

Лекція 9.

СТАЛІ ТА СПЛАВИ З ОСОБЛИВИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ.

План

1. Високоміцні сталі.
2. Зносостійкі сплави
3. Корозійностійкі сталі
4. Жароміцні сталі.
5. Сплави з високим електроопором. Сталі з заданим температурним коефіцієнтом лінійного розширення.
6. Магнітні сталі

1. Високоміцні сталі.

Високоміцні сталі мають високу конструктивну міцність (межа текучості більш 1400 МПа та параметр в'язкості руйнування (коефіцієнт інтенсивності напружень у гирлі тріщини) критерій $K_{IC} > 20 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{0,5}$) і використовуються для виготовлення деталей, які працюють в умовах різкозмінюваних важких навантажень.

До високоміцних сталей відносяться комплексно-леговані кремнієм, марганцем, нікелем, хромом, молібденом, алюмінієм, азотом, ванадієм і іншими елементами середньовуглецеві сталі, які містять від 0,25 до 0,45 % С, і дисперсно- та мартенситно- твірдіючі леговані сталі.

Висока конструктивна міцність сталей досягається шляхом гартування на мартенсит з наступним відпуском, термомеханічної обробки або холодної пластичної деформації.

Хімічний склад, температура відпуску та механічні властивості високоміцних сталей показані в таблиці П.33.

В'язкість руйнування високоміцних комплексно-легованих сталей після низького відпуску з структурою мартенситу визначається, в основному, міцністю дійсного зерна аустеніту, в той же час міцність більш зв'язана з розміром мартенситних пакетів, будовою мартенситу та існуванням інших фаз.

Легування азотом, ванадієм і алюмінієм є перспективним шляхом для отримання високоякісних високоміцних сталей, наприклад, 35Х2АФ.

Але для отримання стабільного ефекту зміцнення потрібно, щоб при виплавленні таких сталей вміст ванадію в розплаві в печі $[V_{\text{п}}]$ та кількість алюмінію, який додають, в процесі виливання розплаву, в ківші $[Al_{\text{к}}]$ відповідали наступному співвідношенню:

$$[Al_{\text{к}}] < 0,45 \cdot [V_{\text{п}}].$$

Режими термічної обробки сталей з азотом і ванадієм визначаються за умови розчинення в аустеніті від 50% до 70% нітридів ванадію.

Для виготовлення високоміцних виробів з високою стійкістю до підвищених температур експлуатації використовують дисперсно-твердіючі леговані сталі. Ефект дисперсного твердіння при відпуску загартованих на мартенсит сталей обумовлено на виділенні спеціальних карбідів в інтервалі температур від 550 до 650 °С.

Вміст вуглецю в дисперсно-твердіючих легованих сталях повинен бути в межах від 0,3 до 0,4%. Збільшення вмісту вуглецю поза вказаними межами сприяє до суттєвого зниження пластичності високоміцної сталі.

При комплексному легуванні дисперсно-твердіючих високоміцних сталей хромом, молібденом і ванадієм суттєве зміцнення досягається при вмісті $\text{Cr} \approx 5\%$, $\text{Mo} \approx 1 - 2\%$, $\text{V} \approx 0.5\%$. У цьому випадку зміцнення обумовлено виділенням дисперсних карбідів Me_7C_3 , Me_{23}C_6 (на базі хрому), Me_2C (молібдену) і MeC (ванадію). Найбільше зміцнення відбувається при виділенні карбідів Mo_2C і VC . Якщо в комплекснолегованих низьковідпущених сталях висока міцність досягається завдяки утворенню мартенситу, як пересиченого твердого розчину проникнення вуглецю в α -залізі, то у мартенситостаріючих сталях, через обмежену розчинність легуючих елементів і відсутність вуглецю, формується пересичений твердий розчин заміщення в α -залізі (мартенсит заміщення).

Мартенсит заміщення, сформований у результаті гартування, є високопластичним і достатньо міцним. Найбільший результат у зміцнення вносить старіння мартенситу, коли з пересиченого твердого розчину виділяються дисперсні фази інтерметалів типу Ni_3Ti , Ni_3Mo , NiTi тощо. Мартенситостаріючі сталі володіють стійкістю до 450 °С.

Термічна обробка сталей полягає в аустенізації при 800-870 °С, нормалізації або гартуванні у воді та подальшому старінні в інтервалі температур від 400 до 550 °С, протягом трьох годин. Мартенситостаріючі сталі дорогі, мають високу питому міцність і застосовуються в літако - та ракетобудуванні.

