття знань та навичок по оцінюванню властивостей матеріалів, раціональному і доцільному вибору їх для конкретних умов роботи, вміння застосовувати ефективні технологічні методи обробки та зміцнення, які б привели в результаті до здешевлення виробів, зниження матеріаломісткості з одночасним збільшенням терміну експлуатації.

Основоположною рисою сучасного матеріалознавства є його міждисциплінарність, так як завдання, що стоять перед ним, не можуть бути вирішені в рамках однієї наукової дисципліни. Фундаментом сучасного матеріалознавства є такі розділи фізики, хімії та біології:

- *статистична фізика, термодинаміка і термомеханіка* (основні об'єкти розгляду — діаграми стану, твердофазові перетворення, стабільність матеріалів при експлуатації);
- *фізика твердого тіла і квантова механіка* (електричні, теплові, магнітні, хімічні, структурні та оптичні властивості матеріалів, дифракційні методи дослідження матеріалів);

- *механіка* (взаємозв'язок мікроструктури і механічної поведінки матеріалів, реологія, трибологія, поведінка потоків рідин та ансамблів частинок);
- *хімія твердого тіла* (теорія хімічного зв'язку, кристалічна структура, точкові та протяжні дефекти, склад матеріалів, методи їх синтезу);
- *колоїдна хімія і хімія полімерів* (полімери і пластмаси, рідкі кристали та колоїдні розчини, наноб'єкти);
- інтеграція матеріалів у біологічні системи та їх використання у медицині.

Світова тенденція розвитку матеріалів спрямована на їхнє ускладнення та набуття ними багатофункціональності шляхом створення композиційних матеріалів (литі композиційні матеріали, теплозахисні ерозійностійкі композиційні матеріали, товстошарові композиційні матеріали тощо).

В основу загальної класифікації матеріалів покладене їхнє розділення за походженням на *природні* і *штучні*. До перших, зазвичай, належать як неорганічні (наприклад, глини, мінерали), так і органічні (деревина, папір, шкіра, природні волокна тощо) матеріали.

За агрегатним станом матеріали поділяють на *газоподібні* (наприклад, пароводяні чи газові теплоносії, топкові гази тощо), *рідинні* (лакофарбові матеріали, мастильні матеріали) і *тверді*. Тверді матеріали — найчисельніша група — можуть бути як кристалічними (наприклад, оптичні матеріали, метали тощо), так і аморфними (синтетичні смоли, скло, пластмаси); більшість твердих матеріалів є багатокомпонентними і багатофазовими.

До нетрадиційних у матеріалознавстві належить класифікація за типом хімічного зв'язку, що домінує у матеріалі або визначає його властивості: ковалентні, металічні, іонні, Ван дер Ваальсові, водневі тощо.

Серед найпоширеніших матеріалів — метали та сплави, зокрема, залізовуглецеві сплави (сталі й чавуни), феросплави, сплави алюмінію, золота, магнію, міді, молібдену, нікелю, кобальту, титану, хрому, цирконію тощо.

За призначенням і корисними властивостями виділяють абразивні матеріали, антифрикційні матеріали, фрикційні матеріали, будівельні матеріали, зварювальні матеріали, зносостійкі матеріали, інструментальні сталі, інгібітори корозії та інгібовані матеріали, розумні (інтелектуальні, функціональні) матеріали, конструкційні матеріали, лакофарбові матеріали, легкоплавкі матеріали, люмінофори, магнітні матеріали, магнітоелектричні матеріали, матеріали градієнтні, матеріали електретні, матеріали електроізоляційні, матеріали електропровідні, матеріали емісійні, метаматеріали, надпровідники, напівпровідники (зокрема й магніторозчинені напівпровідники), надлегкі матеріали, надтверді матеріали, наплавлювальні матеріали, немагнітні матеріали, оптичні матеріали, п'єзоелектричні та сегнетоелектричні матеріали, піроактивні матеріали, радіаційностійкі матеріали, радіопрозорі матеріали, резистивні матеріали, твердоелектролітні матеріали, термоелектричні матеріали, триботехнічні матеріали

Електротехнічними матеріалами називають матеріали, що характеризуються певними властивостями стосовно електромагнітного поля й застосовуються в техніці з урахуванням цих властивостей.

Практично різні матеріали піддаються впливу як окремо електричних або магнітних полів, так й їх сукупістю.

