

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

Навчальний посібник

Галико А. В.,
Кузик О. В.
Кропівний В. М.
Кропівна А. В.
Молокост Л. А.



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Кіровоградський національний технічний університет
Кафедра матеріалознавства та ливарного виробництва

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

Навчальний посібник

Навчально-методичний комплекс для студентів денної і заочної форм
навчання

Кіровоград
Видавець Лисенко В.Ф.
2015

УДК 621.891
ББК 30.3
М34

Матеріалознавство. Навчальний посібник: навчально-методичний комплекс для студентів денної і заочної форм навчання / А.В. Галико, О.В. Кузик, В.М. Кропівний, А.В. Кропівна, Л.А. Молокост – Кіровоград: КОД, 2015. – 168 с.

Навчальний посібник містить робочу програму, лекції, загальні положення щодо організації самостійної роботи студентів з дисципліни «Матеріалознавство», тематику лабораторних, індивідуальних і контрольних робіт та методичні вказівки до їх підготовки.

Приведено питання до модульного і підсумкового контролю, критерії оцінювання знань студентів та перелік рекомендованої літератури.

ББК30.3

Укладачі:

Галико А. В. – к.т.н., доц. каф. "МЛВ" КНТУ;

Кузик О. В. – к.т.н., каф. "МЛВ" КНТУ;

Кропівний В. М. – к.т.н., проф., зав.каф."МЛВ" КНТУ;

Кропівна А. В. – к.т.н., доц. каф. "МЛВ" КНТУ;

Молокост Л. А. – ст. викл., каф. "МЛВ" КНТУ;

*Друкується згідно рішення науково-методичної ради
Кіровоградського національного технічного університету
(Протокол № 8 від 20.04.15р.*

Рецензенти:

Криль Я.А. д.т.н., проф. зав. каф. "Зносостійкості і відновлення деталей" ІФНТУНГ

Аулін В.В. к.ф-м.н., проф. каф. "Експлуатації та ремонту машин" КНТУ

ISBN 978-617-7197-23-1

© Кіровоградський національний технічний університет, 2015

© Галико А.В., Кузик О.В., Кропівний В.М., Кропівна А.В., Молокост Л.А. 2015

© Видавець Лисенко В.Ф., 2015

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ.....	4
ВСТУП.....	6
1. НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КУРСУ "МАТЕРІАЛОЗНАВСТВА".....	8
1.1 Обсяг та структура курсу для студентів денної та заочної форм навчання.....	8
1.2 Навчально-методичний план та зміст дисципліни.....	9
1.3 Тематика лекційного курсу з дисципліни.....	12
1.4 Тематика лабораторних занять з дисципліни.....	12
2. СТРУКТУРА, КОРОТКИЙ ЗМІСТ ЛЕКЦІЙНОГО КУРСУ ТА МЕТОДИЧНІ ПОРАДИ ДО ЙОГО ВИВЧЕННЯ.....	13
3. СТРУКТУРА, КОРОТКИЙ ЗМІСТ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ ТА МЕТОДИЧНІ ПОРАДИ ДО ЇХ ВИВЧЕННЯ.....	106
4. СТРУКТУРА, КОРОТКИЙ ЗМІСТ ІНДИВІДУАЛЬНИХ ТА КОНТРОЛЬНИХ РОБІТ ТА МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ЇХ ВИКОНАННЯ.....	125
4.1 Тематика індивідуальних робіт	125
4.2 Методичні вказівки до виконання індивідуальних робіт	125
4.3 Зміст самостійної роботи.....	126
4.4 Тематика контрольних робіт.....	128
4.5 Методичні вказівки до виконання контрольних робіт.....	132
5. ПИТАННЯ ДО ЕКЗАМЕНАЦІЙНОГО КОНТРОЛЮ ЗНАНЬ СТУДЕНТІВ ТА КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ ЇХ ЯКОСТІ..	135
5.1 Тестовий контроль знань студентів.....	135
5.1.1 Приклади типових тестових питань.....	135
5.1.2 Критерії оцінювання якості знань студента.....	139
5.2 Контроль знань студентів за екзаменаційними білетами.....	139
5.2.1 Приклади типових екзаменаційних білетів.....	139
5.2.2 Критерії оцінювання якості знань студента за екзаменаційним білетом.....	142
6. ЗАСТОСУВАННЯ НАЙБІЛЬШ ПОШИРЕНИХ МАРОК СТАЛЕЙ ТА ЧАВУНІВ ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ В ГАЛУЗЯХ МАШИНОБУДУВАННЯ.....	143
7. ТИПОВІ СТРУКТУРИ ОСНОВНИХ ТАНІВ МЕТАЛІВ ТА СПЛАВІВ.....	147
ЛІТЕРАТУРА.....	151
ГЛОСАРІЙ.....	152

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ

А – аустеніт
А_{зал} – аустеніт залишковий
Б – бейніт
В.В. – високе відпускання
ВДП – вакуумно-дугова переплавка
ВІГ – високочастотне імпульсне гартування
ВТМО – високотемпературна механічна обробка
Г – графіт
ГАРТ – гартування
ГЦК – кубічна гранецентрована гратка
ГЦУ – гексагональна щільно-укладена гратка
Евт – евтектика
Евtd – евтектоїд
ЕТО – електронна термообробка
ЕШП – електрошлакова переплавка
К – карбіди
К.З. – кількість зародків
К_I – карбіди первинні
К_{II} – карбіди вторинні
Л – ледебурит
ЛЕ – легуючий елемент
ЛТО – лазерна термообробка
М – мартенсит
М_в – мартенсит відпускання
М_{гар} – мартенсит гартування
М_к – температура кінця мартенситного перетворення
М_п – температура початку мартенситного перетворення
Н.В. – низьке відпускання
HRC – твердість по Роквеллу
HB – твердість по Брінелю
HV – твердість по Вікерсу
НТМО – низькотемпературна механічна обробка
ОПГ – об'ємне поверхнєве гартування
ОЦК – кубічна об'ємноцентрована гратка
П – перліт
С – вуглець
С – сорбіт
С.В. – середнє відпускання
САП – спечений алюмінієвий порошок
С_в – сорбіт відпускання
СВЧ – струми високої частоти

Т – тростит

T_b – тростит відпускання

ТМО – термомеханічна обробка

ТО – термічна обробка

Ф – ферит

ХТО – хіміко-термічна обробка

Ц – цементит

C_I – цементит первинний

C_{II} – цементит вторинний

C_{III} – цементит третинний

Ш.Р. – швидкість росту кристалів

Fe-C – залізо-вуглець

$V_{кр.}$ – критична швидкість

$V_{охл.}$ – швидкість охолодження

ВСТУП

Матеріалознавство – це наука, яка вивчає залежність між хімічним складом, будовою і властивостями матеріалів, а також впливом на їх будову і властивості теплових, хімічних, електромагнітних та інших факторів. Сучасна техніка характеризується широким спектром умов роботи: високими питомими навантаженнями, високими швидкостями відносного переміщення, високими та низькими температурами, агресивні середовища, вакуум та ін. Ці умови, в процесі експлуатації, вимагають застосування таких матеріалів, які забезпечили б безвідмовну і довговічну роботу деталей, механізмів та машин в цілому, високу надійність різного інструменту та обладнання при невисокій вартості.

Мета курсу – дати майбутньому фахівцеві комплекс знань щодо будови та комплексу властивостей матеріалів, які застосовуються при конструюванні, виготовленні, відновленні, ремонті та експлуатації сільськогосподарських, підйомно-транспортних, будівельних, дорожніх, меліоративних машин та обладнання.

Головним завданням дисципліни «Матеріалознавство» є набуття знань та навичок по оцінці властивостей матеріалів, раціональному вибору їх для конкретних умов роботи, вміння застосовувати ефективні технологічні методи зміцнення, які б забезпечили здешевлення виробів, зниження витрат матеріалів з одночасним збільшенням строку служби.

При вивченні дисципліни застосовуються такі форми навчання: лекції, лабораторні заняття, самостійна та індивідуальна робота студентів. Вони методично забезпечуються програмою даного курсу, завданнями до лабораторних занять та індивідуальної роботи студентів, викладеними у посібнику, тестах.

Самостійна робота передбачає:

- виконання домашніх завдань відповідно до тем дисципліни, підготовку до лабораторних занять;
- доопрацювання матеріалу лекцій;
- самостійне вивчення тем, які не включено до лекційного курсу;
- роботу в інформаційних мережах;
- опрацювання додаткової літератури (список рекомендованої літератури наводиться після кожної теми);

Індивідуальна робота студента включає:

- написання рефератів, наукових доповідей та їх презентації, підготовка тез доповідей для студентських науково-практичних конференцій та узагальнення знань з матеріалознавства за певними темами;
- отримання консультацій у викладачів кафедри тощо.

Об'єктами контролю знань студентів є: їх активність та рівень знань при обговоренні питань на лабораторних заняттях; участь у студентських конференціях, конкурсах, олімпіадах; виконання завдань для самостійного опрацювання тощо.

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен:

– **знати** будову і властивості матеріалів, методи зміни будови і властивостей при пластичній деформації, термічній і хіміко-термічній обробці.

– **вміти** правильно вибирати матеріали для конкретних деталей машин та інструменту, призначати раціональні режими видів термічної обробки зміцнення з метою одержання необхідних фізико-механічних та технологічних властивостей.

Використання знань з матеріалознавства відбувається при вивченні спеціальних дисциплін, курсовому та дипломному проектуванні.

1. НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КУРСУ "МАТЕРІАЛОЗНАВСТВА"

1.1 ОРІЄНТОВНИЙ ОБСЯГ ТА СТРУКТУРА КУРСУ ДЛЯ СТУДЕНТІВ ДЕННОЇ ТА ЗАОЧНОЇ ФОРМ НАВЧАННЯ

ДЕННА ФОРМА НАВЧАННЯ

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин			
	Усього	у тому числі		
		лекції	лаб. роб	самостійна робота
1		3	4	6
Тема 1 Будова металів. Кристалізація	14	2	2	10
Тема 2. Сплави металів. Діаграма стану залізо-вуглець	12	2	2	8
Тема 3. Вуглецеві сталі та чавуни	14	4	2	8
Тема 4.Гартування сталей	14	2	2	12
Тема 5. Відпускання і відпал металів	14	4	2	8
Тема 6. Методи зміцнення поверхонь	12	4		8
Тема 7. Леговані сталі. Маркування, класифікація. Мета легування. Конструкційні, інструментальні сталі. Спеціальні сталі та сплави.	14	4	2	8
Тема 8. Кольорові сплави	12	2	2	8
Тема 9. Неметалеві матеріали Антифрикційні матеріали. Пластмаси, композиційні та порошкові матеріали. Електротехнічні матеріали.	10	2		8
Усього годин	120	28	14	78

ЗАОЧНА (ДИСТАНЦІЙНА) ФОРМА НАВЧАННЯ

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин			
	лекції	лаб. роб	індивід.	самостійна робота
1	2	3	4	5
Тема 1 Будова металів. Кристалізація	8	6	14	102
Тема 2. Сплави металів. Діаграма стану залізо-вуглець				
Тема 3. Вуглецеві сталі та чавуни				
Тема 4.Гартування сталей				
Тема 5. Відпускання і відпал металів				
Тема 6. Методи зміцнення поверхонь				
Тема 7. Леговані сталі. Маркування, класифікація. Мета легування. Конструкційні, інструментальні сталі. Спеціальні сталі та сплави.				
Тема 8. Кольорові сплави				
Тема 9. Неметалеві матеріали Антифрикційні матеріали. Пластмаси, композиційні та порошкові матеріали.				
Усього годин				

1.2 НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ ПЛАН ТА ЗМІСТ ДИСЦИПЛІНИ

===== ТЕМА 1. Будова і властивості металів

Поняття про кристалічну будову металів. Ідеальна і реальна будова металів.

Кристалізація металів. Вплив факторів на кристалізацію. Будова металевих зливків у залежності від умов кристалізації. Макро- і мікроструктура. Пластична деформація металів. Будова і властивості деформованого металу в залежності від температурного режиму. Рекристалізація металів.

===== ТЕМА 2. Залізовуглецеві сплави

Поняття про компонент, фазу, структуру. Взаємодія компонентів у сплавах. Тверді розчини, хімічні сполуки, механічні суміші. Діаграми стану сплавів.