Відомо, що при збільшенні ступеню деформації міцність зростає з швидкістю 6 МПа на 1% деформації. Тому цей шлях використовують для отримання високоміцних сталей, як термомеханічною обробкою, так і холодною пластичною деформацією.

Високоміцні сталі використовують для виготовлення особливо відповідальних і навантажених деталей (деталі шасі літаків, конструкції фюзеляжів, високоміцні болти, котли високого тиску, оболонки ракетних двигунів, корпуси ракет, пружини, високошвидкі ротори, підшипники, вали та ін.).

[На початок](#)

2. Зносостійкі сплави

Зношування являє собою процес руйнування та видалення матеріалу з поверхні твердого тіла або накопичення його залишкової деформації при

терті, яке проявляється у поступовій зміні розмірів або форми тіла (ГОСТ 27674-88).

До головних видів зносу відносяться:

1. Абразивний знос, який відбувається в процесі інтенсивного руйнування поверхні деталі машин при терті, обумовленого присутністю абразивного середовища в зоні тертя та виражається в локальній пластичній деформації та мікрорізанні абразивними частинками поверхонь тертя;
2. Адгезійний знос, який виникає в умовах тертя, коли дві гладкі поверхні тіл ковзання контактують одна з одною і частинки матеріалу, які вирвані з одної поверхні, прилипають до іншої;
3. Корозійний знос, який має місце, коли контакт поверхонь відбувається в корозійних середовищах.
4. Поверхнева втомлюваність, коли спостерігається багаторазове ковзання або кочення по поверхнях з безперервноповторними циклами навантаження та розвантаження.

Серед вищенаведених видів зносу найбільш поширеним є абразивний знос. Здатність абразивних частинок втілюватися в поверхневий шар матеріалу та руйнувати його оцінюється по співвідношенню мікротвердості абразиву і матеріалу.

Пластична деформація накопичується у поверхневому шарі в міру збільшення кількості циклів при зношуванні та, як наслідок, зростає неоднорідність напруженого стану та структури поверхневого шару з утворенням концентраторів напружень, виникають та розповсюджуються тріщини, що доводить до руйнування поверхневого шару. Руйнування металу відбувається тоді, коли в локальних об'ємах основи та включеннях зміцнюючої фази накопичена енергія досягає значення достатнього для розриву міжатомних зв'язків з утворенням нових поверхонь.

Внаслідок пластичної деформації спостерігається збільшення мікротвердості структурних складових з наступним різким падінням пластичності при руйнуванні поверхні тертя. Схильність сталей до зміцнення при пластичній деформації визначається структурою. Найбільшою здатністю до зміцнення мають аустенітна та мартенситна структури.

Опір сталі абразивному зносу в значній мірі залежить також від дисперсності абразиву та характеру розподілу зміцнюючої фази, позитивний внесок, якої полягає в тому, що вона сприяє рівномірному розподілу енергії та підвищенню енергоємності у поверхневому шарі, який зношується, тобто збільшує здатність матеріалу до поглинання енергії без руйнування.

Підвищення зносостійкості сплавів досягається подрібненням структури, легуванням С, Мn, Si, Cr, Ni, Мо, V та іншими елементами, дисперсійним твердінням, карбідами та нітридами, об'ємним, або поверхневим зміцненням шляхом термічної, або хіміко – термічної обробки, а також наплавленням або напиленням поверхонь зношування. Ефективність вищеприведених методів видно, що легуванням та термічною обробкою можливо суттєво підвищити

абразивну зносостійкість сплавів. Крім того, слід відзначити, що легування сталей азотом та ванадієм, дає можливість збільшувати зносостійкість виробів у 2 – 3 рази.

Особливе місце серед зносостійких сталей займають високо- марганцеві та графітізовані сталі.

Високомарганцеві сталі типу 110Г13Л після гартування від температур 1000 - 1100 °С мають однофазну аустенітну структуру та, як наслідок, високу пластичність і ударну в'язкість. Сталі дуже здатні до наклепування і мають високу зносостійкість при зношуванні в умовах пластичного деформування.

Таблиця II. Приклади призначення зносостійких сталей.

Марка	Призначення
27ХН2МФЛ	Литі зуби та елементи кріплення ковшів екскаваторів
27ХГСНМДТЛ	Наконечники розпушувачів ґрунтів, опорні катки важких бульдозерів, ведучі шестерні, зірочки приводних ланцюгів
30ХГ2СТЛ	Башмаки, ножі бульдозерів, шестерні екскаваторів, опорні ролики, важелі, зубчасті колеса
110Г13Л, 110Г13ХБРЛ	Широка номенклатура виливків, які працюють в умовах ударно-абразивного зношування (броне плити, молотки дробарок, траки гусениць, залізничні стрілки і хрестовини, зуби ковшів екскаваторів, тощо).
Графітізована сталь	Поршневі кільця, поршні, колінчасті вали та інші для роботи в умовах тертя.