По поведінці в магнітному полі матеріали підрозділяють на сильномагнітні (магнетики) і слабомагнітні. Перші знайшли особливо широке застосування в техніці з урахуванням їхніх магнітних властивостей. По поведінці в електричному полі матеріали підрозділяють на провідникові, напівпровідникові й діелектричні.

Більшість електротехнічних матеріалів можна віднести до слабомагнітних або практично немагнітних. Однак і серед магнетиків варто розрізняти провідні, напівпровідні й практично непровідні що визначає частотний діапазон застосування.

У різних випадках застосування діелектриків досить чітко визначилися потреби у використанні пасивних або активних властивостей цих матеріалів.

На основі пасивних властивостей діелектричні матеріали застосовують як електроізоляційні матеріали й діелектриків конденсаторів звичайних типів.

Електроізоляційними матеріалами називають діелектрики, які не допускають витік електричних зарядів, тобто з їхньою допомогою відокремлюють електричні ланцюги один від одного або струмоведучі частини пристроїв, приладів, апаратів від провідних, але не струмоведучих частин (від корпусів, від землі). У цих випадках величина діелектричної проникності матеріалу не грає особливої ролі або вона повинна бути якомога меншою, щоб не вносити в схеми паразитних ємностей. У випадку ж використання матеріалу як діелектрика; конденсатора певної ємності й найменших розмірів за інших рівних умов бажано мати більшу величину діелектричної проникності матеріалу.

Активними (керованими) діелектриками є сегнетоелектрики, пьезоелектрики, піроелектрики, електролюмінофори матеріали для випромінювачів і затворів у лазерній техніці, електрети та ін.

Механічні властивості матеріалів.

До механічних властивостей відносять твердість, в'язкість, пружність, пластичність, лінійне розширення, крихкість, міцність, втому.

Твердість — це здатність металу чинити опір пластичній деформації або крихкому руйнуванню в поверхневому шарі при місцевій контактній силовій дії.

Існують різні методи визначення твердості: втискування, подряпанням, пружна віддача. Найпоширенішим методом є втискування в метал сталеві кульки (твердість за Брінеллем), втискування конуса (за Роквеллом), втискування піраміди (за Віккерсом).

Пружність — це властивість матеріалу поновлювати свою форму та об'єм після зняття дії зовнішніх сил, які викликають їх зміну.

В'язкість — це здатність матеріалу поглинати механічну енергію і при цьому проявляти значну пластичність аж до руйнування. В'язкість оцінюють за допомогою приладу, який називається маятниковим копром. Зразок стандартної форми вільно встановлюють на опори копра. Маятник масою піднімають на висоту та відпускають. Маятник при падінні руйнує зразок, який по інерції піднімається на деяку висоту

Ударна в'язкість — це здатність матеріалу чинити опір ударним навантаженням. За цією характеристикою оцінюють опір матеріалу проти крихкого руйнування. При ударних навантаженнях напруження, що виникають у матеріалах, діють миттєво, тому їх важко визначити. Для проведення випробовування беруть стандартний зразок, на якому роблять надріз. Випробовування зразків проводять на спеціальних установках — копрах маятникового типу.

Пластичність — це властивість матеріалу деформуватися без руйнування під впливом зовнішніх сил та зберігати нову форму після зняття дії цих сил. Пластичні властивості зразка, що випробовується, визначають при випробовуваннях на розтягування. Під дією навантаження зразки видовжуються, при цьому поперечний переріз їх відповідно зменшується. Чим більше видовжується зразок при випробовуваннях, тим більш пластичний матеріал. Характеристиками пластичності матеріалів є відносне видовження та звуження зразків.

Крихкість - це здатність матеріалів руйнуватися при прикладанні різкого динамічного зусилля. У таких крихких матеріалів явище пластичної деформації не спостерігається, тобто руйнування зразка виникає за умови рівності границі текучості та границі міцності при розтягуванні. Значення відносного видовження та відносного звуження для крихких матеріалів близькі до нуля.

До крихких матеріалів відносять скло, кераміку, порцеляну, хром, марганець, кобальт, вольфрам та ін.