Діаграма стану залізо-вуглець. Характеристика фаз, структур, ліній діаграми стану. Значення діаграми і її використання при різних технологічних операціях – обробці тиском, литті, термічній обробці.

===== ТЕМА 3. Вуглецеві сталі та чавуни

Вплив вуглецю на механічні та технологічні (штампуємість, зварюваність, обробку різанням) властивості сталей. Вплив постійних домішок (Mn, Si, S, P, газів).

Класифікація сталей за структурою, якістю, призначенням.

Маркування інструментальних сталей в залежності від призначення та якості. Сталі з особливими технологічними властивостями. Приклади раціонального застосування вуглецевих конструкційних сталей.

===== ТЕМА 4. Чавуни

Поняття. Класифікація чавунів за формою графіту та структурою металевої основи. Білі та сірі звичайні, ковкі та високоміцні чавуни. Вплив форми графіту та металевої основи на механічні і технологічні властивості чавунів. Фактори, які впливають на формування структури чавунів. Вплив швидкості охолодження і хімічного складу на структуру. Маркування чавунів. Технологія отримання і застосування сірих, ковких та високоміцних чавунів.

Порівняльна характеристика властивостей чавунів зі сталями.

===== ТЕМА 5 Термічна обробка металів

Технологія і практика термічної обробки. Види термічної обробки. Гартування сталей. Мета гартування. Вибір оптимальних температур

нагрівання і охолоджуючих середовищ для гартування сталей. Вплив легуючих елементів на режими гартування.

Способи гартування: безупинне (в одному середовищі), переривчасте (у кількох середовищах), ступінчасте та ізотермічне.

Загартовуваність і прогартовуваність сталей, як фактор впливу на об'ємну міцність сталей. Термомеханічна обробка, як спосіб зниження металоємкості виробів та підвищення строку служби

ТЕМА 6 Відпускання сталей

Мета відпускання. Види відпускання (низьке, середнє, високе). Зміна структури і властивостей загартованих сталей при різних видах відпускання. Призначення оптимальних видів відпускання в залежності від виду виробів і умов їх роботи.

Відпал. Види відпалу: неповний, повний, на зернистий перліт, ізотермічний, дифузійний, рекристалізаційний, для зняття напруг. Температурні режими відпалу для сталей, чавунів інших металів. Захист металів від окислення.

ТЕМА 7. Поверхнєве термічне зміцнення

Основні методи поверхневого зміцнення. Способи індукційного гартування. Хіміко-термічна обробка. Цементация. Мета цементации. Газова цементация. Азотування. Мета азотування. Цианування (Нітроцементация). Економічна ефективність хіміко-термічної обробки.

ТЕМА 8 Леговані сталі

Мета легування. Вплив окремих легуючих елементів. Економічна доцільність легування. Взаємодія легуючих елементів з вуглецем залізом та між собою, карбіди та інтерметаліди. Класифікація легованих сталей. Структурні класи легованих сталей.

Маркування легованих сталей. Розшифрування хімічного складу легованих сталей.

ТЕМА 9 Конструкційні, інструментальні леговані сталі. Спеціальні сталі та сплави.

Конструкційні леговані сталі для цементации, поліпшення та ресорно-пружинні. Раціональне легування економічна і технологічна доцільність застосування легованих сталей. Термічна обробка легованих сталей.

Інструментальні леговані сталі. Сталі низької і підвищеної теплостійкості для різального інструменту. Сплави високої теплостійкості. Особливості легування і термічної обробки швидкорізальних сталей.

Сталі для штамів холодного і гарячого деформування. Особливості роботи цих штамів, принцип легування і термічної обробки.

Спеціальні сталі. Корозійностійкі сталі. Принцип легування для захисту від корозії в залежності від ступені агресивності середовища.

Жаростійкі і жароміцні сталі. Принципи легування, застосування

ТЕМА 10 Кольорові сплави

Сплави на основі алюмінію. Класифікація. Маркування сплавів для деформації та лиття. Сплави, що зміцнюються термічною обробкою, їх застосування.

Сплави, що не зміцнюються термічною обробкою. Технологічні методи підвищення їх міцності.

Сплави на основі міді. Латуні. Латуні для деформації та лиття. Маркування латуней. Латуні прості і спеціальні (з особливими фізичними і технологічними властивостями). Застосування латуней.

Бронзи. Олов'яні бронзи. Маркування. Бронзи для деформування та лиття. Безолов'яні бронзи. Економічна доцільність застосування безолов'яних бронз. Спеціальні бронзи з особливими властивостями. Застосування бронзи в машино- і приладобудуванні.

Антифрикційні матеріали для підшипників ковзання, вимоги до них.

Бабіти на олов'яній та свинцевій основах. Маркування. Переваги і недоліки цих матеріалів.

Антифрикційні бронзи та алюмінієві сплави. Полімерні матеріали.

ТЕМА 11 Пластмаси, композиційні та порошкові матеріали.

Пластмаси. Термопластичні і термореактивні полімери. Будова пластмас і технологія виробництва виробів із пластмас. Порівняльна характеристика пластмас з металами, переваги та недоліки. Технологічна і економічна доцільність застосування пластмас замість металів.

Композиційні матеріали з металевою і неметалевою матрицею, їх властивості. Доцільність застосування композиційних матеріалів замість металів в різних умовах роботи.

Порошкові матеріали. Технологія виробництва. Монолітні та пористі порошкові матеріали, застосування для деталей машин, фільтрів для рідин та газів. Антифрикційні пористі матеріали (з графітом та просочені мінеральними оливами). Економічна доцільність їх застосування.

1.3 ТЕМАТИКА ЛЕКЦІЙНОГО КУРСУ

№ з/п	Назва теми лекції	Кількість годин
1	Тема 1 Будова металів. Кристалізація	2
2	Тема 2. Сплави металів. Діаграма стану залізо-вуглець	2
3	Тема 3. Вуглецеві сталі та чавуни	4
4	Тема 4.Гартування сталей	4
5	Тема 5. Відпускання і відпал металів	4
6	Тема 6. Методи зміцнення поверхонь	4
7	Тема 7. Леговані сталі. Маркування, класифікація. Мета легування. Конструкційні, інструментальні сталі. Спеціальні сталі та сплави.	4
8	Тема 8. Кольорові сплави	4
9	Тема 9. Неметалеві матеріали Антифрикційні матеріали. Пластмаси, композиційні та порошкові матеріали.	4
	Всього	36

1.4 ТЕМАТИКА ЛАБОРАТОРНИХ ЗАНЯТЬ

№ з/п	Назва теми лабораторного заняття	Кількість годин
1	Методи дослідження будови і властивостей металів.	2
2	Аналіз діаграми Fe-Fe ₃ C.	2
3	Вуглецеві сталі.	2
4	Чавуни.	2
5	Гартування сталей	2
6	Відпускання сталі.	2
7	Поверхнєве зміцнення.	2
8	Леговані сталі	2
9	Кольорові сплави	2
	Всього	18

2. СТРУКТУРА, КОРОТКИЙ ЗМІСТ ЛЕКЦІЙНОГО КУРСУ ТА МЕТОДИЧНІ ПОРАДИ ДО ЙОГО ВИВЧЕННЯ

2.1 Лекція 1. Будова і властивості металів

План висвітлення матеріалу лекції

1. Поняття про кристалічну будову металів.
2. Ідеальна і реальна будова металів. Вплив дефектів на механічні властивості металів.
3. Кристалізація металів. Вплив факторів на кристалізацію. Будова металевих зливків в залежності від умов кристалізації. Макро- і мікроструктура.
4. Будова і властивості деформованого металу в залежності від температурного режиму. Пластична деформація металів. Рекристалізація металів.

Основні терміни: метал; будова; властивості; кристалізація, величина зерна, кристалічна ґратка, дефекти, деформація, текстура деформації.

Методичні поради до вивчення лекції

При вивченні будови і властивостей металів першочергова увага приділяється ідеальній будові металевих матеріалів і її вплив на міцність. Вивчаючи процеси кристалізації і будови зливка, перш за все необхідно розкрити суть процесу, з'ясувати фактори і параметри, що впливають на процес кристалізації, величину зерна і будову зливка, визначення шляхів керування цими процесами.

Теорії сплавів розкриває основні види та закономірності взаємодії компонентів металевих сплавів.

При вивченні процесів пластичної деформації і рекристалізація розглядається відмінність між пружною і пластичною деформацією, роль впливу дислокацій на механізм пластичної деформації, зміцнення металу при деформації, зміна його макро- і мікроструктури і властивостей. Потім вивчається вплив температури нагрівання зміцненого металу на його структуру і властивості.

Короткий зміст лекції

1. Поняття про кристалічну будову металів.

У техніці під металами розуміють речовини, що мають металевий блиск, хорошу пластичність, високу електро- і теплопровідність. Метали поділяються на чорні (залізо та його сплави) і кольорові (алюміній, мідь, цинк, олово, срібло, золото та ін.). Чорні метали характеризуються вищою твердістю, міцністю, більшою тугоплавкістю у порівнянні з більшістю поширених кольорових металів.

У чистому вигляді метали застосовуються рідко (лише для спеціальних цілей), частіше застосовують сплави декількох металів та неметалевих компонентів.

Метали та сплави є кристалічними речовинами і складаються з великого числа пов'язаних між собою кристалів (кристалітів або зерен).

Атоми в металах розташовані упорядковано. Їх можна представити розташованими по групах паралельних площин, які рівновіддалені одна від іншої. Ці площини утворюють просторову кристалічну ґратку (рис. 1) у вузлах яких і розташовуються атоми.

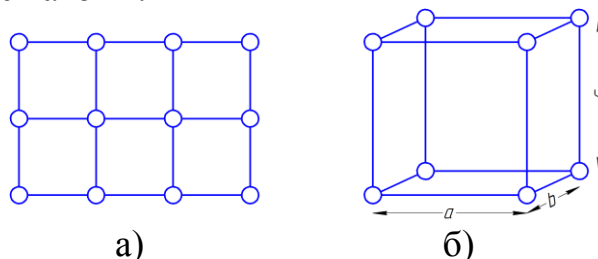


Рисунок 1 – Просторова кристалічна ґратка: а) кристалографічна площина; б) елементарна кристалічна комірка.

Відстані між паралельними площинами (a , b , c), що утворюють комірку називаються періодами (параметрами) цієї кристалічної ґратки. Вимірюється ця величина в ангстремах ($1\text{Å} = 1 \cdot 10^{-10}\text{ м}$).

Кожен хімічний елемент в твердому стані має свою характерну кристалічну ґратку. У металах найбільш часто зустрічаються такі типи ґраток:

1. Кубічна об'ємноцентрована (ОЦК) (рис. 2а): *Fe α* , *Cr*, *W*, *V*, *K*, *Na*.
2. Кубічна гранецентрована (ГЦК) (рис. 2б): *Fe γ* , *Pb*, *Ni*, *Ag*, *Cu*.
3. Гексагональна щільно-укладена (ГЩУ) (рис. 2в): *Zn*, *Cd*, *Mg*.

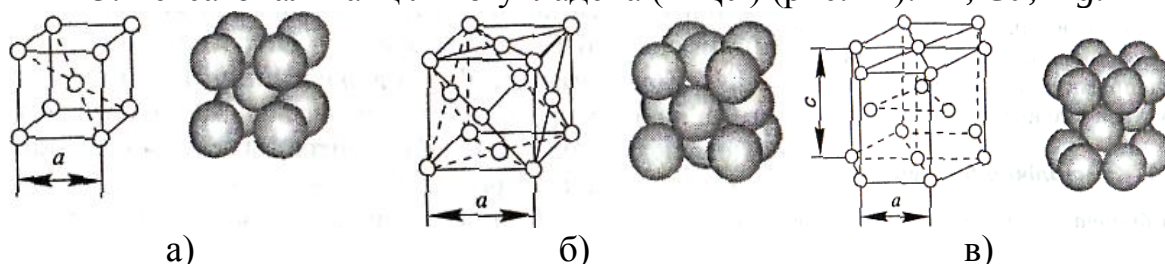


Рисунок 2 – Характерні типи ґраток: а – кубічна об'ємноцентрована; б – кубічна гранецентрована; в – гексагональна щільно-укладена

У кожній кристалічній ґратці є декілька кристалографічних площин. Щільність розміщення атомів по різних площинах неоднакова, відповідно і властивості металів будуть неоднакові у різних напрямках.