Графітізована сталь після гартування поєднує властивості загартованої сталі та чавуну. Графіт у такій сталі є змащуючою фазою. Сталь має структуру ферито-цементитної суміші з певною кількістю графіту. Залежно від режиму термічної обробки і вмісту вуглецю кількість графіту може значно змінюватись.

[На початок](#)

3. Корозійностійкі сталі

Корозією називається руйнування металу під дією навколишнього середовища. Ознакою корозії є втрата металевого блиску й поява її продуктів на поверхні металу або сплаву. Корозія призводить до значного погіршення механічних властивостей металу і його руйнування.

За характером пошкоджень і умовами їх виникнення корозію розрізняють *загальну (суцільну), місцеву та вибіркову*. При одночасній дії агресивного середовища і механічних напружень виникає особливий вид руйнування - корозійне розтріскування, а при дії змінних напружень - корозійна втомлюваність.

Окрім того, розрізняють хімічну й електрохімічну корозію.

Хімічна корозія спричиняється дією на метал сухих газів і неелектролітів і не супроводжується виникненням електричного струму.

Електрохімічна корозія викликана дією на метал електролітів - розчинів, що містять іони та є провідниками електричного струму. Під час електрохімічної корозії виникає електричний струм. До електролітів належать водяні розчини солей, кислот і лугів. Якщо два метали, що перебувають в електроліті, набувають різних електродних потенціалів, то метал з від'ємним потенціалом (анод) віддає свої позитивні іони в розчин і поступово руйнується (розчиняється). Надлишкові електрони переходять у метал, що має більш високий електродний потенціал (катод). Сам катод не зазнає руйнування, а електрони з катода переходять у зовнішнє середовище. Чим нижчий електродний потенціал металу, тим швидше він віддає свої іони в розчин і нижча його корозійна стійкість. Найвищий потенціал має золото, нульовий - водень, а найнижчий потенціал із відомих елементів - літій.

Стійкість сталі проти корозії можна підвищити, збільшуючи електродний потенціал сплаву за допомогою легування елементами, які мають більш негативний електродний потенціал (хром, кремній, алюміній) чи елементами з більш високим потенціалом, ніж залізо (наприклад, мідь, молібден, нікель).

Другий механізм (який може мати місце одночасно з першим) – утворення оксидної щільної плівки, що оберігає атоми заліза від окислення або розчинення. Наявність плівки оксидів елемента, що окислюється легше, ніж залізо, якби механічно оберігає його від дії агресивного середовища. Для цього концентрація елемента не повинна бути нижчою за певну величину, а захисна плівка повинна щільно і міцно перекривати всю поверхню виробу.

Захисні властивості оксидних плівок залежать від їх суцільності, міцності, щільності, коефіцієнта теплового розширення і адгезійних властивостей.

Неіржавіючі або корозійностійкі сталі одержують введенням до складу низько- та середньовуглецевих сталей значної кількості хрому (не менше 12,5 %) і нікелю, а також додатково титану, алюмінію, молібдену, ніобію, міді, марганцю та інші. Залежно від структури, розрізняють аустенітні (12X18H9, 12X18H10, 04X18H10, 10X14Г14НЗ), феритні (12X17, 08X17Т), мартенситні (40X13), аустенітно-мартенситні (09X15H18Ю) та аустенітно-феритні (08X21H6M2Т) корозійностійкі сталі. Найпоширеніші хромисті феритні і хромонікелеві аустенітні сталі.

Хромисті *феритні корозійностійкі сталі* найдешевші, але за корозійною стійкістю поступаються хромонікелевим. Так, сталь 12X17 стійка у кислотних середовищах, але не придатна для використання при зварюванні, оскільки при нагріванні під час зварювання вище 900-950°C і швидкому охолодженні границі зерен сталі збіднюються хромом. При вмісті менше 12 % Cr електрохімічний потенціал сталі стає негативним і вона втрачає здатність чинити опір корозії. За таких умов у сталі 12X17 виникає небезпечний вид корозії - міжкристалічна корозія. Для запобігання цьому використовують сталь леговану титаном 08X17Т.

