Тема 2 (Лекція № 2,3)

Спеціальні конструкційні сталі і сплави

1. Використання спеціальних сталей і сплавів у с/г і автотракторному машинобудуванні.
2. Автоматні сталі
3. Ливарні сталі.
4. Кулькопідшипникові сталі.
5. Нержавіючі сталі.
6. Зносостійкі сталі.
7. Жароміцні і жаростійкі сталі і сплави.
8. Магнітні сталі і сплави.

АВТОМАТНІ СТАЛІ

- Обробка різанням – основний спосіб виготовлення більшості деталей машин і пристроїв. За умов покращання оброблюваності сталей різанням зростає продуктивність їх обробки. Особливе значення це має для масового виробництва, де широко використовують **автоматичні** лінії.
- Підвищена оброблюваність різанням досягається за рахунок використання **технологічних** та **металургійних** заходів.

МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ОБРОБЛЮВАНОСТІ РІАННЯМ

ТЕХНОЛОГІЧНІ:

1) термічна обробка (для середньовуглецевих сталей – нормалізація)
2) наклеп (для низьковуглецевих сталей)

МЕТАЛУРГІЙНІ (більш ефективні):

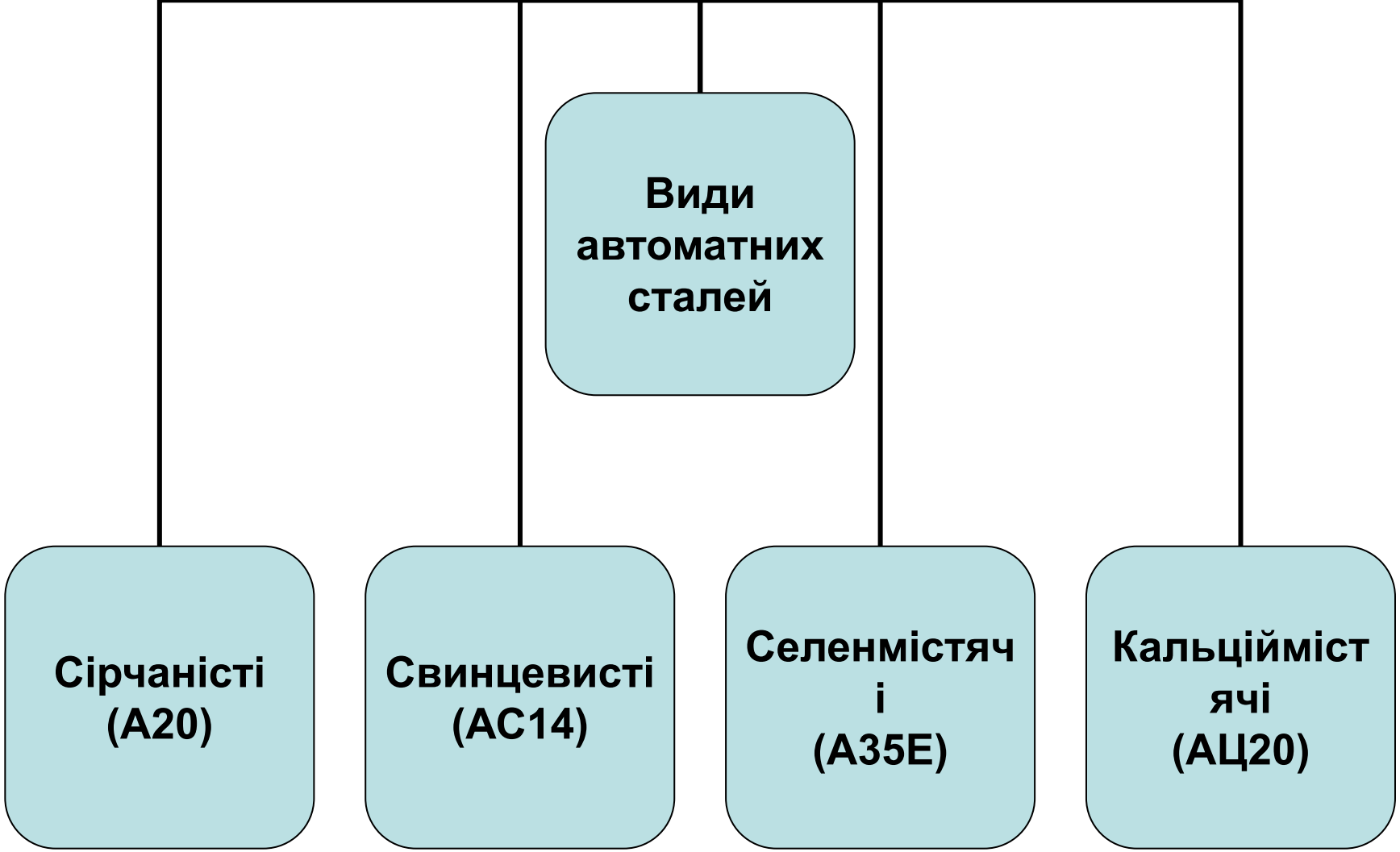
введення в сталь

1)сірки, селена, телура, кальцію (які змінюють склад і кількість неметалевих включень),
2) свинцю (який утворює свої металеві включення)
3) фосфору (який змінює властивості металевої основи)

Маркировка автоматних сталей

Автоматні сталі, або сталі підвищеної оброблюваності різанням використують у масовому виробництві **кріпильних** виробів та інших деталей на верстатах-автоматах з великою **швидкістю різання**.