Деякі метали можуть змінювати свою кристалічну ґратку при зміні температури, наприклад: ГЦК на ОЦК. При цьому відбувається зміна властивостей металів. Існування одного металу в декількох кристалічних формах називається поліморфізмом або алотропією. Поліморфне перетворення характерне для таких металів як: *Fe*, *Sn*, *Ti*, *Mn*.

2. Ідеальна і реальна будова металів.

В процесі кристалізації утворюються кристали неправильної форми, які називаються зернами або кристалітами (рис. 3а). Іноді для спеціальних цілей (виготовлення мікросхем) отримують монокристали: заготовки, які являють собою один кристал.

Зерно не є монолітним кристалом, оскільки складається із окремих блоків утворюючи мозаїчну структуру (рис 3б).

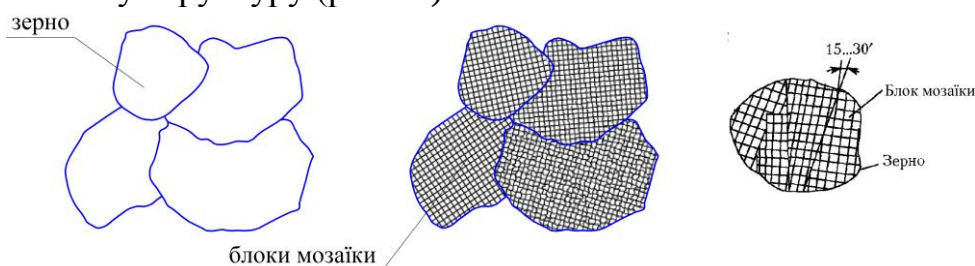


Рисунок 3 – Схема блочної (мозаїчної) структури зерна

Зерна в одному і тому ж сплаві можуть мати різну форму та розміри, а також різний хімічний склад.

Дослідженнями встановлено, що реальна міцність кристалів у багато разів менша за розрахункову (теоретичну). Це пов'язано з тим, що реальна внутрішня кристалічна структура не є правильною, а має певні дефекти кристалічної будови, які істотно впливають на властивості металів.

Розрізняють три види дефектів кристалічної будови: точкові, лінійні і поверхневі.

До точкових дефектів кристалічної будови (рис. 4) відносяться вакансії ("дірки"), міжвузлові атоми, атоми домішок тощо.

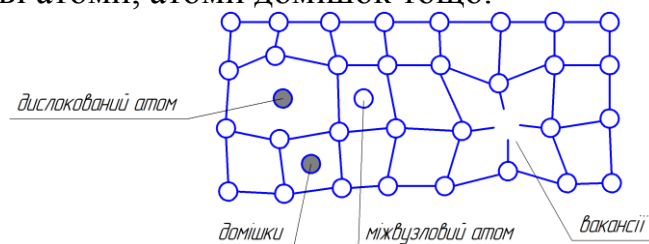


Рисунок 4 – Точкові дефекти кристалічної ґратки

В результаті дії температури, пластичної деформації, наявності домішок в кристалічній ґратці можуть утворюватися у вузлах як "порожні місця" (вакансії), так і міжвузлові атоми, що вийшли з вузлів або атоми домішок. Точковий дефект викликає місцеве спотворення кристалічної ґратки і, як наслідок, зміну її механічних, фізичних та інших властивостей.

Дислокацією називається лінійна недосконалість кристалу (лінійні дефекти), що утворює межу неоднорідного зсуву або повороту кристалічної ґратки (рис. 5). Екстраплощиною називається "зайва" площа у частині кристала. Якщо верхню частину кристала зсунути відносно нижньої на одну міжатомну відстань, причому зсув розповсюджується не по усій площині ковзання, а тільки на її частині, то границя між ділянкою, де зсув вже стався і ділянкою, де зсув не відбувся, буде являти собою дислокацію. Лінійні дислокації утворюються в процесі кристалізації металів, а також в процесі пластичної деформації і фазових перетворень. Дислокації оточуються полями пружних напружень, що викликає спотворення кристалічної ґратки.

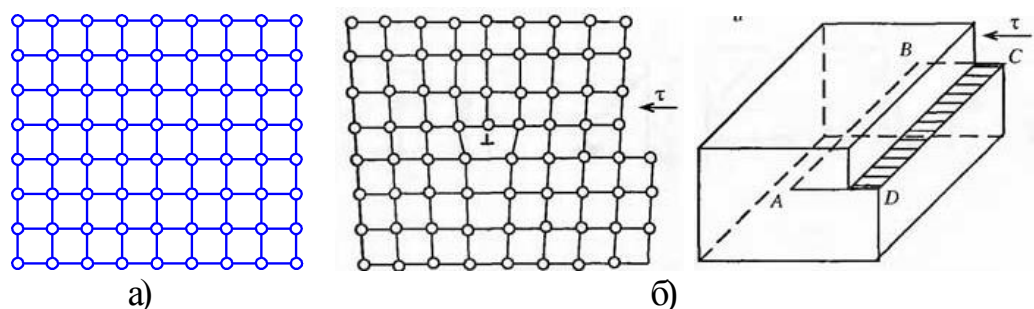
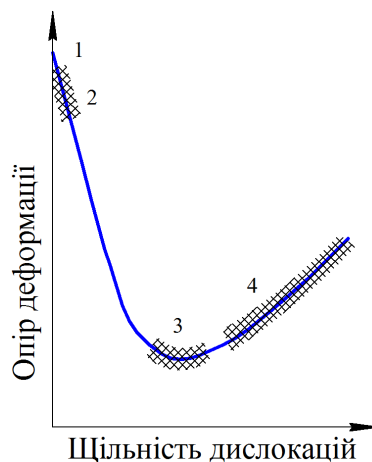


Рисунок 5 – Краєва дислокація АВ в кристалі, τ – напрям напруження зсуву
а – не напружений стан (початковий); б – напружений стан

Поверхневі дефекти пов'язані зі спотвореннями кристалічної ґратки на межах зерен і субзерен. Як правило, на межі між зернами атоми мають менш правильне розташування, чим усередині. По межах зерен скупчуються дислокації, домішки і включення, тому межі зерен, зазвичай, є найменш міцною ділянкою кристалічної структури.

Вплив дефектів на механічні властивості металів. Послаблення міжатомних зв'язків, за наявності дефектів кристалічної будови, призведе до зниження механічних властивостей металу. Тому технічна міцність різних металів виявляється в 100...1000 разів меншою за теоретичну (розрахункову). В той же час кількість дефектів впливає на реальну міцність неоднозначно. Прикладом є залежність міцності (опір деформації) металів від кількості (щільності) дислокацій (рис. 6).



1 – теоретична міцність; 2, 3, 4 – технічна міцність (2 – вуса; 3 – чисті незміцнені метали; 4 – сплави, зміцнені легуванням, наклепом, термічною або термомеханічною обробкою)

Рисунок 6 – Залежність міцності (опору деформації) від щільності дислокацій

Теоретична міцність заліза становить $2,3 \cdot 10^4$ МПа (2300 кгс/мм²). Міцність "вусів" заліза ($L=2...10$ мм), з малою щільністю дефектів складає близько $1,3 \cdot 10^4$ МПа (1300 кгс/мм²). Міцність технічного заліза дорівнює $0,3 \cdot 10^3$ МПа (30 кгс/мм²).

Сплави, зміцнені легуванням, наклепуванням, термічною обробкою мають технічну міцність в межах $4,0...4,5 \cdot 10^3$ МПа (400...450 кгс/мм²).

Підвищити міцність шляхом створенням практично бездефектної структури технологічно дуже складно. Підвищення щільності дислокацій – основний і найбільш поширений на практиці спосіб зміцнення металів і сплавів.

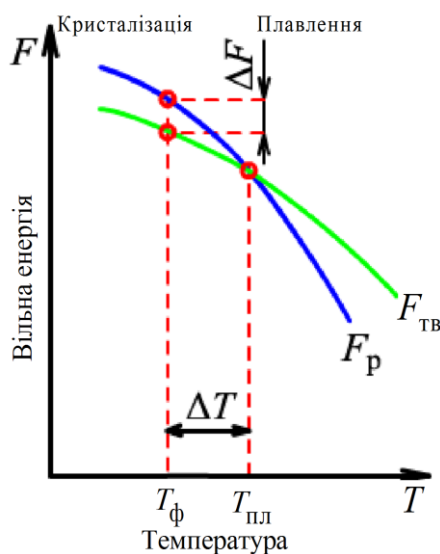
3. Кристалізація металів.

Будь яка речовина може знаходитися в газоподібному, рідкому і твердому стані. При зміні температури відбувається перехід з одного стану в інший. Процес утворення кристалів з рідини називається первинною кристалізацією. Вторинна кристалізація, на відміну від первинної, проходить в твердому стані під час переходу металу з однієї алотропічної форми в іншу або в результаті інших фазових перетворень.

Алотропія металів (або поліморфізм) — це властивість перебудовувати кристалічну ґратку при певних температурах у процесі нагрівання або охолодження. Алотропія властива хімічним елементам, які змінюють валентність при зміні температури, наприклад залізо, марганець, нікель, олово та ін. Кожне алотропічне перетворення відбувається при певній температурі.

Причиною процесу кристалізації є прагнення речовини до найменшого запасу вільної енергії. Рівень вільної енергії металу залежить від його стану та температури. З двох можливих станів речовини при певній температурі стійким буде той стан, вільна енергія якого менша.

З підвищенням температури вільна енергія системи зменшується, але по-різному для твердого і рідкого стану (рис. 7).



$T_{пл}$ — рівноважна (теоретична) температура кристалізації (плавлення);

$T_{ф}$ — фактична температура.

Рисунок 7 – Зміна вільної енергії рідкого і твердого металу залежно від температури

З графіку (рис. 7) видно, що при охолодженні металу до температури плавлення $T_{пл}$ кристалізація не розпочинається оскільки $F_{р}=F_{тв}$. Необхідне переохолодження до $T_{ф}$, щоб виконувалась умова: $F_{тв}<F_{р}$. Різниця між рівноважною температурою $T_{пл}$ і фактичною температурою $T_{ф}$ називається величиною переохолодження $\Delta T=T_{пл}-T_{ф}$.

У рідкому металі атоми не розташовані хаотично як в газоподібному стані, але в той же час і не так правильно як в твердому стані. При температурах, близьких до температури кристалізації, в рідкому металі

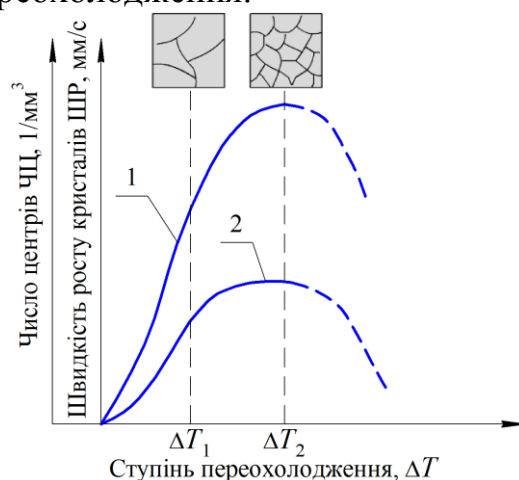
можливе утворення скупчень атомів, які розміщені (упаковані) так само, як в кристалах. За сприятливих умов такі скупчення атомів виконують роль центрів кристалізації і ростуть, збільшуючись у розмірах.

Зерна утворюють структуру сплавів, яка формується при кристалізації. Процес кристалізації проходить у дві стадії:

1. Утворення центрів кристалізації (зародків);
2. Ріст кристалів навколо цих центрів (зародків).

Розмір утвореного зерна залежить від кількості центрів кристалізації і швидкості росту кристалів.

Швидкість процесу кристалізації і будова металу після затвердіння залежать від кількості зародків і швидкості їх росту (рис. 8), і чим їх більше тим швидше протікає процес кристалізації. Обидві ці характеристики залежать від ступеня (швидкості) переохолодження.