Міцність — це здатність матеріалу чинити опір дії зовнішніх сил без руйнування. Залежне від характеру дії зовнішніх сил розрізняють міцність на розтягування, стиснення, згин, кручення, повзучість і втому. Найпоширенішим і найважливішим видом є випробовування за допомогою статичної дії (розтягування) на матеріал на спеціальних випробувальних установках, які називаються розривними машинами. Для випробовування на розтягання виготовляють зразки у вигляді круглих стержнів або пластин чітко визначених розмірів. Зразки закріплюють у затискачах розривної машини та прикладають до них розтяжне навантаження.

Питома міцність — це відношення границі міцності матеріалу до його щільності. Наприклад, питома міцність алюмінієвих сплавів, титану вища ніж сталі.

Втома — це руйнування матеріалу під дією невеликих повторних або знакозмінних навантажень (вібрацій). Такі навантаження зазнають, наприклад, контакти, пружини. Під дією багаторазових повторно-змінних (які змінюються тільки за значенням) та знакозмінних навантажень (стискування та розтягування) метал руйнується при напруженнях, значно менших ніж границя міцності, тобто настає втома. Витривалість — це властивість металу витримувати, без руйнування, велику кількість повторних або знакозмінних напружень.

Випробовування на витривалість виконують на спеціальних машинах, де зразки обертаються з одночасним прикладанням згинальних навантажень, які створюють розтягування та стискування.

Повзучість — це здатність матеріалу до повільної і безперервної пластичної деформації при дії постійного навантаження або напруження.

Фізико-хімічні властивості матеріалів

До фізико-хімічних властивостей напівпровідникових матеріалів відносять електропровідність, теплопровідність, температуру плавлення, корозійну стійкість та ін.

Питомий електричний опір оцінює ступінь електропровідності матеріалів для зразків правильної форми.

Теплопровідність — це здатність матеріалу передавати через свою товщину тепловий потік, який виникає внаслідок різниці температур на протилежних поверхнях. Теплопровідність залежить від внутрішньої будови матеріалу.

Висока теплопровідність металів і сплавів порівняно з іншими матеріалами пояснюється тим, що теплову енергію в металах переносять вільні електрони, які знаходяться в постійному русі. Вільні електрони зіштовхуються з іонами, що коливаються, і обмінюються з ними енергією. Коливання іонів, що підсилюються при нагріванні, передаються електронами сусіднім іонам. При цьому температура швидко вирівнюється за всією масою металу. Чим більше тепло-провідність металу, тим швидше теплота при нагріванні пошириться по всьому об'єму.

Температура плавлення — це постійна температура при якій твердий метал переходить у рідкий розплав при нормальному тиску. Температура плавлення матеріалів залежить від міцності зв'язку між молекулами, іонами і вимірюється в великих межах.

Густина — це величина, що дорівнює відношенню маси речовини до об'єму, який займає речовина. За густиною метали та сплави поділяються на дві групи: легкі, густина яких не перевищує 5000 кг/м^3 , та важкі, густина яких більше 5000 кг/м^3 . До легких металів відносять алюміній, магній, титан і сплави на їх основі, до важких — залізо, мідь, нікель, цинк, свинець і сплави на їх основі.

Корозійна стійкість — це властивість матеріалів не руйнуватись під дією агресивного середовища. Ступінь корозійної стійкості матеріалів характеризує швидкість корозії під впливом агресивного середовища. Найбільшу хімічну стійкість проти умов навколишнього середовища мають благородні метали (золота, платина, паладій та ін.).

До технологічних властивостей відносять ковкість, зварюваність, обробку різанням, рідкоплинність, усадку та ін. Технологічні властивості визначаються комплексом фізико-хімічних властивостей матеріалу. Для визначення властивостей матеріалу виконують відповідні лабораторні випробовування.

Класифікація матеріалів за електропровідністю, за магнітними властивостями Електричні властивості матеріалів.

Класифікація електроматеріалів за електричними властивостями базується на уявленнях зонної теорії електропровідності твердих тіл. Основні положення цієї теорії такі.