Автоматні сталі **маркирують** літерою “А” й цифрами, які вказують на середню кількість **вуглецю** в сотих частках відсотка. Присутність інших елементів показують додаткові літери : С – свинець, Е – селен, Ц – кальцій.


Види автоматних сталей
Сірчаністі (А20)
Свинцевисті (АС14)
Селенмістячі (А35Е)
Кальціймістячі (АЦ20)

Автоматні сірчаністі сталі

Автоматні **сірчаністі** сталі А11, А12, А20, А30, А35 і А40Г є вуглецевими. Оброблюваність сталі різанням поліпшується при зростанні в ній кількості домішок **сірки** (0,08…0,25%) і **фосфору** (0,05…0,15%), завдяки чому стружка робиться **ламкою** й легко відділяється від поверхні виробу, а сама поверхня стає більш гладкою.

Для **зниження червоноламкості** збільшують кількість марганцю до 0,7…1,55%).

Автоматні свинцевисті сталі

Введення **свинцю** у вуглецеву сталь в кількості 0,15...0,35% поліпшує оброблюваність різанням через те, що свинець в процесі різання плавиться, що знижує міцність, коефіцієнт тертя й зусилля різання. Це дає можливість удвічі підвищити продуктивність механічної обробки, стійкість інструментів та на 30…40 % збільшити швидкість різання. При маркируванні таких сталей ставлять літеру “С”: АС14, АС40.

Автоматні свинцевисті сталі

ВУГЛЕЦЕВІ

АС14, АС40, АС35Г2, АС45Г2

ЛЕГОВАНІ

АС14ХГН, АС40ХГНМ, АС20ХГНМ

Сталі з підвищеною кількістю сірки й свинцю мають велику ***анізотропію*** механічних властивостей, схильні до крихкого руйнування та мають знижену границю витривалості, через що їх використують тільки для малонавантажених деталей двигунів.

Автоматні селенмістячі сталі

Автоматні **селенмістячі** містять 0,04…0,10 % Se та 0,06…0,12 % S. Підвищення оброблюваності автоматних **селенмістячих** сталей пояснюється утворенням включень селенідів та сульфоселенідів **глобулярної** форми, які зберігають свою форму і після обробки тиском та не викликають анізотропію властивостей.

Автоматні селенмістячі сталі

ВУГЛЕЦЕВІ

А35Е, А45Е

ЛЕГОВАНІ

А40ХЕ
(хромиста)

Автоматні кальціймістячі сталі

Автоматні **кальціймістячі** (0,002…0,008% Ca) сталі (АЦ20,АЦ30, АЦ40Х, АЦ30ХН та ін.) з доданням свинцю і кальцію призначені для деталей, які обробляють твердосплавними інструментами на **високих швидкостях різання**. При цьому саме при високих швидкостях тугоплавкі кальціймістячі включення, які утворюються в цих сталях, здатні розм’якати та проявляти змазуючу дію лише при високих температурах у зоні різання.

Ливарні сталі

Ливарні сталі використовують для деталей зварювально-литих конструкцій, арматури, крупних шестерен, зубчастих колес, валків та інших деталей.

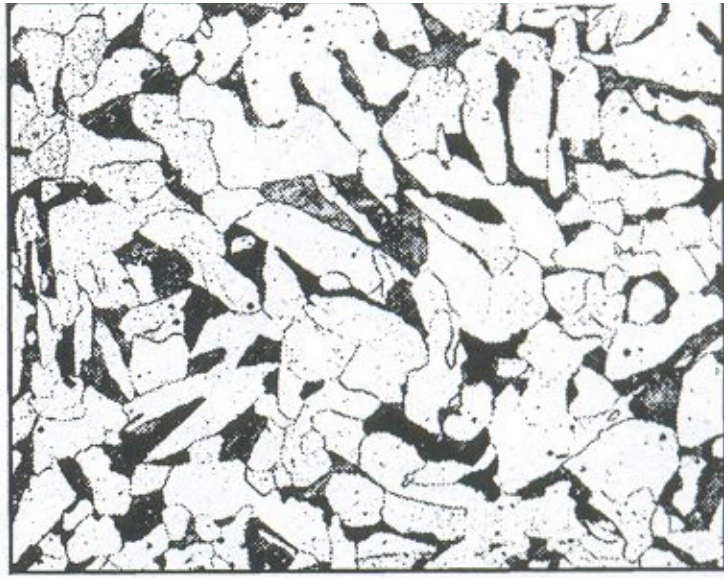
Ливарні властивості сталей значно гірші, ніж чавунів і більшості кольорових ливарних сплавів:

1) не мають в структурі евтектики, внаслідок чого мають порівняно низьку рідкотекучість
2) мають високу схильність до утворення гарячих ливарних тріщин
3) мають високу температуру плавлення
4) лінійна усадка таких сталей дуже висока й досягає 2,3%.

При твердінні виливків утворюються великі зерна аустеніту, всередині яких при наступному охолодженні в сталях з кількістю вуглецю менше ніж 0,4% формуються направлені пластини надлишкового фериту, тобто виникає *відманштедтова структура*. Ливарна сталь з відманштеттовою структурою має низьку пластичність та ударну в’язкість, і для підвищення цих властивостей виливки із сталей, які містять менше, ніж 0,4%С, піддають повному відпалу або нормалізації. При цьому відносне здовження зростає з 3...8% до 20...30%. Виливки з середньовуглецевих сталей (0,25...0,5%С) піддають нормалізації або поліпшенню, а також поверхневому гартуванню.