Підвищення концентрації хрому сприяє утворенню σ - фази (Fe, Cr), що супроводжується збідненням α - твердого розчину хромом, у місцях її виділення, та зниженням корозійної стійкості сталі. У феритних сталях з 20 % Cr мінімальний час утворення σ - фази при 600°C дорівнює 150 год, а в сталях з 25% Cr при 650 °C - 15 год.

Термічна обробка хромистих сталей може бути різною залежно від поставленої мети. Щоб усунути крихкості сталі її піддають короткочасному нагріванню вище 500 °C. Швидкість охолодження в інтервалі 350-550 °C повинна бути достатньо високою, щоб попередити повторний розвиток крихкості при 475°C.

Наприклад, для сталі 15X25T рекомендується охолодження нижче 500 °C із швидкістю $\geq 10^\circ\text{C}/\text{с}$. Для сталей з 17 % Cr допустимі і менші швидкості охолодження. Для відновлення стійкості проти міжкристалічної корозії хромової феритної сталі звичайно застосовують стабілізуючий відпал при 750-800°C, час витримки для сталей типу X17 і X25 (0,005-0,15 %C) становить приблизно 60 хв. Стійкість до міжкристалічної корозії також істотно підвищується внаслідок відпалу і при більш низьких температурах, але при більш тривалих витримках.

Крихкість, викликана виділенням σ -фази, усувається при нагріві до температури її розчинення. Звичайно хромисті сталі (без додаткового легування) нагрівають на 870-900 °C, витримують одну годину, а потім охолоджують у воді. Якщо сталь легована молібденом, нікелем та іншими елементами, то при подальшому нагріванні розчинення σ - фази настає при 900-950 °C і при більш тривалих витримках, ніж у низьколегованих сталях.

При температурі вище 850-900°C у феритних сталях починається активний ріст зерна. Це супроводжується підвищенням температури переходу в крихкий стан і збільшенням схильності до міжкристалічної корозії.

У зв'язку з відсутністю поліморфних перетворень у феритних сталях зростання зерна - незворотнє явище. Перевести феритну сталь з грубозернистого в дрібнозернистий стан можна лише за допомогою гарячої пластичної деформації (температура кінця деформації 700-750 °C) і подальшої стандартної термічної обробки.

Аустенітні хромонікелеві сталі містять підвищену кількість хрому, нікелю та вуглецю менш 0,12%. Основна група сталей аустенітного класу відома в світовій практиці під найменуванням сталей типу 18-10. У них міститься 18 % Cr і 10 % Ni.

Залежно від режиму термічної обробки у хромонікелевих аустенітних сталях типу 18-10 можуть відбуватися наступні перетворення: 1) виділення надмірних фаз карбідів і σ -фази при нагріванні в інтервалі 450-900 °C; 2) утворення в аустенітній основі δ -фериту при високотемпературному нагріванні; 3) утворення α -фази мартенситного типу при охолодженні, або в процесі холодної пластичної деформації.

Для зниження схильності до міжкристалічної корозії їх легують (стабілізують) сильними карбідоутворюючими елементами (Ti, Nb), що зменшують вміст вуглецю у твердому розчині (сталі 12ХН8Н9Т, 12ХН8Н9Б) або зменшують вміст вуглецю (сталь 04Х18Н10). Для економії нікелю його частково замінюють марганцем. Так, сталь 10Х14Г14НЗ використовують як замінник сталі 12Х18Н9. Розроблено також високолеговані сталі для агресивних середовищ (80 %-ний розчин H_2SO_4) із складною системою легування елементами Cr, Ni, Mo, Cu.

Існують наступні марки хромонікелевих аустенітних сталей: 12Х18Н9, 17Х18Н9, 12Х18Н10Т, 12Х18Н9Т, 08Х18Н10Т, 08Х18Н12Б, 03Х18Н11.

Для хромонікелевих аустенітних сталей можливі два види термічної обробки: стабілізуючий відпал і гартування. Гартування - ефективний засіб попередження міжкристалічної корозії і отримання оптимального поєднання механічних і корозійних властивостей. Проте виконати це досить складно у разі крупногабаритних і складних (особливо зварних) деталей і конструкцій: висока температура нагрівання і достатньо швидке охолодження можуть призвести до значного викривлення виробів. У цих випадках звичайно застосовують стабілізуючий відпал при більш низьких температурах. Якщо гартування припускає повне розчинення карбідів хрому, то при стабілізуючому відпалі їх приводять у безпечний для міжкристалічної корозії стан (нестабілізовані сталі) або трансформують у спеціальні карбіди (стабілізовані сталі).