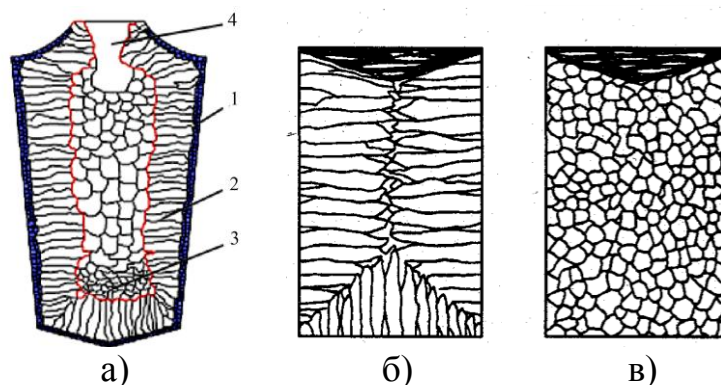
1 – кількість центрів; 2 – швидкість росту

Рисунок 8 – Залежність швидкості зародження центрів кристалізації і росту кристалів від ступеня переохолодження розплаву металу

З рис. 8. видно, що при невеликих ступенях переохолодження формується крупнозерниста структура, а великі ступені переохолодження сприяють формуванню дрібнозернистої структури, тому що зародків утворюється багато і вони не встигають вирости до великих розмірів, зупиняючись в рості при контакті із сусідніми зростаючими зернами.

Таким чином, збільшення швидкості охолодження приводить до зменшення розміру зерна, що впливає на властивості: міцність, в'язкість при дрібному зерні зростають; велике зерно дає крихкість. Твердість від величини зерна практично не залежить.

Будова металевих зливків в залежності від умов кристалізації. При заливанні рідкого металу у форму для отримання зливка на характер кристалізації, також впливають процеси відведення тепла та перемішування металу. В зв'язку з чим змінюється не тільки розмір зерна, але і його форма (рис. 9). Розглянемо будову сталевого зливка (рис. 9а). При заливанні рідкого металу у форму, внаслідок контакту з холодною стінкою форми швидкість охолодження рідкого металу досить висока, тому він затвердіває у вигляді дрібнозернистих кристалів – утворюється зона дрібних кристалів (поз.1).



1 – зона дрібних рівноважних кристалів; 2 – зона стовбурних кристалів; 3 – зона крупних рівноважних кристалів; 4 – усадкова раковина.

Рисунок 9 – Структурна будова сталевого зливка: а – зональна; б – переважно стовбурна; в – з рівноважних кристалів

Після утворення першої зони умови тепловідведення змінюються і ступінь переохолодження зменшується. В результаті із невеликої кількості центрів кристалізації починають рости орієнтовані нормально до поверхні (стінки) стовбурні кристали – стовбурна зона (поз. 2).

В центрі зливка немає визначеного напрямку відведення тепла і відбувається повільне охолодження, що приводить до утворення крупних кристалів відносно правильної форми – зона рівноважних кристалів (поз. 3).

У верхній частині зливка внаслідок зменшення об'єму рідкого металу при охолодженні та кристалізації утворюється усадкова раковина (поз. 4).

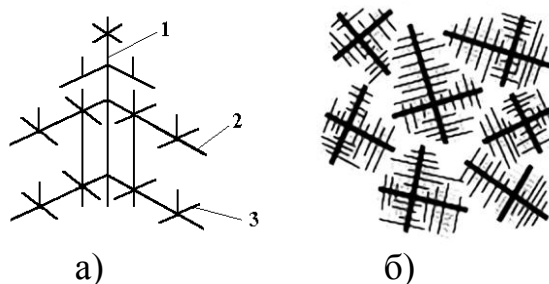
Кожна із утворених зон має різні механічні властивості. Найкращою за властивостями є зона 1, але часто вона зрізується при механічній обробці. Зона 2 має анізотропні властивості (анізотропія) – властивості, які різні в різних напрямках.

Змінюючи умови охолодження і температури нагрівання рідкого металу можна отримати інший характер структури. При заливанні в холодну форму сильно перегрітого металу утворюється переважно стовбурна структура (рис. 9б). У випадку заливання рідкого металу в підігріту форму з повільним охолодженням спостерігаються рівноважні кристали (рис. 9в).

Згідно теорії кристалізації існує спонтанне і немимовільне (гетерогенне) зародження центрів кристалізації. Часто на практиці для отримання дрібних кристалів до рідкого металу додають модифікатори (спеціальні домішки), які виконують роль штучних зародків.

Кристали ростуть у розгалуженій деревоподібній формі, тому їх називають дендритами. Зростання дендриту йде спочатку по осях першого порядку, від яких ростуть осі другого, долі третього і наступних порядків (рис. 10).

Дендрити складаються із багатьох тисяч зерен, які мають приблизно однакові розміри в усіх напрямках (рис. 10б). Для литого металу характерна дендритна структура.



1, 2, 3 – відповідно осі першого, другого і третього порядку
Рисунок 10 – Схема росту дендрита (а) і зеренна структура після кристалізації (б)

Основи теорії металевих сплавів. *Сплавом* називається речовина, що отримується сплавленням двох і більше хімічних елементів. *Металевим* називається сплав, що отримується на основі металу. Іншими складовими металевого сплаву можуть бути як метали так і неметали. Наприклад: *Fe-Ni*, *Al-Cu*, *Fe-C*. *Компонентами* називають хімічні елементи, що входять до складу сплаву (системи).

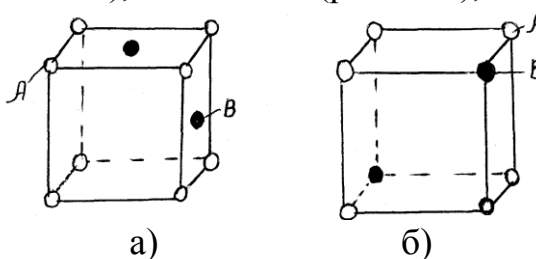
Системою у металознавстві називається сукупність фаз в твердому, рідкому або газоподібному стані, які знаходяться в рівновазі. Система може бути простою (*Al, Fe, Cu*) або складною (*Al-Cu, Fe-Ni-Cr*).

Фазою називається однорідна частина системи, що має в усіх точках об'єму однаковий агрегатний стан (твердий, рідкий, газоподібний), близький хімічний склад та властивості і відокремлена від інших частин поверхнею розділу. Фазами можуть бути чисті хімічні елементи, однорідні рідкі або тверді розчини, хімічні сполуки.

Взаємодія компонентів в сплавах. В залежності від фізико-хімічної природи компонентів, що входять до складу сплаву, може мати місце різний характер їх взаємодії між собою. Так, хімічні елементи (компоненти) можуть розчинятися один в одному в рідкому і твердому стані (повністю або частково), утворюючи рідкі і тверді розчини; можуть не розчинятися абсолютно, утворюючи механічні суміші або хімічні сполуки.

У розплавленому стані більшість компонентів розчиняються один в одному необмежено.

При утворенні твердих розчинів, атоми одного компонента (розчинного) розміщуються в кристалічній ґратці іншого (розчинника). Розчинність може бути необмеженою, обмеженою або частково обмеженою. Розрізняють тверді розчини впровадження (рис. 11а), заміщення (рис. 11б), віднімання.



А – атом розчинника; В – атом розчиненого металу
Рисунок 11 – Схема твердих розчинів: а – впровадження; б – заміщення

Необмеженими можуть бути тільки тверді розчини заміщення. Таких випадків мало, наприклад система: $Cu-Ni$. Найчастіше має місце обмежена розчинність. Тверді розчини віднімання можуть утворюватися при деформуванні хімічних сполук.

Розчинність компонентів в твердому стані залежить від типу кристалічної ґратки, її параметрів, атомних радіусів компонентів. Необмежено розчиняється в твердому стані можуть компоненти з однотипною кристалічною ґраткою і різницею атомних радіусів не більше, ніж на 15 %. При невиконанні цих умов утворюються обмежені тверді розчини або механічні суміші.

Механічні суміші бувають *простими* (рис. 12 а), коли сплав складається із окремих зерен початкових компонентів і *складними* (рис. 12б) (евтектичними або евтектоїдними) – коли кожне зерно, у свою чергу, складається з поєднання компонентів або фаз.

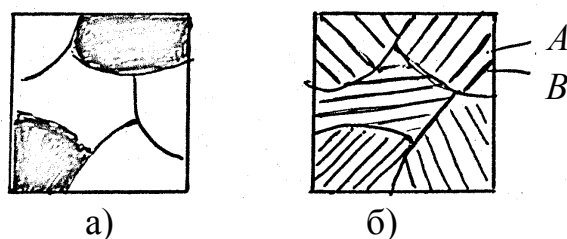


Рисунок 12 – Механічні суміші: а – прості; б – складні

Хімічні сполуки, зазвичай утворюються у тому випадку, коли елементи суттєво відрізняються за електронною будовою, атомним радіусом, типом і будовою кристалічної ґратки. Властивості хімічних сполук різко відрізняються від властивостей початкових компонентів. Вони, як правило, мають високу твердість і крихкість.

Тверді розчини і механічні суміші можуть утворюватися в досить широкому діапазоні концентрацій компонентів, а хімічні сполуки – тільки при певному співвідношенні. Тверді розчини відрізняються високою пластичністю, корозійною стійкістю, але низькою оброблюваністю різанням.

Властивості механічних сумішей визначаються властивостями складових і їх співвідношенням.

4. Будова і властивості деформованого металу в залежності від температурного режиму. Рекристалізація металів.

В результаті пластичної деформації металеві матеріали набувають певних змін у своїй структурі і властивостях.

Металеві зерна, для яких в недеформованому стані характерна рівноважна (близька до округлої) форма, в результаті деформації зсуву одних частин зерна відносно інших, витягуються у напрямку діючих сил.

Внаслідок деформації формується *волокнистість* структури. Різні зони структурної і хімічної неоднорідності (неметалеві включення, домішки на границях зерен тощо), які присутні в металі після кристалізації, під час деформації витягуються в напрямку течії (перерозподілу) металу, що й формує волокнистість. Волокнистість впливає на механічні і інші властивості виробу, обумовлюючи властивості анізотропії. Наприклад, значення ударної в'язкості та

пластичності менші при випробуванні поперек волокон, ніж вздовж (різниця може сягати 20...50%).

У зв'язку з цим необхідно щоб у результаті пластичної деформації формувалося таке розташування волокон, яке б співпадало з напрямком головних зусиль, що діють на деталь під час її роботи. Як правило, таким є їх розташування паралельне контуру деталі. Великі ступені деформації формують так звану *текстуру деформації* (рис. 13).

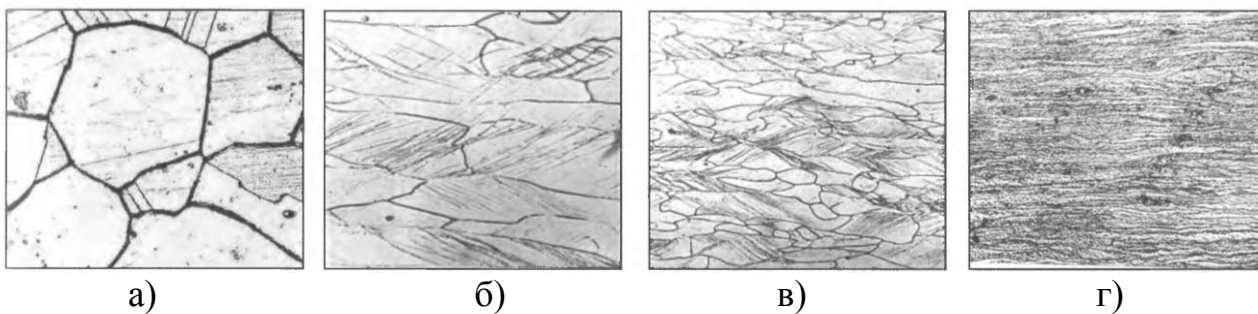


Рисунок 13 – Текстура деформованої сталі X18H10T (x100), ступінь деформації: а – $\varepsilon=1\%$; б – $\varepsilon=30\%$; в – $\varepsilon=50\%$; г – $\varepsilon=80\%$

При деформації змінюється форма зерна, але зерна не подрібнюються.