Відманштедтовий ферит

у литому стані



після нормалізації

З метою зниження ливарних напружень виливки піддають термічній обробці.

При маркіруванні ливарних сталей в кінці марки ставлять літеру “Л”, наприклад: 40Л.

Кульопідшипникові сталі

Підшипники кочення є відповідальними деталями багатьох машин: верстатів, автомобілів, тракторів, комбайнів і т.і. Вони працюють в умовах кочення шариків чи роликів по зовнішньому чи внутрішньому кільцям. Найчастіше причинами відмовлення підшипників є злом, руйнування тіл кочення та робочих поверхонь колець, втомленосне викришування робочих поверхонь елементів підшипників.

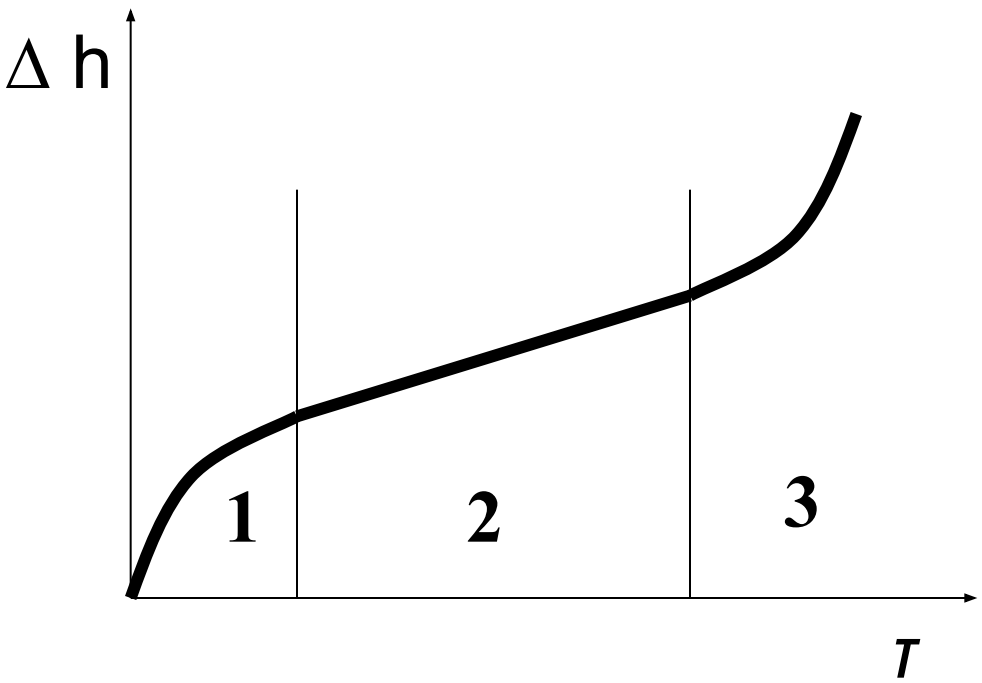
Зношування та види зносу

Зношування – це процес поступового руйнування поверхневих шарів матеріала шляхом відокремлення його частинок під впливом сил тертя.

Результат зношування – це знос, який оцінюють за:

1) Зміною розмірів – лінійний знос;
2) Зменшенням об’єму – об’ємний знос;
3) Зменшенням маси – масовий знос.

Періоди зносу



Залежність величини зносу

Δh від часу роботи *τ*

1 – період приробки (зношування відбувається з постійно зменшуваною швидкістю)

2 – період нормального зносу (швидкість зносу постійна і невелика)

3 – період катастрофічного зносу (зношування відбувається з постійно зростаючою швидкістю)

Підшипники кочення працюють при **низьких** динамічних навантаженнях, що дозволяє використовувати **високовуглецеві** сталі, леговані **хромом** та іншими елементами.

Кількість вуглецю становить в усіх сталях біля **одного** відсотка, і тому її не вказують при маркируванні.

Вимоги до кульопідшипникових сталей

- **Мінімальна** карбідна **неоднорідність**

  (зменшується при відпалі на зернистий перліт)
- **Мінімальна забрудненість** неметалевими включеннями

  (зменшується при позапічній обробці – особливо високоякісні сталі)

Термічна обробка

- Неповне гартування в маслі з низьким відпуском.

  Особливість: кількість залишкового аустеніту після гартування 8-15 %, тому використовують **обробку холодом**.

Для виготовлення тіл кочення та підшипникових кілець невеликих перерізів звичайно використовують високовуглецеву хромисту сталь ШХ15. Для великих перерізів використовують сталь ШХ15СГ.

Маркірування кульопідшипникових сталей: ШХ15 - сталь кульопідшипникова (літера “Ш” напочатку марки), хромиста з кількістю хрому 1,5% (після літери “Х” цифри вказують кількість хрому в **десятих** частках відсотка).

Кількість вуглецю становить в усіх сталях біля одного відсотка, і тому її не вказують при маркируванні.