Відпал нестабілізованих (без титану та ніобію) сталей проводять в інтервалі від 850 – 950 °С, коли по межах зерен сталі присутні карбіди хрому, проте схильність до міжкристалічної корозії відсутня.

Мета відпалу стабілізованих сталей, тобто легованих титаном або ніобієм - переміщення вуглецю з карбідів хрому в спеціальні карбіди титану або ніобію. Хром, що вивільнився, необхідний для створення певного рівня корозійної стійкості. Звичайно відпал проводять при температурі найактивнішого виділення карбідів титану або ніобію (900-1000°С). Охолодження нестабілізованих сталей після відпалу повинно бути достатньо швидким, щоб уникнути виділення додаткової кількості карбідів хрому та зсуву рівноважної концентрації хрому на межу розділу карбід - аустеніт у бік менших концентрацій.

Для стабілізованих титаном або ніобієм сталей допускаються значно менші швидкості охолодження після відпалу, ніж для стабілізованих сталей.

Температура гартування повинна бути вибрана так, щоб забезпечувалося повне розчинення карбідів хрому, але при цьому не було надмірного зростання аустенітного зерна. Звичайно, залежно від вмісту вуглецю, фази карбіду і температури рекристалізації температура гартування нестабілізованих аустенітних хромонікелевих сталей коливається в межах 900-1100 °С. Витримка сталі при температурі гартування досить короткочасна. Для листового матеріалу сумарний час нагрівання і витримки при нагріванні до 1000-1050 °С вибирають з розрахунку 1-3 хв на 1 мм

товщини листа. Для нестабілізованих сталей із вмістом вуглецю більше 0,03 % застосовують охолодження у воді. Сталі з меншим вмістом вуглецю, що використовуються для виготовлення деталей невеликого перетину, допускається при гартуванні охолоджувати на повітрі.

Гартування стабілізованих сталей проводять для розчинення карбідів хрому. Температура гартування стабілізованих сталей мало залежить від вмісту вуглецю, оскільки велика частина його, навіть при сенсibiliзації, залишається зв'язаною в спеціальні карбіди. Температурний інтервал нагрівання під гартування цих сталей 1000—1100°C. Подальше підвищення температури шкідливе, оскільки створюються умови для швидкого зростання зерен і розчинення спеціальних карбідів. Допускають охолодження стабілізованих сталей з температури гартування у воді або на повітрі.

Аустенітні хромонікелеві сталі широко застосовують у харчовій, хімічній, нафтопереробній галузях промисловості, а також у транспортному машинобудуванні та будівництві.

[На початок](#)

4. Жароміцні сталі.

Жароміцність - здатність металу чинити опір пластичній деформації та руйнуванню при високих температурах.

З підвищенням температури характеристики міцності металів і металевих сплавів знижуються. Це відбувається тому, що при нагріванні рухливість атомів зростає, збільшується кількість вакансій, підсилюються дифузійні процеси та зменшуються сили міжатомного зв'язку у кристалічних ґратках і, як наслідок, знижується міцність. Особливо інтенсивно при підвищенні температури збільшується швидкість дифузії на границях між зернами, де атоми не утворюють правильних кристалічних ґраток і можуть вільно переміщатися. Тому границі між зернами при підвищенні температури розміцнюються швидше.

Температура плавлення металів є показником міцності міжатомних зв'язків у кристалічних ґратках. Тому для створення жароміцних сплавів використовують метали з високою температурою плавлення (залізо, нікель, кобальт). Ще більш жароміцними виявляються сплави на основі хрому, молібдену й інших тугоплавких металів.

Відомо, що в процесі пластичної деформації металу при температурі нижче температури рекристалізації процес зміцнення відбувається за схемою пластична деформація - зміцнення (наклеп). При нагріванні можливі два взаємно протилежних процеси: по-перше, зміцнення, обумовлене пластичною деформацією і, по-друге, розміцнення, обумовлене зменшенням внутрішньої напруги кристалічних ґраток відпуском, коагуляцією фаз, розчиненням зміцнюючих фаз і рекристалізацією. Отже, при нагріванні метал може зберігати свою міцність до температур, при яких ще інтенсивно не протікають процеси розміцнення, пов'язані з дифузійними процесами. Тому

міцність металу при підвищених температурах не є величиною постійною, а залежить від температури і тривалості навантаження.

Жароміцність досягає максимального значення при граничному насиченні твердого розчину легуючими елементами та може бути збільшена за рахунок виділення дисперсних фаз. Вплив таких виділень на жароміцність тим більша, чим менша їх схильність до коагуляції.