При холодній деформації змінюється форма зерна, зростає щільність дислокацій, підвищується міцність, твердість, крихкість металу; зменшується пластичність. Це явище називається нагартуванням. Наприклад, при волочінні дроту, нагартування при зменшенні діаметру дроту супроводжується збільшенням крихкості та зростанням міцності.

Для повернення до рівня початкових механічних властивостей, після нагартування, метал нагрівають до температури рекристалізації ($0,4T_{пл}$), при цьому утворюється дрібнозерниста структура шляхом утворення нових зерен.

Наявність текстури деформації і анізотропія властивостей у деяких виробках є корисними з урахуванням напряму діючих навантажень (гаки підйомних кранів, колінчасті вали, болти та ін.).

Запитання для самопідготовки та закріплення набутих знань:

1. Що вивчає дисципліна "Матеріалознавство"?
2. Які метали відносяться до чорних і які до кольорових?
3. Чим характеризується кристалічна будова металевих матеріалів?
4. Що таке кристалічна ґратка?
5. Що таке елементарна комірка ґратки і які типи комірок ви знаєте, охарактеризуйте їх.
6. Назвіть характеристики елементарної комірки і дайте їх визначення.
7. Поясніть анізотропію властивостей металів.
8. Що таке поліморфізм? Назвіть поліморфні модифікації заліза.
9. Назвіть характерні властивості металів і поясніть їх наявність металевому зв'язку.
10. Назвіть різновиди точкових дефектів кристалічної будови та поясніть процес їх утворення?

11. Що таке дислокації, які види дислокацій ви знаєте, до яких дефектів кристалічної будови вони відносяться?
12. Назвіть і поясніть поверхневі і об'ємні дефекти кристалічної будови.
13. Що таке кристалізація, з яких двох елементарних процесів вона складається?
14. При якій температурі металу може розпочатися кристалізація?
15. Назвіть три зони кристалізації у зливку і поясніть причини їх утворення.
16. В чому полягає суть нагартування?

Рекомендована література: [3, 4]

2.2 Лекція 2. Залізовуглецеві сплави

План висвітлення матеріалу лекції

1. Залізовуглецеві сплави
2. Діаграма стану залізо-вуглець ($Fe-C$).
3. Характеристика фаз, структур, ліній діаграми стану.
4. Критичні точки діаграми.

Основні терміни: сплав, твердий розчин, вуглець, аустеніт, ферит, цементит, ліквідус, солідус, ледебурит, сталь, чавун, критичні точки.

Методичні поради до вивчення лекції

Вивчення сплавів заліза з вуглецем базується на ознайомленні з природою і властивостями компонентів, фаз і структурних складових залізовуглецевих сплавів, аналіз фазових перетворень, які відбуваються в сплаві при нагріванні і охолодженні. Потім вивчається вплив вуглецю і постійних домішок на властивості вуглецевих сталей, класифікація, маркування і область застосування в машинобудуванні, а також класифікація, маркування, властивості і застосування сірих, ковких та високоміцних чавунів.

Короткий зміст лекції

1. Залізовуглецеві сплави

Залізовуглецеві сплави є основним конструкційним матеріалом сучасної техніки. Пояснення будови і властивостей залізовуглецевих сплавів базуються на закономірностях подвійної системи залізо-вуглець ($Fe-C$). Для правильного визначення властивостей сплавів при різних температурах, режимів технологічної обробки (різання, кування, штампування, зварювання) різних видів термічної обробки використовують діаграму стану сплавів $Fe-C$.

2. Діаграма стану залізо-вуглець ($Fe-C$).

Діаграма стану залізо-вуглець охоплює залізовуглецеві сплави, які містять від 0 до 6,67 % C. Сплави з концентрацією вуглецю, що перевищує 6,67 %, у техніці практично не використовуються через низький рівень механічних властивостей.

Діаграма стану залізо-вуглець відображає залежність структури і властивостей сплавів від хімічного складу і температури в стані рівноваги; характеризує структурні перетворення, які відбуваються в залізовуглецевих сплавах при їх охолодженні (нагріванні).

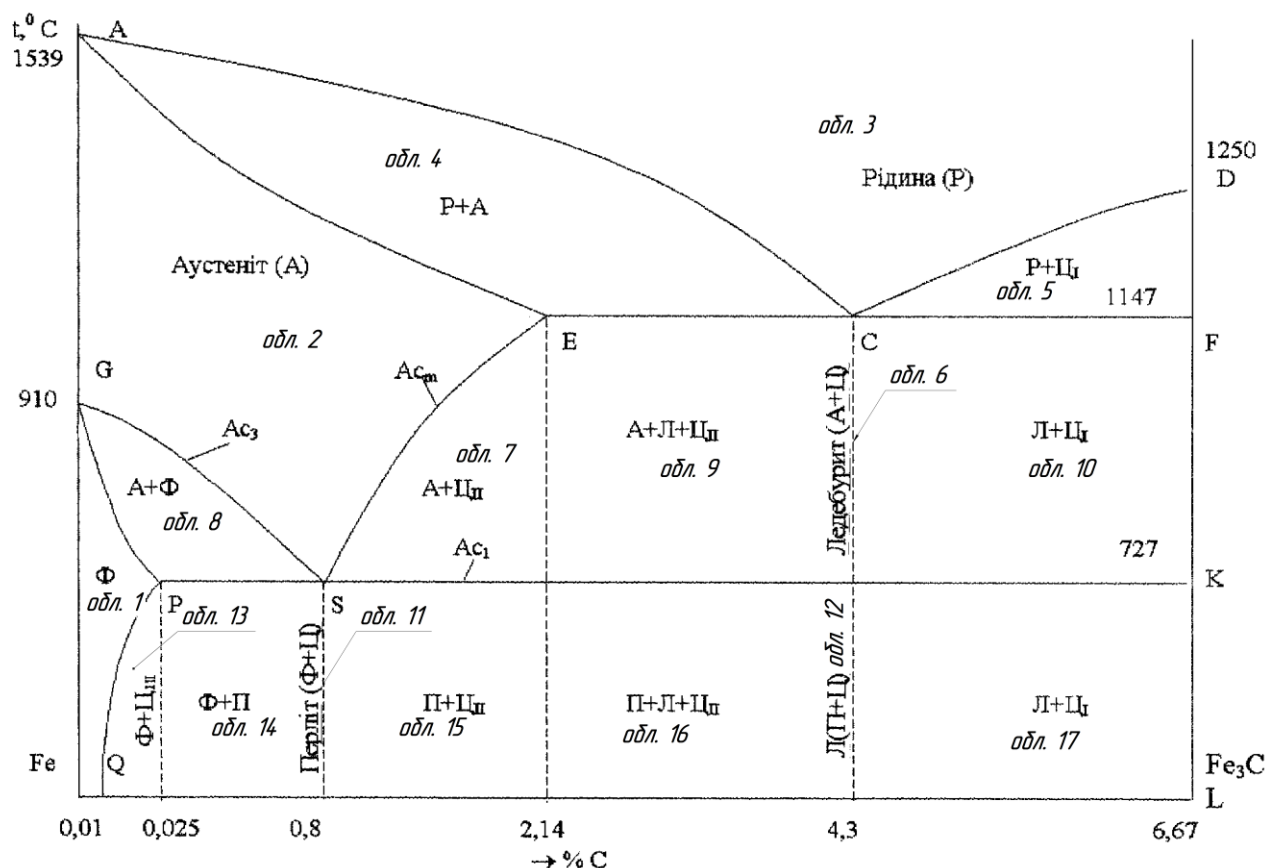


Рисунок 14 – Діаграма стану залізо-вуглець

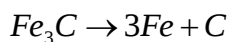
3. Характеристика компонентів, фаз, структур і ліній діаграми

Залізо у твердому стані може знаходитись в двох алотропічних (за будовою кристалічної ґратки) формах – α і γ .

Твердий розчин вуглецю в α -залізі (C в Fe α) називається *ферит* (обл.1). Розчинність вуглецю у фериті низька (до 0,025% при 727 °C). Ферит за механічними властивостями подібний до хімічно чистого заліза: мала твердість і міцність, висока пластичність.

Твердий розчин вуглецю в γ -залізі (C в Fe γ) називається *Аустеніт* (обл.2). Максимальна розчинність вуглецю в аустеніті 2,14% (точка E). Аустеніт не магнітний, пластичний, добре деформується, наклепується, існує в сплавах Fe-C при температурі вище 727 °C.

Залізо з вуглецем також утворює хімічну сполуку Fe₃C яка називається *цементит* (6,67%C). Цементит має високу твердість (близько 800НВ) і крихкість. При високих температурах і витримці, цементит може розпадатися на залізо і вільний вуглець (графіт):



Кожна область діаграми (рис. 14) обумовлює певну структуру і відповідні рівні властивостей.

Для діаграми Fe-C характерні наступні лінії:

Лінія ACD – лінія ліквідус (з лат. рідкий) показує температуру початку кристалізації (кінець плавлення), вище неї знаходиться область рідкого розчину.

Лінія $AECF$ – лінія солідус (з лат. твердий) показує температуру кінця кристалізації (початок плавлення).

При температурах, що відповідають лінії AC із рідкого розчину кристалізується аустеніт, а по лінії CD – цементит, що називається цементитом первинним $Ц_I$.

Між лініями ліквідус і солідус в обл. 4 (розчин P + аустеніт A); в обл. 5 (розчин P + цементит первинний $Ц_I$).

По лінії AE розчини остаточно затвердівають з утворенням аустеніту (з вмістом $< 2,14\%C$).

В точці C (при $1147\text{ }^{\circ}C$ і вмісті $4,3\%C$) із рідкого розчину одночасно кристалізується A і $Ц$, утворюючи евтектику яка називається ледебурит. А точка C називається евтектичною, а сплав, який містить $4,3\%C$ буде мати структуру ледебурит $L(A+Ц)$ (обл. 6).

Евтектика (від греч. eutektos – легкотопкий) – склад суміші двох і більше компонентів, які плавляться при постійній мінімальній температурі. Суміші, в яких компоненти не реагують один з одним і не розчиняються один в одному, часто є евтектичними. Евтектичні суміші плавляться при постійній температурі, тоді як неевтектичні плавляться в діапазоні температур.

Лінія ECF – ($1147\text{ }^{\circ}C$) лінія евтектичного (ледебуритного) перетворення, при цій температурі рідкий розчин перетворюється в ледебурит ($A+Ц$).

Лінія EC – оскільки при більш високих температурах із рідкого розчину виділяється A , то такі сплави (вміст вуглецю $2,14 - 4,3\%$) після кристалізації мають структуру $A+L$.

Лінія CF – оскільки при більш високих температурах із рідкого розчину виділяється $Ц_I$, то такі сплави (вміст вуглецю $4,3 - 6,67\%$) після кристалізації мають структуру $Ц_I+L$.

Лінія ES – лінія обмеженої розчинності вуглецю в аустеніті. Зі зниженням температури від $1147\text{ }^{\circ}C$ (точка E) до $727\text{ }^{\circ}C$ (точка S) максимальна розчинність вуглецю в аустеніті зменшується від $2,14$ до $0,8\%$. З пониженням температури із аустеніту виділяється надлишковий вуглець у вигляді цементиту вторинного $Ц_{II}$.

За правилом суміжних областей структура в обл. 9 ($A+L+ Ц_{II}$) та обл. 10 ($L+ Ц_I$).

Лінія GS – лінія поліморфного перетворення, початку кристалізації Φ з A (обл.8), показує як змінюється вміст вуглецю в аустеніті по мірі охолодження і росту зерна. Лінія показує початок перетворення A в Φ .

Лінія PSK ($727\text{ }^{\circ}C$) – лінія евтектоїдного (перлітного) перетворення. При евтектоїдному перетворенні відбувається одночасне зародження і ріст усередині аустеніту (γ -фаза) двох нових фаз: фериту (α -фаза) і цементиту (Fe_3C). При цій температурі $A_{0,8\%C} \rightarrow P(\Phi+Ц)$ (обл. 11). Сплав з вмістом вуглецю $4,3\%$ буде мати структуру $L(P+Ц)$ (обл. 12).

Лінія PQ показує, що з пониженням температури розчинність вуглецю у фериті зменшується. Внаслідок зміни розчинності вуглецю у фериті виділяється цементит третинний $Ц_{III}$ (обл. 13 $\Phi+ Ц_{III}$).