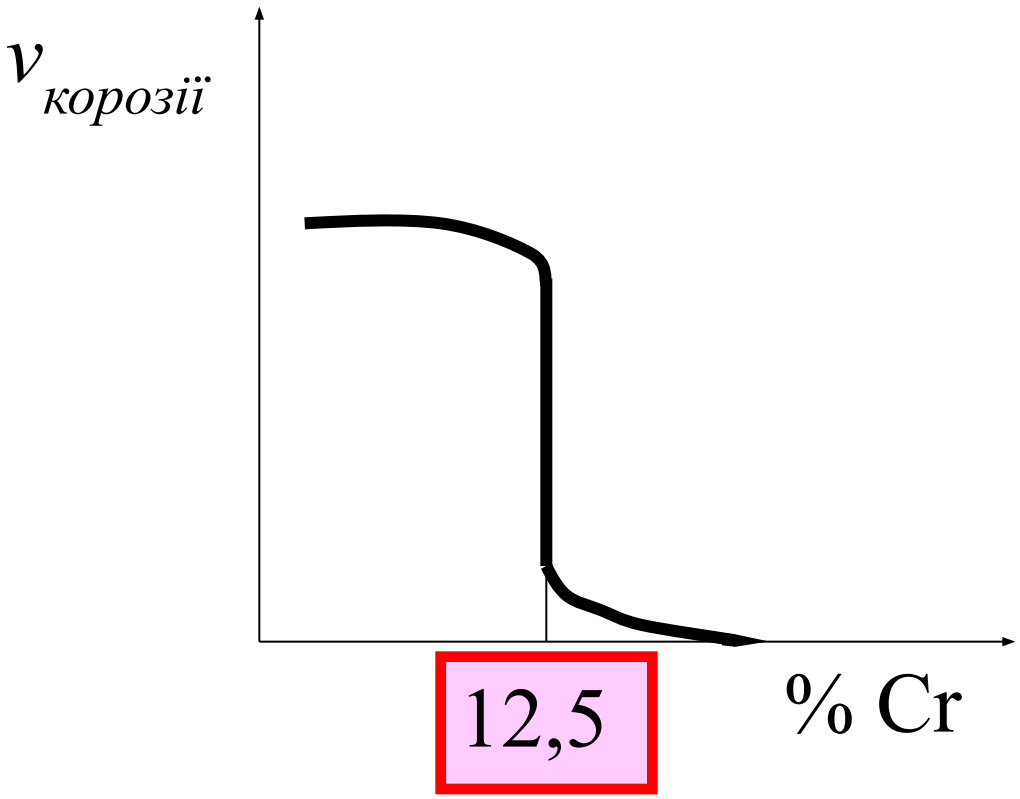
Довговічність сферичних підшипників значною мірою визначається відхиленнями від сферичної форми, які призводять до биття.

Нержавіючі сталі

Антикорозійні властивості мають тільки спеціально леговані сталі.

Сталі, які мають високий опір електрохімічній корозії, називають ***нержавіючими*** сталями.

Основними легуючими елементами, що забезпечують корозійну стійкість нержавіючих сталей, є хром і нікель.



Хром має високий опір корозії в багатьох окисних середовищах: на повітрі, у воді, в азотній кислоті тощо через виникнення на поверхні дуже тонкої (завтовшки менше сотої частки міліметра) прозорої й щільної плівки оксидів хрому, що захищає поверхню від зовнішнього середовища, до якого хром стає пасивним.

Свою здатність легко пасуватися хром передає при легуванні залізу і сталі **при умові**, що він входить до складу **твердого розчину** на основі Fe, де його концентрація перевищує 12%

Збитки від корозії

прямі

Включає вартість заміни прокородувавших частин машин, трубопроводів, пристроїв.

побічні

пов’язані з простоєм обладнання в результаті аварій, погіршення якості продукції, підвишення витрат палива, матеріалів, енергії.

Статистика свідчить, що в залежності від країни і кліматичних умов сумарні збитки від корозії досягають рівня 3-10% валового продукту.

Способи захисту від корозії

- Утворення на поверхні щільних суцільних $\frac{V_{ок}}{V_{Me}} > 1$плівок оксидів з високими властивостями та счеплюваністю з основою;
- Нанесення захисних покриттів і плівок.

Групи нержавіючої сталі

Нержавіючі сталі

хромисті

13…30 % Cr

хромо-нікелеві

18 % Cr + 9 % Ni

Групи хромистих нержавіючих сталей

Хромисті нержавіючі сталі

конструкційні

інструментальні

‹ 0,3 % С

› 0,3 % С

Хімічний склад нержавіючої хромистої сталі

Марка сталі	C	Cr	Mn	Si
12Х13	0,09-0,15	12-14	≤ 0,8	≤ 0,8
20Х13	0,16-0,25	12-14	≤ 0,8	≤ 0,8
30Х13	0,26-0,35	12-14	≤ 0,8	≤ 0,8
40Х13	0,36-0,45	12-14	≤ 0,8	≤ 0,8
12Х17	≤ 0,12	16-18	≤ 0,8	≤ 0,8
15Х28	≤ 0,15	27-30	≤ 0,8	≤ 0,8

Термічна обробка хромистої нержавіючої сталі

Конструкційна:

Повне гартування у маслі на **мартенсит** і <u>високий</u> відпуск на **сорбіт** відпуску

Інструментальна:

Повне гартування у маслі на **мартенсит** і <u>низький</u> відпуск на **мартенсит** відпуску

Хромо-нікелеві нержавіючі сталі

Сталі, що містять 18% Cr та 9%Ni при кімнатній температурі мають **аустенітну** структуру. Такі сталі мають більш високу корозійну стійкість у порівнянні з хромистими сталями. Особливо добре вони чинять опір корозії в атмосферних умовах, в тому числі в забрудненій атмосфері промислових районів, яка містить сірчасті гази.