Критеріями оцінки жароміцності є короткочасна і тривала міцність та повзучість.

Короткочасну міцність визначають за допомогою звичайних випробувань на розтяг зразків, які поміщають у піч та випробовують при заданій температурі. Позначають короткочасну міцність, наприклад, так: $\sigma_{\sigma}^{300^{\circ}\text{C}} = 350 \text{ МПа}$; $\sigma_{0,2}^{300^{\circ}\text{C}} = 280 \text{ МПа}$. Це позначає, що межа міцності на розтяг при температурі 300°C дорівнює 350 МПа , а межа текучості – 280 МПа .

Межею тривалої міцності називають максимальну напругу, що викликає руйнування зразка при заданій температурі за визначений час. Наприклад, $\sigma_{300\text{год}}^{900^{\circ}\text{C}} = 200 \text{ МПа}$. Верхній індекс 900 означає температуру випробувань у $^{\circ}\text{C}$, нижній - час випробування в годинах. Приклад показує, що руйнування зразка при температурі 900°C і витримці 300 годин відбулося при напрузі 200 МПа .

Тривала міцність протягом $30\text{-}60$ хв, так звана «хвилинна», необхідна в ракетобудуванні, годинна - в авіації, а для котельних установок, де не дуже високе значення робочих напруг, потрібна тривала міцність протягом декількох років.

Повзучістю називають властивість металів повільно пластично деформуватися під дією постійного навантаження при постійній температурі. При випробуванні на повзучість зразки поміщають у піч із заданою температурою і прикладають задане постійне навантаження. Деформацію вимірюють індикаторами з точністю до $0,001 \text{ мм}$.

При звичайних температурах і діючій напрузі менше межі пружності металу повзучість не спостерігається. Тільки, коли напруженість від постійного навантаження перевищує межу пружності металу при даній температурі, спостерігається повзучість.

Повзучість розвивається у випадку переваги процесу розміщення матеріалу над зміцненням (наклепом), викликаним пластичною деформацією. Для вуглецевих сталей повзучість спостерігається при нагріванні вище 400°C .

Для деяких кольорових металів з низькою температурою плавлення, наприклад олова, повзучість відбувається і при звичайній температурі.

Критерієм повзучості є *межа повзучості*, яка показує напруженість при якій за визначений час при заданій температурі відбувається задане сумарне відносне видовження (δ , %) або задана швидкість деформації (v , %/год). Межу повзучості позначають $\sigma_{\delta\tau}^t$ або $\sigma_{v\tau}^t$.

Для забезпечення роботоздатності виробів при високих температурах їх виготовляють з жароміцних сталей та сплавів, які містять хром, кремній, нікель, молібден та інші елементи.

Для температур 300 - 500 °С використовують Cr – Si - сталі мартенситного класу (сільхроми) типу 40X9C2 після відпалу від 850 - 870 °С (охладження на повітрі), гартування від 900 - 1100 °С (охладження у оливі) та відпуску від 500 - 540 °С (охладження на повітрі) та 40X10C2M після гартування від 1010 - 1050 °С у оливі чи повітрі та відпуску від 720 - 780 °С (охладження у оливі). З них виготовляють клапани двигунів автомобілів і тракторів.

Високолеговані аустенітні сталі типу 17X18H9 після гартування від 1080-1120 °С у воді чи повітрі або для сталі 45X14H14B2M після високого відпуску від 810 - 830 °С (охладження у повітрі) використовують при температурах 600 - 900 °С. Аустенітні сталі досить міцні, але в'язкі і погано обробляються різанням. З них виготовляють парові котли, лопатки газових турбін, сопла реактивних двигунів, тощо.

Для роботи при температурах від 800 до 1000 °С використовують хромонікелеві сплави - ніхроми і німоніки з мінімальним вмістом вуглецю (0,06-0,12 % C). Вони містять більше 55 % Ni і переважають за властивостями кращі жароміцні сталі. За структурою їх поділяють на гомогенні (ніхроми ХН60Ю, ХН78Т, тощо) та використовують після гартування від 980 - 1020 °С у воді чи повітрі і гетерогенні (німоніки ХН77ТЮ, ХН77ТЮР, тощо), які гартують від 1080 °С, або гартують та старіють при 700 - 750 °С протягом 5 - 16 годин з охолодженням на повітрі. Хромонікелеві сплави легують елементами, які утворюють з нікелем дисперсні інтерметалідні зміцнюючі фази типу (Ni, Co, Cr)₃Ti, (Ni, Co, Cr)₃Al тощо.