За правилом суміжних областей вказуємо структуру в обл. 14 (Ф+П), 15(П+ Ц_{II}), 16 (П+Л+ Ц_{II}), 17(Л+ Ц_{II}).

Діаграма стану залізо-вуглець (Fe-C) поділяється на чавунну і сталеву ділянки.

За структурою у рівноважному сталі розрізняють доєвтектоїдні, евтектоїдні та заєвтектоїдні сталі.

Доєвтектоїдні сталі містять до 0,8 % вуглецю і мають при кімнатній температурі феритно-перлітну структуру у вигляді світлих зерен фериту і темних зерен перліту (після травлення розчином кислоти).

Евтектоїдна сталь містить 0,8 % вуглецю, її структура - зерна перліту, що складаються із упорядковано розміщених пластинок цементиту та фериту. Пластинки цементиту порівняно тонкіші й світліші.

Заєвтектоїдні сталі містять від 0,8 до 2,14 % вуглецю. В структурі цих сталей є зерна перліту темного кольору і тонка світла мережа вторинного цементиту по границях зерен перліту.

Залізовуглецеві сплави з концентрацією вуглецю від 2,14 до 6,67 % називають *чавунами*. Якщо весь вуглець у чавунах перебуває у вигляді хімічної сполуки Fe₃C, то такі чавуни називають білими (за кольором зламу). В структурі білих чавунів наявна евтектика ледебурит, яка утворилася на лінії *ECF* під час евтектичної реакції. Чавуни, розташовані зліва від точки *C*, по закінченні первинної кристалізації мають структуру первинного аустеніту та ледебуриту, а відповідно чавуни справа від точки *C* – структуру первинного цементиту і ледебуриту. Під час охолодження в інтервалі температур від 1147 °C (лінія *ECF*) до 727 °C (лінія *PSK*) гранична розчинність вуглецю в аустеніті зменшується від 2,14 % до 0,8 % з утворенням вторинного цементиту.

За структурою білі чавуни поділяються на:

- евтектичні (4,3 % C) з структурою - ледебурит;
- доєвтектичні (2,14...4,3 % C), структура: перліт + вторинний цементит + ледебурит;
- заєвтектичні (4,3...6,67 % C), структура: первинний цементит + ледебурит.

4. Критичні точки діаграми.

Температура нагріву сталей певного хімічного складу для кожного виду термічної обробки визначається за допомогою діаграми стану Fe-C. *Критичні точки* – це температури при яких відбуваються фазові перетворення в структурі. Критичні точки знаходяться на певних лініях діаграми і позначаються літерою "А" (від французького *arret* – зупинка) і порядковим номером: А1, А2.

Точка А1 (727 °C) знаходиться на лінії *PSK* і відповідає перетворенню $P \xrightarrow{\text{НАГР}} A, A \xrightarrow{\text{ОХОЛ}} P$.

Точка А2 (768°C) відповідає магнітному перетворенню (точка Кюрі).

Точка АЗ знаходиться на лінії GS, для доєвтектоїдних сталей, і її значення залежить від вмісту вуглецю в сталі, точка Am для заєвтектоїдних сталей знаходяться на лінії ES.

Щоб відрізнити критичні точки при нагріві і охолодженні їх означають відповідно буквами с і г, наприклад, при нагріві Ac1, Ac3, Acм, при охолодженні Ar1, Ar3, Arm.

На практиці значення температур точок Ac1 і Ar1 у одній і тій же сталі не співпадають.

Запитання для самопідготовки та закріплення набутих знань:

1. Що таке металеві сплави?
2. Що називається компонентами і фазами сплаву?
3. Дайте визначення твердим розчинам і поясніть, які розчини звуться розчинами впровадження, а які розчинами заміщення.
4. Назвіть характерні особливості хімічних сполук.
5. За яких умов утворюються механічні суміші компонентів або фаз?
6. Що таке діаграма стану сплавів?
7. Які температури показують лінія ліквідує і лінія солідус на діаграмах стану?
8. Які поліморфні модифікації має залізо і при яких температурах вони існують?
9. Що таке ферит, яку максимальну кількість вуглецю він може розчинити, які його механічні властивості?
10. Що таке аустеніт, яку максимальну кількість вуглецю він може розчинити, при якій найнижчій температурі він існує, які його механічні властивості?
11. Що таке цементит і графіт?

Рекомендована література: [3, 4]

2.3 Лекція 3. Вуглецеві сталі

План висвітлення матеріалу лекції

1. Вплив вуглецю і постійних домішок на механічні властивості сталей.
2. Класифікація сталей за структурою, якістю та призначенням.
3. Маркування сталей в залежності від призначення та якості конструкційних та інструментальних сталей.
4. Сталі з особливими технологічними властивостями.
5. Приклади раціонального застосування вуглецевих конструкційних сталей.

Основні терміни: сталь, вуглець, структура, властивості, домішки, класифікація, маркування, легування

Методичні поради до вивчення лекції

Сталлями називаються сплави на основі заліза, що містять до 2,14% С. Сталі бувають вуглецеві і леговані. *Вуглецевими* називаються такі сталі, в яких основним елементом, що визначає їх властивості є вуглець. Із загального виробництва сталей вуглецеві є основним матеріалом в промисловості. Окрім вуглецю у вуглецевих сталях містяться різні постійні домішки, які потрапляють в сталь з початкових шихтових матеріалів і палива, або спеціально вводяться. Домішки *Mn*, *Si* є корисними, *S*, *P* – шкідливими. Крім того, у вуглецевій сталі в невеликих кількостях можуть бути *Cr*, *Ni*, *Cu* та ін.

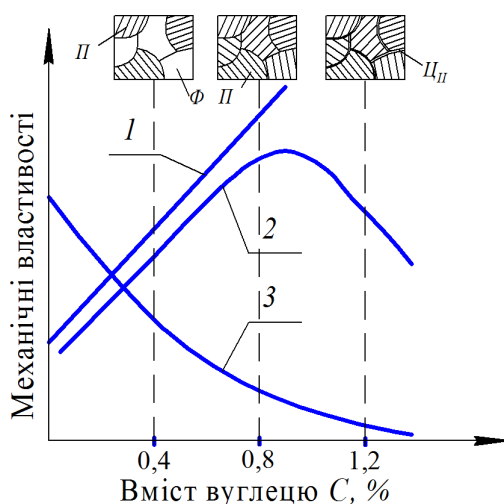
Короткий зміст лекції

1. Вплив вуглецю і постійних домішок (*Mn*, *Si*, *S*, *P*, газів) на механічні властивості сталей.

Найважливішим елементом, який обумовлює структуру і властивості сталі є *вуглець*. Зі збільшенням вмісту вуглецю змінюється структура сталей. Властивості сталі є структурно-чутливими, тобто залежать від структури (твердість, міцність, пластичність (відносне видовження), оброблюваність, штампуємість, зварюваність і т. д).

Вуглець міститься в структурі сталей не у вільному виді, а у вигляді цементиту (Fe_3C). Якщо розглянути фазовий склад сталей згідно діаграми $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$, то усі вони складаються з двох фаз: фериту і цементиту. Ферит практично не містить вуглецю (0,006 %) і є м'якою і пластичною фазою, а цементит містить 6,67 %С і має високу твердість, міцність і крихкість. Вуглецевмісною фазою в сталях є цементит і чим більше вуглецю у складі сталі, тим більше цементиту в її структурі і тим більша твердість і міцність та менша пластичність.

Наближений характер зміни основних механічних характеристик сталі в залежності від вмісту вуглецю наведено на рис. 15.



1 – твердість, HB; 2 – міцність на розтяг, σ_b ; 3 – пластичність, δ

Рисунок 15 – Залежність механічних властивостей сталі від вмісту вуглецю

Сталі з однаковим вмістом вуглецю можуть мати дещо різні механічні властивості. Це залежить від розміру зерна і, особливо, від ступеню дисперсності перліту (рис. 16).

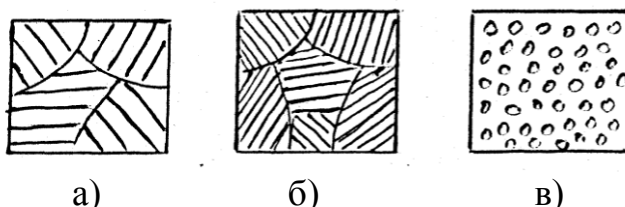


Рисунок 16 – Дисперсність перліту

а) – грубопластинчатий, б) – дрібнопластинчатий, в) – зернистий перліт

Вплив постійних домішок (Mn, Si, S, P). В сталях марганець *Mn* міститься в кількості від 0,35 до 0,80 %, розчиняється переважно у фериті, підвищуючи його міцність. Вводиться *Mn* в сталь спеціально, головним чином для розкислювання, тобто для усунення закису заліза: $FeO + Mn \rightarrow MnO + Fe$. Крім того, *Mn* частково усуває шкідливий вплив сірки *S*.

Кремній *Si* в сталях міститься від 0,17 до 0,37 %, також розчиняється у фериті і розкислює сталь.

Сірка із залізом утворює сульфід *FeS*, який формує із залізом легкоплавку евтектику з $T_{пл} = 990^\circ C$. Ця евтектика, як правило, розташовується по межах зерен, оскільки затвердіває в останню чергу, а при нагріванні металу до високих температур (при гарячому куванні або штампуванні) плавиться. Зв'язок між зернами послаблюється і сталь стає крихкою у гарячому стані. Це явище дістало назву червоноламкості, причиною якого є вміст сірки. Якщо в рідку сталь ввести марганець *Mn*, то він частково зв'яже сірку за реакцією: $FeS + Mn \rightarrow MnS + Fe$, зменшується її шкідливий вплив.

Сульфід марганцю плавиться при $1620^\circ C$, тобто при температурах більш високих, ніж гаряче штампування. Але навіть і у вигляді *MnS* присутність сірки небажана, оскільки при цьому знижується втомна і динамічна міцність.

Вміст сірки S в сталях допускається в обмеженій кількості, і залежно від якості і призначення сталі. Сірка потрапляє в сталь з шихти (палива) і пічних газів. Максимально допустима кількість сірки в сталі $S \leq 0,050 \%$.

Максимально допустима кількість фосфору P в сталях $0,050 \%$. Фосфор розчиняється у фериті і зменшує його в'язкість і пластичність, підвищує поріг холодноламкості (температуру переходу в крихкий стан), та має схильність скупчуватися на окремих ділянках (ліквує), створюючи небезпеку крихкого руйнування.

Металурги застосовують різні способи для зменшення вмісту шкідливих домішок (обробка синтетичними шлаками, плавка у вакуумі та ін.).

2. Класифікація сталей за структурою, якістю та призначенням.

Вуглецеві сталі класифікують за різними ознаками:

1. *За способом виплавки:* мартенівська сталь; конверторна сталь; електросталь. Останніми роками спостерігається тенденція до різкого зменшення долі мартенівського процесу (як малопродуктивного) і збільшенню киснево-конверторного і електросталеплавильного.

2. *За способом розкислювання:* спокійна (розкислена Mn , Si , Al); напівспокійна (розкислена Mn і Si) ПС; кипляча (розкислена Mn) КП. Найкращі за механічними властивостями спокійні сталі. Найдешевші та найбільш пластичні – киплячі.

3. *За структурою* розрізняють наступні сталі: доєвтектоїдні із структурою $\Phi + \Pi$ (містять менше $0,8 \%$ C); евтектоїдні із структурою Π (близько $0,8 \%$ C) та заєвтектоїдні, структура $\Pi + \Pi_{II}$ (від $0,8$ до $2,14 \%$ C).

На практиці застосовують вуглецеві сталі із вмістом C до $1,3 \%$.

4. *За вмістом вуглецю* сталі поділяють на: маловуглецеві $0,1 \dots 0,3 \%$ C (піддаються цементації); середньовуглецеві (покращувані) $0,3 \dots 0,6 \%$ C ; високовуглецеві $> 0,6 \%$ C .

5. *За якістю:* звичайної якості (S і P до $0,050\%$); якісні (S і P до $0,040\%$); високоякісні (S і P до $0,025\%$).

Якість сталі визначається вмістом шкідливих домішок (перш за все S і P).