Хімічний склад хромонікелевих нержавіючих сталей

Марка сталі	C	Cr	Ni	Ti	Інші
08Х18Н10	≤ 0,08	17-19	9-11	-	≤ 0,8 Si, ≤ 2 Mn
12Х18Н9	≤ 0,08	17-19	8-10	-	≤ 0,8 Si, ≤ 2 Mn
12Х18Н9Т	≤ 0,08	17-19	8-9,5	0,5-0,8	≤ 0,8 Si, ≤ 2 Mn
12Х21Н5Т	0,09-0,14	20-22	4,8-5,8	0,25-0,5	≤ 0,8 Si, ≤ 0,8 Mn

Перспективи розвитку нержавіючої сталі

1. Створення безвуглецевих сталей з підвищеним вмістом азоту 03Х21Н9, бо всі нітриди розчиняються у твердому розчині

2. Використання замість дорогого нікеля марганцю і азоту, які також стабілізують аустеніт.

   Прикладом економнолегованих аустенітних сталей можуть бути 10Х14АГ15 (0,15...0,25% N), 10Х14Г14Н4Т

Зносостійкі сталі

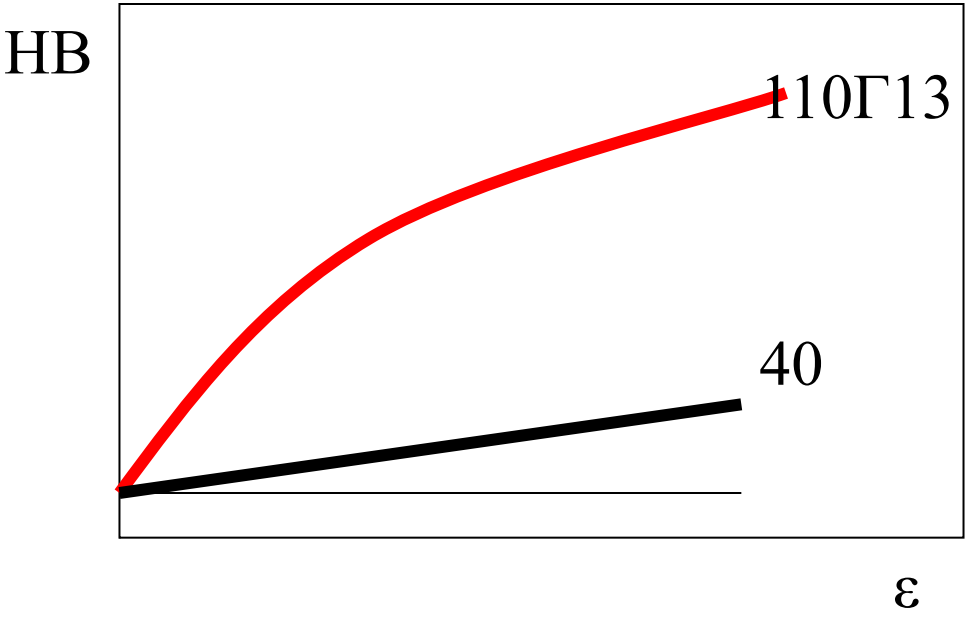


Рис. Вплив деформації на твердість сталей 40 і 110Г13

Причина значного зміцнення при зносі в умовах ударних багатоциклічних навантаженнях – деформаційне мартенситне перетворення

Високомарганцовисті сталі. Звичайно високий опір зношуванню досягають при отриманні поверхні з високою твердістю. Але існує аустенітна сталь, яка в умовах тертя, що супроводжується значним питомим тиском (при повній відсутності чисто абразивного зношування), при низькій твердості 200...250 НВ має високу зносостійкість. Це так звана сталь Гадфільда, який вперше запатентував її в 1883 році. Такі сталі позначають як 110Г13 (1,1%C, 13%Mn, < 0,5%Si) та 110Г13Л (1,1%C, 13%Mn, приблизно1%Si). Літера “Л” означає, що сталь лита.

Така сталь має структуру аустеніту з надлишковими карбідами $(Fe,Mn)_3C$.

Жароміцні і жаростійкі сталі і сплави

Жароміцність - це здатність матеріалу протистояти механічним навантаженням (пластичній деформації та руйнуванню) при високих температурах (> 0,3 $t_{плавлення}$)

Жаростійкість - це здатність чинити опір газовій корозії при високих температурах.

Жароміцні сталі

Їх використовують в теплоенергетиці, нафтохімічній промисловості та хімічному машинобудуванні. Вони призначені для **тривалої** (до 20 років) експлуатації і тому повинні мати дуже стабільну структуру.

Основними легуючими елементами в таких сталях є: Cr, Ni, W, Mo, Nb і Ti.