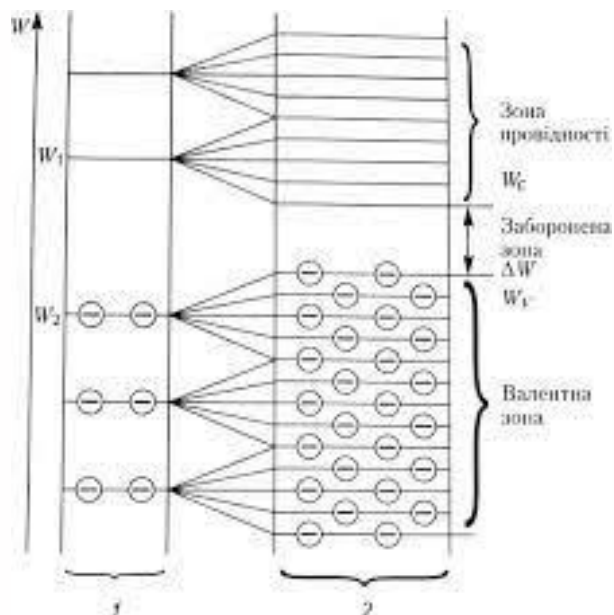


Рис. 1. Діаграма енергетичних рівнів ізольованого атома (1) і твердого тіла (2)

В ізольованому атомі електрони обертаються навколо ядра на визначених орбітах. Згідно з принципом Паулі на кожній орбіті може знаходитися не більше двох електронів. Кожній орбіті відповідає чітко визначене значення енергії, яку може мати електрон, тобто кожна орбіта являє собою визначений **енергетичний рівень**. Під дією притягання позитивно зарядженого атомного ядра електрони прагнуть зайняти ближні до ядра рівні з мінімальним значенням енергії. Тому нижні енергетичні рівні виявляються заповненими електронами, а верхні рівні — вільними. Електрон може стрибкоподібно перейти з НИЖНЬОГО енергетичного рівня W_1 на інший вільний рівень W_2 . Для цього електрону необхідно надати додаткову енергію $W = W_2 - W_1$. Якщо вільних рівнів в атомі немає, то електрон не може змінити свою енергію, тому він не бере участі у створенні електропровідності.

У кристалічних ґратках, які складаються з декількох атомів, окремі енергетичні рівні розщеплюються на підрівні, які утворюють енергетичні зони. При цьому розщеплюються вільні і заповнені енергетичні рівні. Зона, яка заповнена електронами називається **валентною**. Верхній рівень валентної зони позначається W_v . Вільна зона називається зоною **провідності**. Нижній рівень зони провідності позначається W_c . Проміжок між валентною зоною і зоною провідності називається **забороненою** зоною. Значення забороненої зони суттєво впливає на властивості матеріалів.

Якщо заборонена зона дорівнює нулю або близька до цього значення, то електрони можуть перейти на вільні рівні завдяки власній тепловій енергії та збільшити провідність речовини. Речовини з такою структурою енергетичних зон відносять до **провідників**. Типовими провідниками є метали.

У металі електрони вільні, тобто вони можуть переходити з рівнів заповненої зони на незайняті рівні вільної зони під впливом слабкої напруженості, прикладеної до провідника електричного поля.

Якщо значення забороненої зони перевищує декілька електрон-вольт (1 еВ — енергія електрона, одержана ним при переміщенні між двома точками електричного поля з різницею потенціалів 1 В), то для переходу електронів з валентної зони в зону провідності необхідна значна енергія. Такі речовини відносяться до **діелектриків**. Діелектрики мають високий питомий електричний опір.

Якщо значення забороненої зони складає 0,1...0,3 еВ, то електрони легко переходять з валентної зони в зону провідності завдяки зовнішній енергії. Речовини з керованою провідністю відносять до **напівпровідників**.

При відсутності в напівпровіднику вільних електронів (при нулю Кельвіна) прикладена до нього різниця електричних потенціалів не викличе виникнення струму. Якщо ззовні буде підведена енергія, достатня до переведення електронів через заборонену зону, то ставши

вільними, електрони зможуть переміщатися під дією електричного поля, створивши електронну провідність напівпровідника.

Таким чином напівпровідникові матеріали мають провідність, за допомогою якої можна керувати напругою, температурою, освітленістю та ін.

Питомий електричний опір напівпровідників становить $10^{-6} \dots 10^9$ Ом-м.

Провідникові матеріали використовуються для проведення електричного струму. До провідників відносять речовини з питомим електричним опором ρ менше 10^{-5} Ом-м.

Діелектричні матеріали мають властивість перешкоджати протіканню струму. До діелектричних матеріалів відносять речовини з питомим електричним опором ρ більше 10^7 Ом-м. Завдяки високому питомому електричному опору їх використовують як електроізоляційні матеріали.