Жароміцні сплави на основі кобальту використовують обмежено, наприклад для лопаток соплового апарату реактивних двигунів.

[На початок](#)

5. Сплави з високим електроопором. Сталі з заданим температурним коефіцієнтом лінійного розширення.

Сплави з високим електроопором призначені для виготовлення ненавантажених деталей, що працюють в окисних середовищах та електронагрівальних елементів приладів і печей. Внаслідок проходження електричного струму по електронагрівальним елементам приладів і печей у них виділяється тепло, яке нагріває прилад або піч.

Сплави працюють при температурах до 1200 °С, тому вони повинні мати високу жаростійкість. Цим вимогам відповідають сталі леговані хромом і алюмінієм (фехраль – Х13Ю4, хромелі - Х23Ю5 та Х27Ю5А) та сплави хрому з нікелем (ніхроми - ХН60Ю, ХН78Т) та фероніхроми (ХН20ЮС).

До матеріалів з *низьким коефіцієнтом лінійного розширення* належать сплави заліза з нікелем, кобальтом та іншими добавками. Ці сплави мають у

деякому інтервалі температур малий коефіцієнт лінійного розширення, який не залежить від температури.

Хімічний склад та властивості сплавів заліза з нікелем наведено в табл. 3,

Таблиця 3. Хімічний склад та властивості сплавів
заліза з нікелем та кобальтом

Сплав	Марка	Вміст елементів, %			Коефіцієнт лінійного розширення	Температура вимірювання, °C
		Ni	Co	Fe		
Інвар	H36	36	-	Решта	$\leq 1,5 \cdot 10^{-6}$	-80 – +100
Супер-інвар	H31K6	30-32	4 – 6	Решта	$\leq 1 \cdot 10^{-6}$	-60 - +60
Платиніт	H48	48	-	Решта	$\leq 9 \cdot 10^{-6}$	+20 – 300

Інвар застосовують для виготовлення деталей приладів, що не повинні помітно змінювати розміри при коливаннях температури.

Платиніт має коефіцієнт лінійного розширення такий же, як у платини та скла. Його використовують, як провідник для введення електроструму у скляні прилади. Якщо спай платиніту зі склом піддається нагріванню, то в результаті однакового розширення обох матеріалів у склі не виникає напруг.

Залізонікелевий сплав з 38 % Ni має коефіцієнт лінійного розширення однаковий з порцеляною та його використовують у радіотехніці.

Спайку тугоплавкого скла з більш низьким коефіцієнтом лінійного розширення проводять зі сплавом *ковар* (H29K18), що містить близько 29% Ni, 20 % Co інше залізо, або елінвар (H36X8).

Значення коефіцієнту лінійного розширення сплавів H29K18 та H36X8, при температурах до 500 °C, приблизно таке ж, як і у тугоплавкого скла. Ці сплави поряд з низьким коефіцієнтом лінійного розширення зберігають постійні пружні властивості (~до 100 °C), внаслідок чого їх застосовують для виготовлення пружин у годинниках і точних приладах.

[На початок](#)

6. Магнітні сталі

Основні дані про магнітні властивості матеріалу дають криві намагнічування, які наведені на рисб.

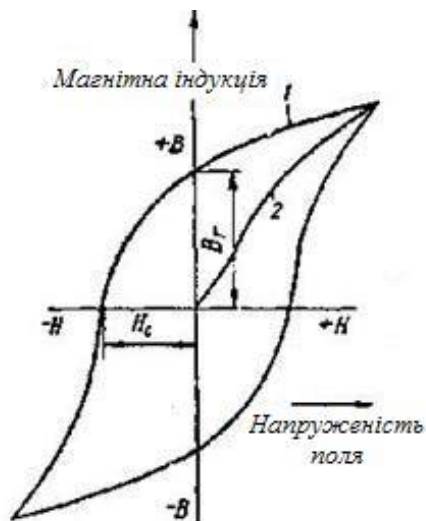


Рис. 6. Крива намагнічування: 1 - крива гістерезису; 2- первинна крива намагнічування

Крива 1 показує зміну магнітної індукції залежно від напруженості магнітного поля при наступному намагнічуванні і розмагнічуванні в залежності від напруженості поля. Площа, обмежена цією кривою, що називається петлею гістерезису, являє собою втрати на гістерезис, тобто енергію, що витрачена на намагнічування. Крива 2 є початковою кривою намагнічування.

Найважливішими є наступні магнітні характеристики:

Індукція магнітного поля чисельно дорівнює силі, з якої магнітне поле діє на одиничний елемент струму, розташований перпендикулярно до напрямку поля.