Види жароміцних сталей і сплавів

сталі

перлітні
(500-550^{0}C)
12ХМ, 12Х1МФ

аустенітні
(600-700^{0}C)
45Х14Н14В2М

мартенситні
(600-620^{0}C)
15Х11МФ,
сильхроми

сплави

нікелеві
сплави
(700-900^{0}C)
15Х11МФ, ніхром
(Ni+Cr),
німоніки
(Ni+Cr+Ti+Al)

Хімічний склад і властивості деяких марок жароміцних сталей

Марка сталі	C	Cr	Ni	Mn	Інші	Границя міцності (100 циклів), МПа, при температурі, °C		
						600	700	800
Сталі з карбідним зміцненням								
45Х14Н14В2М	0,4-0,5	13-15	13-15	-	2-2,75 W; 0,25-0,4 Mo	220	-	-
37Х12Н8Г8МФБ	0,34-0,4	11,5-13,5	7-9	7,5-9,5	1,1-1,4 Mo; 0,25-0,45 Nb; 1,25-1,55 V	450	300	150
Сталі з інтерметалідним зміцненням								
10Х11Н20Т3Р	До 0,1	10-12,5	18-21	-	2,3-2,8 Ti; до 0,5 Al; 0,008-0,02 B	-	300	100
10Х11Н23Т3МР	До 0,1	10-12,5	21-25	-	2,5-3,0 Ti; до 0,5 Al; 0,008-0,02 B; 1-1,6 Mo	580	400	200

Клапанні сталі

Для **випускних** клапанів автомобільних та тракторних двигунів внутрішнього згоряння невеликої потужності використують хромокремністі сталі, які називають *сильхромами*. Серед них найбільш відомі 40Х9С2 та 40Х10С2М (0,7...0,9%Mo). Але при нагріванні вище 500...600°С міцність сильхромів значно падає, тому у форсованих двигунах та дизелях замість сильхромів використують жароміцні аустенітні сталі

Хімічний склад клапанних сталей

Марка сталі	C	SI	Cr	Mo	Інші
40Х9С2	0,35-0,45	2,0-3,0	8,0-10,0	-	-
40Х10С2М	0,35-0,45	1,9-2,6	9,0-10,5	0,7-0,9	-
45Х14Н14В2М	0,40-0,50	0,8	13,0-15,0	0,25-0,4	13,0-15,0 Ni; 2,0-2,8 W

Жаростійкі (окалиностійкі) сталі

Жаростійкі (окалиностійкі) сталі використують для виготовлення виробів, що працюють при температурах вище 550°С в ненавантаженому або слабко навантаженому стані (вихлопні патрубки, деталі пічного обладнання, жарові труби тощо).

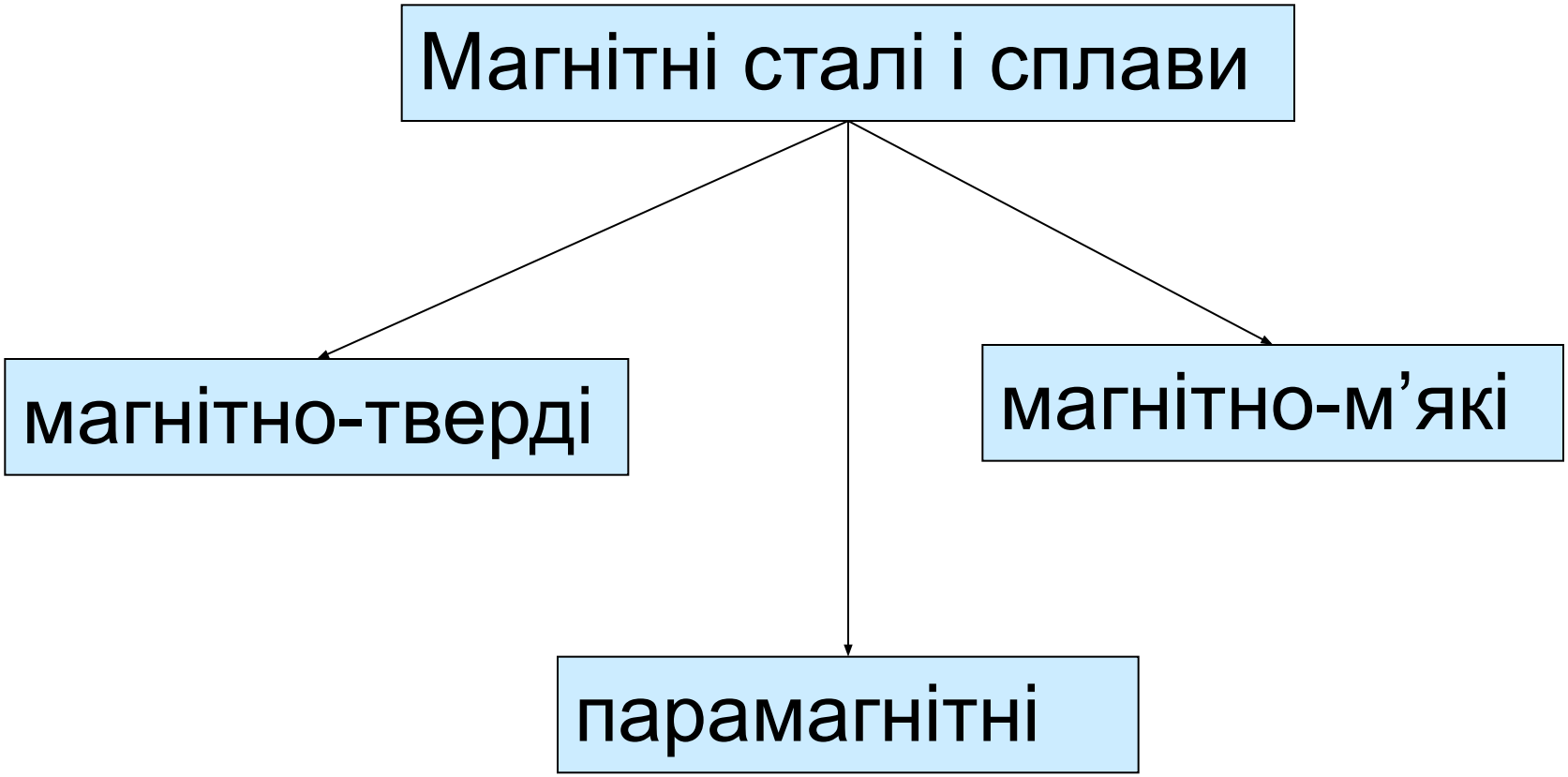
Жаростійкість сталей підвищують легуванням **хромом, алюмінієм та кремнієм**, які підвищують жаростійкість легованих сталей через утворення складних оксидів.