Залежно від структури та зовнішніх умов матеріали можуть переходити з одного класу в інший. Наприклад, тверді і рідкі метали - провідники, а пари металів — діелектрики; типові за нормальних умов напівпровідники германій та кремній при дії високого гідростатичного тиску стають провідниками; вуглець в модифікації алмазу — діелектрик, а в модифікації графіту — провідник.

Основною властивістю речовини щодо електричного поля є *електропровідність*, яка характеризує здатність матеріалу проводити електричний струм під дією постійного електричного поля, тобто поля, напруга якого не змінюється із часом.

Магнітні властивості матеріалів

Всі матеріали, які знаходяться у магнітному полі, мають певні магнітні властивості, які зумовлені внутрішніми формами руху електричних зарядів.

За характером взаємодії із зовнішнім магнітним полем всі електрорадіоматеріали поділяються на немагнітні та магнітні.

Немагнітні матеріали не взаємодіють з магнітним полем, тобто не набувають магнітних властивостей при дії на них магнітного поля.

Магнітні матеріали мають властивість намагнічуватися.

В ізольованому атомі електрони обертаються навколо ядра з визначеним орбітальним моментом. Одночасно електрони обертаються навколо своїх осей зі спіновими магнітними моментами. Орбітальні та спінові магнітні моменти в сумі утворюють магнітний момент атома. Магнітні властивості атома визначаються, в основному, магнітними властивостями електрона, оскільки магнітний момент електронної оболонки атома приблизно в 1000 разів більший магнітного моменту атомного ядра.

Оскільки електрони з правим та лівим обертанням мають різні напрямки магнітних моментів, то сумарний магнітний момент атома може дорівнювати нулю або відрізнятись від нуля.

Матеріали з різною електронною структурою атомів мають різні магнітні властивості. За силою взаємодії з магнітним полем усі матеріали поділяються на слабкомагнітні (діамагнетики, парамагнетики) та сильномагнітні (феромагнетики, антиферомагнетики).

Сила взаємодії речовини з магнітним полем оцінюється безрозмірною величиною — магнітною сприйнятливістю:

$$k_m = M/H,$$

де M — намагніченість речовини під впливом магнітного поля, $A \ m^{-1}$;

H — напруженість магнітного поля, $A \ m^{-1}$.

Слабкомагнітні матеріали незначно змінюють свою намагніченість під впливом зовнішнього намагнічувального поля і характеризуються магнітною сприйнятливістю $k_m \ll 1$.

До слабкомагнітних матеріалів відносяться діамагнетики та парамагнетики.

Діамагнетики — це матеріали, які складаються з атомів, у яких оболонки повністю заповнені електронами. Тому результуючий магнітний момент атома дорівнює нулю.

Діамагнетизм притаманний усім матеріалам і виражається тим сильніше, чим більше електронів в атомах та чим далі вони розміщені від ядра. Їхні магнітні властивості проявляються завдяки повертанню електронних орбіт під впливом зовнішнього намагнічувального поля. Завдяки цьому з'являється результуючий магнітний момент, який

направлений назустріч зовнішньому полю і який ослаблює зовнішнє поле всередині діаманетика.

До діаманетиків відносяться більшість органічних сполук та ряд металів: мідь, срібло, золото, свинець та ін.

Парамагнетики характеризуються тим, що магнітні моменти окремих атомів парамагнетиків орієнтовані хаотично і в об'ємі твердого тіла (компенсовані). При розміщенні цих матеріалів у магнітному полі виникає орієнтація незначного числа магнітних моментів атомів та підсилення зовнішнього поля всередині парамагнетика. Це є результатом сні впадання напрямку намагніченості парамагнетиків з напрямком зовнішнього поля. Після зняття зовнішнього магнітного поля парамагнетики зберігають незначну намагніченість.

Магнітна сприйнятливість $k_M = 10^{-2} \dots 10^{-5}$. У більшості парамагнетиків магнітна сприйнятливість значно залежить від температури, для деяких парамагнетиків (лужних металів) вона від температури не залежить, а деякі мають аномальну залежність. Від напруженості поля при нормальній температурі парамагнетична сприйнятливість залежить мало, але при температурах, близьких до температури Кюрі, парамагнетики можна перевести в стан магнітного насичення. В цілому парамагнетизм проявляється в тому, що парамагнетик «втягується» в неоднорідне магнітне поле.