5. *За призначенням* виділяють: конструкційні (для виготовлення деталей машин і конструкцій), як правило, це доєвтектоїдні сталі; інструментальні (використовують для виготовлення різального, штампового і вимірювального інструменту), як правило, це евтектоїдні і заєвтектоїдні сталі.

3. Маркування сталей в залежності від призначення та якості конструкційних та інструментальних сталей.

3.1 Конструкційні сталі.

Конструкційні сталі поділяються на сталі звичайної якості та якісні.

Сталі звичайної якості загального призначення, відповідають ДСТУ 2651-94. Застосовують для виготовлення мало- і середньо-навантажених деталей машин. Маркуються: $Ст 0 \dots Ст 6$, де $Ст$ – сталь звичайної якості; $0 \dots 6$

– порядковий номер сталі. Зі збільшенням номера – зростає вміст вуглецю, твердість і міцність.

Ці сталі містять до 0,04 % S і 0,05 % P.

В залежності від властивостей, які гарантуються (тобто властивостей, до яких пред'являються вимоги), конструкційні сталі звичайної якості поділяються на три групи, в залежності від яких їхнє маркування уточнюється.

Сталі групи А поставляються за механічними властивостями без уточнення їхнього хімічного складу. Їх позначають: Ст1, Ст2,..., Ст6. Такі сталі призначені для використання у стані поставки: листів, профілів без наступної обробки тиском, зварювання або термічної обробки.

В сталях групи Б гарантується певний хімічний склад. В позначенні марки попереду ставиться літера Б: БСт1, БСт2,..., БСт6. Зі збільшенням номера сталі, збільшується вміст вуглецю: БСт1 вміст вуглецю порядку 0,06...0,12 %, в БСт6 – 0,38...0,49%.

Сталі групи В – сталі підвищеної якості, їх поставляють з гарантованими механічними властивостями і хімічним складом. В позначенні марки вводиться літера В: ВСт1, ВСт2,..., ВСт5.

З урахуванням ступеня розкислення сталі, наприкінці марки сталі ставлять літери: СП, ПС, КП, наприклад, *БСт2кп*, *ВСт4пс*. В марках з підвищеним вмістом марганцю (до 1,1... 1,2 %), ставиться літера "Г", наприклад, *Ст4Гпс*.

Якісні сталі. Ці сталі застосовуються для відповідальних деталей машин і конструкцій. До них пред'являються більш жорсткі вимоги по хімічному складу. Як правило, усі вони спокійні і містять менше шкідливих домішок. Маркуються сталі таким чином: Сталь 10, 15, 60, 65, 70, де цифри показують середній вміст вуглецю в сотих долях % (0,10; 0,15; 0,60; 0,65; 0,70%С)

3.2 Інструментальні сталі (ГОСТ 1055-88).

Вуглецеві інструментальні сталі застосовують для виготовлення різального, ударно - штампового і вимірювального інструмента, як правило, невеликих розмірів, простої форми і працюючого при порівняно невеликих навантаженнях. Оскільки інструмент повинен мати високу твердість, то і сталі, що застосовуються для його виготовлення, містять підвищену кількість вуглецю (> 0,8%). Звичайно це евтектоїдні і заевтектоїдні сталі. Маркуються інструментальні сталі наступним чином:

1. Якісні: Сталь У8, Сталь У10, Сталь У12, Сталь У 13; У – інструментальна, цифри 8, 10, 12, 13 - вміст вуглецю в десятих долях %, тобто 0,8; 1,0; 1,2 % С.

2. Високоякісні: Сталь У8А, Сталь У10А. Літера "А" – у кінці марки вказує, що сталь високоякісна, тобто має понижений вміст шкідливих домішок.

4. Конструкційні сталі із особливими (спеціальними) технологічними властивостями.

1. *Сталі для глибокої витяжки.*

Їх застосовують для виготовлення різних ємностей, труб, кузовів автомобілів та ін. Вони повинні мати високу пластичність в холодному стані, містити малу кількість вуглецю і зміцнюючих ферит домішок. Маркуються: Сталь 05кп; Сталь 08кп; Сталь 10кп.

2. *Сталі для фасонних відливок.* Це сталі, що виплавляються на машинобудівних заводах, для отримання різних литих заготовок. В цих сталях допускаються більш ширші межі по хімічному складу. Марки: Сталь 40Л, 30Л - "Л" –ливарна.

3. *Сталі з підвищеною оброблюваністю різанням (автоматні сталі).*

Для їх виготовлення деталей на токарних верстатах-автоматах різних метизів (валів, болтів, втулок, гайок тощо) застосовують маловуглецеві сталі, які незадовільно обробляються різанням (особливо характерна низька якість поверхні).

Поліпшення якості обробки досягається при підвищеному вмісті P і S (до 0,1%). Фосфор P покращує якість оброблюваної поверхні, а сірка S , знаходячись в сталі у вигляді сульфідів, розташовується по межах зерен, робить стружку короткою і ламкою, що полегшує процес різання.

Марки: Сталь А20, Сталь А15. Літера "А", на початку маркування сталі означає "автоматна".

Іноді в такі сталі додають вводять свинець (Pb), який розташовується по межах зерен (рис. 17).

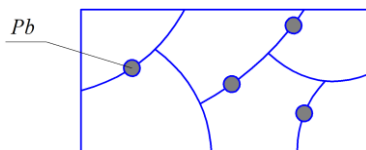


Рисунок 17 – Схема розташування свинцю по межах зерен в автоматній сталі

Плівка свинцю, що утворюється при різанні, зменшує коефіцієнт тертя різця по поверхні деталі. Крім того, нагріваючись від тепла, що утворюється при різанні свинець розширюється більше, ніж сталь, що створює на межах зерен внутрішнє напруження, яке полегшує зняття стружки і підвищує продуктивність механічної обробки на 50...80%.

Марки: Сталь АС20, де – А – автоматна, С – містить свинець.

5. Приклади раціонального застосування вуглецевих конструкційних сталей.

Сталі звичайної якості:

- Ст1; Ст2 – для виготовлення дроту, цвяхів, заклепок;
- Ст3; Ст4 – кріпильні деталі, фасонний прокат.
- Ст5; Ст6 – малонавантаженні вали, вісі.

Конструкційні сталі:

– Сталь 10...20 – після цементації для виготовлення малонавантажених осей і валів, зубчастих коліс, поршневих пальців; без цементації - ємкості, труби, прокат;

– Сталь 25...35 – для виготовлення крюків, гаків, муфт, важелів, зірочок, коромисел;

– Сталь 40...45 – вали і колінчасті вали, осі, шатуни, крутні муфти, храповики, зубчасті колеса;

– Сталь 50...55 – лапи культиваторів, кулачки, штоки, шпинделі, лемеші і відвали плугів.

– Сталь 60...70 – пружини, ресори.

Інструментальні сталі:

– Сталь У7, У8 – для виготовлення деревообробного інструменту, зубил, сокир, викруток;

– Сталь У9, У10 – пили, ножі, ножиці, калібри, пуансони.

– Сталь У10, У12 – фрези, зенкери, свердла, бритви, розвертки, мітчики, ударно – штамповий інструмент.

– Сталь У12, У13 – напилки, шабери, гравіювальний інструмент.

Запитання для самопідготовки та закріплення набутих знань:

1. Які сплави називаються вуглецевими сталями?
2. Як впливає вуглець на механічні властивості сталей?
3. За якими ознаками класифікують вуглецеві сталі?
4. На які класи поділяють сталі за вмістом вуглецю?
5. Як класифікують сталі за ступенем розкислення?
6. На які класи поділяють сталі за призначенням?
7. Як маркують вуглецеві конструкційні сталі звичайної якості?
8. Як маркують вуглецеві конструкційні якісні сталі?
9. Як маркують вуглецеві інструментальні сталі?
10. Охарактеризуйте конструкційні сталі спеціального призначення?

Рекомендована література: [3, 4]

2.4 Лекція 4. Чавуни

План висвітлення матеріалу лекції

1. Класифікація чавунів згідно форми графіту та структури металевої основи.
2. Фактори, які впливають на утворення структури чавунів.
3. Вплив домішок на структуру і технологічні властивості чавунів.
4. Вплив графіту та металевої основи на механічні і технологічні властивості чавунів.
5. Маркування чавунів. Технологія отримання і застосування сірих, ковких та високоміцних чавунів.

Основні терміни: чавун, форма графіту, швидкість охолодження, домішки, властивості, графітизація, фазові перетворення, маркування.

Методичні поради до вивчення лекції

При вивченні чавунів необхідно знати вплив домішок на структуру і властивості чавуну, вплив форми графітових включень і структури металевої основи на його механічні властивості, види чавунів, їх застосування і маркування. Мати уявлення як визначати види чавунів на злам і за зовнішнім виглядом.

Короткий зміст лекції

1. Класифікація чавунів згідно форми графіту та структури металевої основи.

Чавунами називають залізовуглецеві сплави, що містять більше 2,14%С.

Чавуни, будучи крихкими і практично не пластичними, по міцності поступаються сталям, але мають більш високі ливарні властивості, що дозволяє методами ливарного виробництва отримувати вироби складної форми з внутрішніми порожнинами, які неможливо або важко отримати механічною обробкою. До того ж чавунні вироби дешевші за сталеві, мають кращу оброблюваність різанням.

По виду зламу чавуни класифікують на білі і сірі (за станом вуглецю).

Білими називають чавуни, в яких увесь наявний вуглець знаходиться у вигляді хімічної сполуки – цементит (Fe_3C). Білі чавуни мають високу твердість, міцність, зносостійкість, але абсолютно не пластичні. Їх практично неможливо обробляти різанням. Відливки, що мають повністю структуру білого чавуну в промисловості застосовують обмежено (як абразивностійкі, зносостійкі).

Сірими називають чавуни, у яких вуглець повністю або частково знаходиться у вільному стані у вигляді графіту (Γ). Графіт в структурі надає зламу сірий колір. Сірі чавуни широко застосовують в промисловості.

Структура сірих чавунів складається з металевої основи фериту і перліту і неметалевої (графіт).

Графіт у чавуні може мати різну просторову форму. Сірі чавуни за формою графіту поділяються на:

- сірі звичайні – з пластинчастою формою графіту;
- ковкі – з пластівчастою формою графіту (на сьогодні не виробляються);
- високоміцні – з кулястою (глобулярною) формою графіту.

За структурою металевої основи сірі чавуни поділяються на:

- феритні, із структурою $\Phi + \Gamma$;
- перлітні, із структурою $\Pi + \Gamma$;
- ферито-перлітні, із структурою $\Phi + \Pi + \Gamma$.

При кожному типі металевої основи може бути будь-яка з трьох форм графіту (рис. 18).

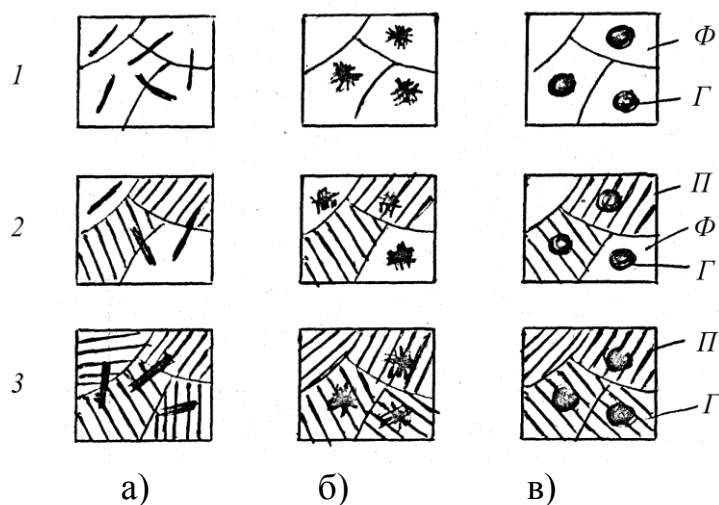
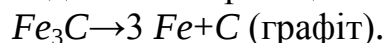


Рисунок 18 – Схеми мікроструктур графітізованих чавунів: а – сірі; б – ковкі; в – високоміцні; 1 – феритні ; 2 – ферито-перлітні; 3 – перлітні

Це дозволяє мати конструкційний матеріал з широким діапазоном механічних властивостей.

2 Фактори, що впливають на утворення структури чавунів.