Хромисті сталі феритного класу - найбільш дешеві жаростійкі матеріали. Нержавіючу хромисту сталь 08Х13 використують як жаростійку до 800°С. Спеціальні жаростійкі сталі 15Х28 та 20Х23Н18 через велику кількість хрому може працювати до 1100°С.

Магнітні сталі і сплави

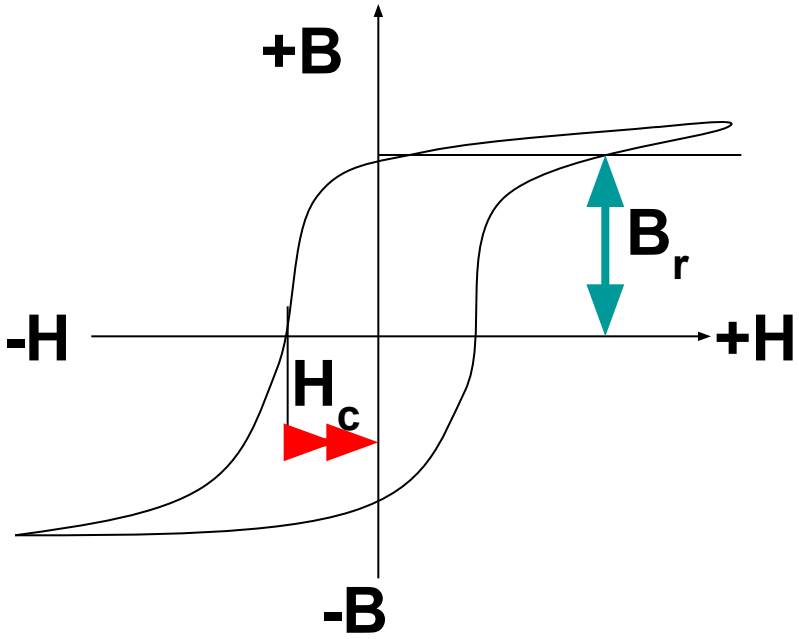
В залежності від знаку і ступеня магнітної сприйнятливості матеріалів розрізняють:

- Феромагнетики – висока магнітна сприйнятливість (**тільки 4 Ме**: Fe, Co, Ni, гадоліній Yd)
- Парамагнетики – характеризуються слабкою намагнічуваністю під дією зовнішнього поля (K, Al, Na, Mo, W, Ti)
- Діамагнетики – мають негативну сприйнятливість, вони намагнічуються протилежно прикладеному магнітному полю і, таким чином, послабляють його. Це напівпроаідники (Si, Yc), діелектрики (полімери) Be, Cu, Ag, Pb, деякі перехідні Ме.

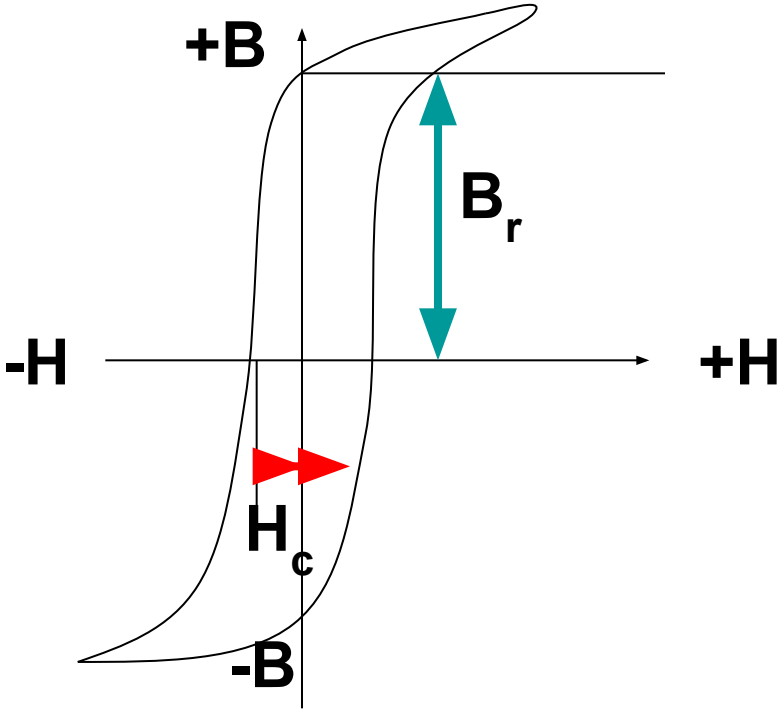

Магнітні сталі і сплави
магнітно-тверді
парамагнітні
магнітно-м’які

Фізичні характеристики магнітних матеріалів

магнітно-тверді



магнітно-м’які



B_r – залишкова індукція

Залишкова індукція – яка залишається в зразку після його намагнічування і зняття магнітного поля.