Залишкова індукція B_r це магнітна індукція, що залишається у зразку після його намагнічування і зняття магнітного поля (вимірюється в гаусах).

Коерцитивна сила H_c - напруженість поля, що повинна бути прикладена до зразка для того, щоб його розмагнітити (повинна бути зворотна полярність, вимірюється в ерстедах).

Магнітна проникність - інтенсивність намагнічування, яка змінюється зі зміною напруженості магнітного поля та пропорційна тангенсу кута нахилу дотичної до кривої початкового намагнічування і чисельно дорівнює відношенню B/H , тобто має розмірність - гаусс/ерстед. У досить слабких полях вона називається початковою магнітною проникністю.

Як відомо, речовина, магнітна проникність якої більше одиниці, називається *парамагнетиком*, якщо менше одиниці - *діамагнетиком*.

Відхилення від рівноважного стану (напруги в ґратках, викликані наклепом або фазовими перетвореннями, подрібнюванням зерен та ін.) викликають підвищення коерцитивної сили. Зміни в будові, що викликають підвищення механічної твердості, підвищують і магнітну твердість (коерцитивну силу). Цим пояснюється застосування термінів: магнітна твердість або м'якість.

Магнітні сплави поділяються на дві групи, що відрізняються формою гістерезисної кривої і значеннями основних магнітних характеристик. До першої групи належать *магнітно-тверді сплави*, які характеризуються великим значенням коерцитивної сили і застосовуються для постійних магнітів.

До другої належать *магнітно-м'які сплави* для яких характерно мале значення коерцитивної сили і низькі втрати на гістерезис. Застосовуються

вони як сплави, що піддаються змінному намагнічуванню, тобто в умовах безперервного перемагнічування (наприклад, осердя трансформаторів).

При утворенні твердого розчину (у залізі або в іншому феромагнітному металі) його магнітна твердість (тобто коерцитивна сила) підвищується незначно.

Легування твердого розчину викликає підвищення магнітної твердості, а внаслідок утворення вторинної фази коерцитивна сила підвищується ще більше.

Підвищення дисперсності вторинної фази в сплаві доводить до збільшення його коерцитивної сили.

У якості *магнітотвердих матеріалів* використовують сталі, леговані хромом, вольфрамом і кобальтом (EX3, EX7B7, EX5K5 тощо), а також спеціальні ливарні сплави типу *алніко* (Al - Ni - Co - Fe), наприклад ЮНДК15, магніко (ЮНДК24), алнісі (ЮНС).

Для одержання високих магнітних властивостей сплави піддають складній термообробці, що складається з попередньої нормалізації (загартування на повітрі), загартування від звичайної температури у воді або олівії і низький відпуск (бажано з попередньою обробкою холодом).

Нормалізація необхідна для розчинення великих включень карбідних фаз, що могли утворитися при попередньому відпалі і, які при нормальному нагріванні під гартування можуть не розчинитися в аустеніті та не забезпечити одержання потрібних магнітних властивостей.

Обробка холодом усуває парамагнітний залишковий аустеніт, тим самим підвищуючи магнітні властивості; відпуск при 100°, хоча незначно знижує коерцитивну силу, однак стабілізує її величину в часі.

Магнітотверді сплави застосовують, в основному для виготовлення постійних магнітів. Сталеві магніти виготовляються куванням з наступним відпалом і механічною обробкою. Залізо-нікель-алюмінієві сплави не піддаються механічній обробці і тому виготовляються або литтям, або металокерамічним способом з наступним шліфуванням.

Магнітно-м'які сталі використовуються для роботи в перемінних полях, тобто в умовах безперервного перемагнічування. Магнітно-м'які матеріали повинні мати мале значення коерцитивної сили і високу магнітну проникність. З них виготовляють осердя магнітних пристроїв, магнітошляхи. Для цієї мети застосовують низьковуглецеві сталі з додаванням 1—5 % кремнію, а також спеціальні сплави — пермалой, альсифер тощо.

Електротехнічну сталь і пермалой звичайно випускають у вигляді листів, алсифер — це ливарний сплав.

До *немагнітних матеріалів* відносяться *немагнітні чавуни*, наприклад, нікель-марганцеві (вміст Mn від 7 до 10 %, Ni від 7 до 9 %) або марганцево-мідні, які містять 9,8 % Mn і від 1,2 до 2,0 % Cu, які використовують для виготовлення кожухів і бандажів електричних машин.

[На початок](#)