До парамагнетиків відносять алюміній, платину та ін.

Сильномагнітні матеріали значно змінюють намагніченість під дією зовнішнього поля і характеризуються магнітною сприйнятливістю $k_M \gg 1$. До сильномагнітних матеріалів відносяться феромагнетики, антиферомагнетки та феримагнетики.

Феромагнетики характеризуються наступними властивостями: здатністю сильно намагнічуватися навіть у незначних магнітних полях (k_M в $10^3 \dots 10^5$); здатністю переходити із феромагнітного в парамагнітний стан при температурі, яка перевищує температуру Кюрі T_K , тобто здатність втрачати магнітну сприйнятливість на 3...4 порядки. Магнітна сприйнятливість k_M має складну нелінійну залежність від температури і напруженості поля.

Феромагнетики відносяться до перехідних елементів, у яких порушений нормальний порядок заповнення електронних оболонок, і, як результат, атоми мають внутрішні незаповнені оболонки. Це спричинює те, що атоми цих елементів мають некомпенсований магнітний момент. У матеріалах, в яких сумарний магнітний момент атома відмінний від нуля, утворюються домени, тобто ділянки, самочинно намагнічені до насичення за відсутності зовнішнього магнітного поля. Залежно від кристалічної структури речовини домени мають різну форму. Лінійні розміри домену дорівнюють від тисячних до десятих часток міліметра. Окремі домени відділені один від одного примезовим шаром товщиною $10^{-2} \dots 10^{-8}$ м. Залежно від електричної взаємодії не скомпенсовані спіни сусідніх атомів встановлюються паралельно або антипаралельно. Матеріали, у яких не скомпенсовані спіни сусідніх атомів встановлюються паралельно, відносяться до феромагнетиків.

Процес намагнічування феромагнетики починається з росту найбільш сприятливо орієнтованих доменів. Такими є домени, у яких напрямки магнітних моментів близькі до напрямків напруженості намагнічувального поля. Число цих доменів збільшується в результаті зсуву меж менш сприятливо орієнтованих доменів. Після закінчення росту доменів в об'ємі кристала намагнічування матеріалу продовжується через повертання магнітних моментів доменів. При збіганні напрямків векторів магнітних моментів доменів з напрямками напруженості магнітного поля настає магнітне насичення. З подальшим підвищенням напруженості зовнішнього електромагнітного поля намагніченість матеріалу збільшується незначною мірою. При знятті зовнішнього поля вектори доменів повертаються у зворотному напрямку і матеріал розмагнічується, але не повністю.

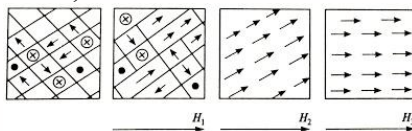


Рис. 2. Схеми орієнтування вектора намагніченості в доменах феромагнетику: а — при відсутності зовнішнього поля; б — у слабкому полі з напруженістю H_1 , в — у сильному полі з напруженістю H_2 ; I — при насиченні ($H_3 = H_s$)

До феромагнетиків відносять залізо, нікель, кобальт та їхні сплави, гадоліній, сплави хрому та марганцю та ін.

Антиферомагнетики — це матеріали, у яких магнітні моменти сусідніх атомів рівні, але їхні спіни розміщені антипаралельно.

Магнітна сприйнятливність антиферомагнетиків $= 10^{-3} \dots 10^{-5}$ і відрізняється специфічною залежністю від температури.

Феримагнетики багато в чому подібні до феромагнетиків, але мають ряд відмінностей:

- вони значно поступаються феромагнетикам за значенням намагніченості насичення (граничної намагніченості);
- у багатьох випадках мають аномальну залежність намагніченості насичення M_s від температури з наявністю точки компенсації.

Природа феромагнетизму була вперше детально вивчена на феритах — сполука оксиду заліза Fe_2O_3 з оксидом металів, наприклад, $MeOFe_2O_3$ (де Me^{++} — двовалентний метал). Магнітні властивості феромагнетиків пов'язані із взаємним розташуванням у кристалічних ґратках іонів заліза та металу.

Феромагнетики є кристалічними речовинами з доменною структурою.