H_c – коерцитивна сила

Коерцетивна сила – це напруженість магнітного поля зворотнього знаку, яку треба прикласти до зразка для його розмагнічування.

Магнітно-тверді сталі і сплави

Вимоги:

- висока коерцитивна сила
- мала магнітна проникність
- великі втрати при перемагнічуванні

Використання : постійні магніти

Висока коерцетивна сила досягається через:

А) особливості фазових перетворень:

- Мартенситним перетворенням.
- Розпадом твердого розчину і виділенням дисперсних фаз.
- Перетворенням невпорядкованих структур твердого розчину у впорядковані, де атоми займають строго визначені місця у кристалічній гратці.

Б) крім того Нс зростає при виникненні викривлень кристалічної решітки через напруження та при подрібленні зерна.

Для постійних магнітів використовують :

1. Високовуглецеві сталі зі структурою М, леговані Cr та Co (1% C). Маркировка **EX3; EX5K5; EX9K15M2** . Легуючі елементи підвищують магнітні характеристики;

   термічна обробка: нормалізація, гартування + низький відпуск.

2. Сплави **Fe-Ni-Co (алніко або ЮНДК); Fe+8%Al+14Ni+24Co**. Значне зростання магнітних властивостей, якщо охолодження після гартування проводити в сильному магнітному полі.

   термічна обробка : $t_{нагр}=1300^0$ швидке охолодження в магнітному полі і відпуск 625^0, після чого вони стають анізотропними і виникає магнітна текстура (H_c сильно зростає у напрямку прикладенного магнітного поля). Виникненню текстури сприяє направлена кристалізація.

Хімічний склад деяких марок магнітно-твердої сталі

Марка сталі	C	Cr	Інші
ЕХ	**0,95-1,10**	**1,3-1,6**	**-**
ЕВ6	**0,68-0,78**	**0,3-0,5**	**5,2-6,2 W**
ЕХ5К5	**0,90-1,05**	**5,5-6,5**	**5,5-6,5 Co**

Маркировка магнітно-твердої сталі

ЕХ – “Е” – магнітно-тверда сталь
Х – хромиста, 1 % Cr

ЕХ9К15М2 - “Е” – магнітно-тверда сталь
Х9 – 9 % Cr
К15 – 15 % Co
М2 – 2 % Mo

Хімічний склад деяких литих сплавів для постійних магнітів

Марка сплаву*	Ni	Al	Co	Cu	Інші
ЮНДК15	18-19	8,5-9,5	14-15	3-4	0,2-0,3 Ti
ЮН14ДК25А	13,5-14,5	8,0-8,5	24-26	3,5	≥ 0,03 Ti
ЮНДК31Т3БА	12-13,5	6,8-7,2	30,5-31,5	3,0-3,5	3-3,5 Ti; 0,9-1,1 Nb
ЮНДК40Т8АА	14 -14,5	7,2-7,7	39,0-46,0	3-4	7-8 Ti; 0,1-0,2 Si

*** Літера “А” або літери “БА” наприкінці марки означають, що сплави мають стовбчасту структуру, а літери “АА” - монокристалічну структуру.**

Магнітно-м’які (електротехнічні) сталі

Вимоги:

- мала коерцитивна сила
- висока магнітна проникність
- малі втрати при перемагнічуванні
- малі втрати на вихрові струми

Використання: осердя магнітних пристроїв (трансформаторів, електродвигунів і генераторів) та магнітопроводи

Магнітно-м’які сталі і сплави

1. Технічно чисте залізо (0,005-0,025 %C).
2. Електротехнічні низьковуглецеві сталі, додатково леговані **Si** (0,8-4,8%).

   Термічна обробка: відпал 1100^0-1200^0 у вакуумі або атмосфері сухого водню.

3. Пермалой (Fe+45…83% Ni).
4. Альсифер (дешевше) (85% Fe; 9,6% Si; 5,4% Al) – крихкий – в телекомунікаціях в слабких магнітних полях – вакуумним переплавом.

Парамагнітні сталі

Їх використують в електротехніці, приладобудуванні та спеціальних галузях техніки, коли необхідні немагнітні сталі. В такому разі використують парамагнітні аустенітні сталі 17Х18Н9, 12Х18Н9Т, 55Г9Н9Х3, 50Г18Х4, 40Г14Н9Ф2, 40Г14Н9Х3ЮФ2 та ін.

Недоліком цих сталей є низька границя текучості, що утруднює їх використання для значно навантажених деталей машин. **Міцність** можна підвищити шляхом **дисперсійного або деформаційного зміцнення**. Підвищення зносостійкості деталей, які працюють у вузлах тертя, досягають **азотуванням** (сталі 40Г14Н9Ф2, 40Г14Н9Х3ЮФ2 та ін.).