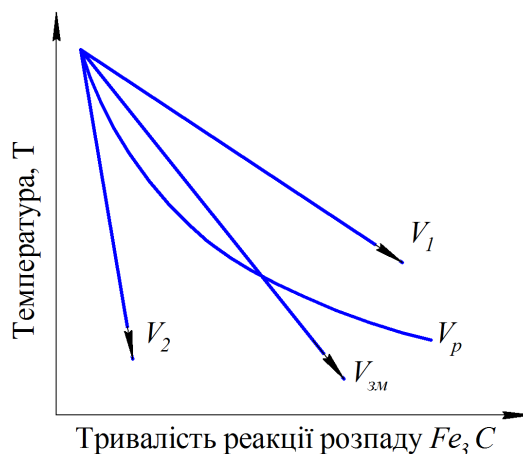
Розглядаючи чавуни звертаємо увагу на обставину, що в одних випадках отримують чисто білі чавун зі зв'язаним вуглецем, а в інших вуглець або повністю, або частково є вільним. Цементит при повільному охолодженні (підвищених температурах) розпадається по реакції:



Однією з умов формування відповідної структури є швидкість охолодження чавуну. Якщо охолоджувати чавун повільно, то вуглець буде виділятися у вільному виді (у вигляді графіту); якщо прискорено, то у вигляді цементиту – хімічної сполуки заліза і вуглецю (рис. 19). При прискореному охолодженні не стабільний цементит не встигає розкластися на залізо і графіт.

Реакція розпаду (V_p) $Fe_3C \rightarrow 3 Fe + C$ має певну швидкість, яка залежить від температури (рис.19). При високих температурах вона протікає швидше, а з пониженням – сповільнюється.

Якщо охолоджувати зі швидкістю V_1 , яка менше V_p , то цементит встигне розкластися, відбудеться графітізація, і увесь вуглець буде у вільному стані. В такому випадку отримують сірий чавун.



V_p – гранична швидкість реакції розпаду; V_{zm} – змішана швидкість; $V_1 < V_p$; $V_2 > V_p$; F_1 – формування сірого чавуну; F_2 – формування змішаної структури; F – формування білого чавуну

Рисунок 19 – Порівняльна схема швидкостей реакції розпаду Fe_3C

Якщо охолоджувати із швидкістю $V_2 > V_p$, то розпад не відбудеться, вуглець буде у вигляді Ц і отримаємо білий чавун. При охолодженні із швидкістю V_{zm} частина цементиту розпадеться, а частина залишиться і можуть бути отримані або перлітні або ферито-перлітні сірі чавуни. Крім цього на процес графітизації впливає і хімічний склад чавуну. Найбільш характерним є показник вуглецевого еквіваленту.

3. Вплив домішок на структуру і технологічні властивості чавунів.

Постійні домішки в чавунах такі ж, як і в сталях: C, Si, Mn, S, P.

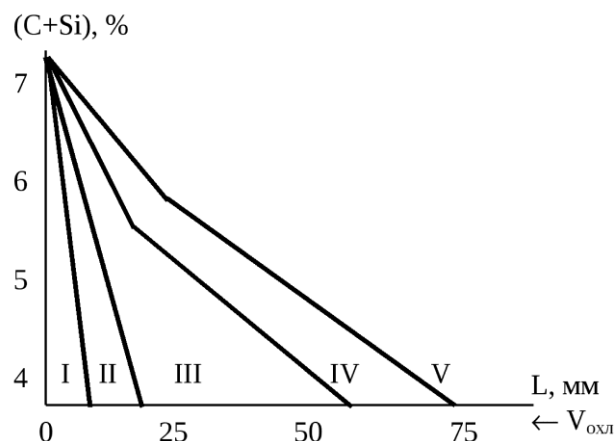
Домішки C і Si сприяють графітизації, підвищують рідкотекучість (добре заповнення ливарної форми). Вміст вуглецю у складі чавунів складає: у переробних (ДСТУ 3133-95) – 4,0...4,5%; у ливарних (ДСТУ 3132-95) – 3,4...4,5%; вміст Si – 1,5...3,5%.

Марганець Mn перешкоджає графітизації (сприяє відбілу) підвищує міцність і нейтралізує шкідливий вплив сірки. Вміст 0,8...1,5%, збільшує долю перліту в металевій основі.

Сірка S знижує рідкотекучість, підвищує усадку і схильність до тріщин. Вміст сірки допускається до 0,1%.

Фосфор P слабо впливає на графітизацію, але найбільш сильно, в порівнянні з C і Si, збільшує рідкотекучість, що дуже важливо для виробництва тонкостінного лиття. Фосфор помітно збільшує крихкість чавуну. Вміст домішки фосфору складає 0,1...0,2%, але іноді (для художнього лиття) підвищують до 0,5%.

Спільний вплив швидкості охолодження, товщини стінки відливка і хімічного складу на структуру чавунів можна бачити на структурній діаграмі (рис. 20).



I – $\Pi + \text{Ц} + \text{Л}$ (білий чавун); II – $\Pi + \text{Ц} + \text{Г}$ (половинчастий чавун); III – $\Pi + \text{Г}$ (сірий перлітний чавун); IV – $\Pi + \Phi + \text{Г}$ (сірий ферито-перлітний чавун); V – $\Phi + \text{Г}$ (сірий феритний чавун)

Рисунок 20 – Діаграма залежності структури чавунів від сумарного вмісту вуглецю і кремнію та товщини стінок відливки

Структурні діаграми (рис. 20) дозволяють вибрати оптимальний хімічний склад для отримання в розрахункових перерізах деталей машин потрібних механічних властивостей та заданої структури.

4. Вплив графіту та металевої основи на механічні і технологічні властивості чавунів

Чим більше графіту в чавунах, тим нижче його механічні властивості, оскільки графіт сам по собі дуже м'який і неміцний і його включення можна розглядати як порожнини в металевій структурі, яка є не що інше як сталь ($\Phi + \Pi$, Π).

Найбільш несприятлива форма графіту – пластинчаста. Пластинчасті включення графіту є внутрішніми концентраторами напружень і такий чавун не витримує навантажень на розтяг понад 350 МПа (35 кгс/мм²). Причому більші напруження витримує сірий чавун, у якого графіт більш дисперсний і компактної форми (рис. 21, б), що досягається спеціальною обробкою рідкого чавуну – модифікуванням.

Найбільш сприятливою є куляста форма графіту (рис. 21, в). Напруження, що виникають в таких чавунах при навантаженні, не концентруються на вузькій ділянці, а рівномірно розподіляються по сфері, що і забезпечує більш високу, в порівнянні з сірими чавунами, міцність – від 400 до 1000 МПа.

Форма графіту впливає на міцність чавунів при розтягу і згині, і практично не впливає на твердість та міцність при стиску. Позитивний вплив графіту на технологічні властивості і характеристики чавунів полягає в наступному:

1. Покращується обробка різанням, роблячи стружку короткою і ламкою.
2. Покращуються антифрикційні властивості. Діє як тверде мастило, що зменшує коефіцієнт тертя і знос деталей.
3. Добре гасить вібрацію.

4. Робить чавуни малочутливими до зовнішніх концентраторів напружень (надрізів, виточок, дефектів поверхні).

Металева основа впливає на усі види міцності і твердість. Найбільш твердішою і міцною металевою структурною складовою в чавунах є перліт, а найменш твердою і міцною – ферит. Механічні властивості ферито-перлітних чавунів залежить від співвідношення кількості фериту і перліту. Таким чином, найбільш міцним і твердим буде високоміцний перлітовий чавун, а найменш міцним і твердим феритний сірий.

5. Маркування чавунів і застосування чавунів. Технологія отримання і застосування сірих, ковких та високоміцних чавунів.

Білі чавуни (ДСТУ 2891-94) маркування не мають.

Сірі чавуни (ДСТУ 3132-95) позначають буквами СЧ (сірий чавун), та число, яке вказує границю міцності при розтягу (кгс/мм²). Наприклад: СЧ 10, СЧ 15, СЧ 20, ... СЧ35, де – 10, 15, і так далі границя міцності при розтягу σ_b у МПа (кгс/мм²). Чавун СЧ10, СЧ15, СЧ18 застосовують для виготовлення плит, корпусів, ступиць та ін. деталей, які працюють переважно при зусиллях стискання. Модифіковані сірі чавуни СЧ30, СЧ35 застосовують для деталей, які повинні витримувати динамічні зусилля (станин, блоків циліндрів, поршнів та ін.).

Ковкі чавуни (ДСТУ 2891-94) маркуються буквами КЧ (ковкий чавун) і числами, перше з яких означає границю міцності при розтягу, а друге відносне видовження. Наприклад: КЧ 35-10 де: 35– σ_b у МПа (кгс/мм²); 10 – відносне видовження δ у %. Використовують для виготовлення картеру редукторів, пальці, муфти, вилок карданних валів, кронштейнів.

Високоміцні чавуни (ДСТУ 3925-99) позначають буквами ВЧ, а далі такі самі значення, як і в марках сірого чавуну. Наприклад: ВЧ 42-12; ВЧ 60-2; ВЧ 120-2, де: 42, 60, 120 – σ_b у МПа (кгс/мм²); 12, 2 – $\delta\%$. Високоміцні чавуни мають близькі до сталей механічні властивості і застосовуються для виготовлення відповідальних деталей (колінчастих валів, гальмувальних дисків, зубчастих коліс, станин важких пресів, маховиків, гідроарматури). Їх отримують шляхом додаткового введення в рідкий розплав невеликих кількостей магнію 0,03...0,07% або рідкоземельних металів (La, Ce, Y).

Запитання для самопідготовки та закріплення набутих знань:

1. Скільки вуглецю можуть містити чавуни згідно діаграми Fe_3C ?
2. Завдяки яким властивостям чавуни застосовуються як ливарні сплави?
3. Які високовуглецеві фази можуть бути присутні в чавунах і на які класи поділяються чавуни в залежності від наявності цих фаз?
4. Які загальні умови отримання білих і сірих чавунів?
5. Який графітизуючий елемент вводиться у сірі чавуни?
6. Які позитивні властивості надають графітні включення сірим чавунам?
7. Як маркують сірі чавуни, яку форму в них має графіт?
8. Як маркують високоміцні чавуни, як їх отримують і яку форму в них має графіт?

Рекомендована література: [3, 4]

2.5 Лекція 5. Теорія термічної обробки сталі

План висвітлення матеріалу лекції

1. Зв'язок діаграми стану сплавів і режимів термічної обробки сталей.
2. Фазові перетворення при нагріванні та охолодженні сталі.
3. Схеми перетворення і зміни величини зерна при нагріванні і охолодженні евтектоїдної, доевтектоїдної і заевтектоїдної сталі.
4. Величина зерна сталі. Спадково дрібнозернисті і крупнозернисті сталі.
5. Перетворення аустеніту при охолодженні з різною швидкістю та безперервному охолодженні.
6. Особливості мартенситного перетворення і вплив на нього легуючих елементів

Основні терміни: фаза, механічна суміш, розчинність, фазові перетворення, величина зерна, спадковість, ступінь переохолодження, критична швидкість, мартенситні точки.

Методичні поради до вивчення лекції

Теорія термічної обробки сталей і сплавів будується на теорії сплавів і аналізі діаграми стану залізо - вуглець і основних чотирьох перетворень, які проходять при нагріванні і охолодженні: перетворення перліту в аустеніт ($P \rightarrow A$); перетворення аустеніту в перліт ($A \rightarrow P$); ізотермічне перетворення аустеніту і мартенситне перетворення ($A \rightarrow M$); перетворення в загартованій сталі при нагріванні $M \rightarrow (F + P)$.

Короткий зміст лекції

Основні положення теорії термічної обробки розглядатимуться на прикладі сталі. Основні закономірності термічної обробки сталі прийнятні також для чавунів і кольорових сплавів.

Термічна обробка – це штучна зміна структури і властивостей металу за допомогою термічної дії.

Залежність механічних властивостей після термічної обробки, від:

- хімічного складу сплавів;
- швидкості і температури нагрівання;
- тривалості витримки при температурі нагрівання;
- швидкості охолодження.

1. Зв'язок діаграми стану сплавів і термічної обробки сталей.

Будь-який сплав складається з однієї або декількох фаз: чисті компоненти; тверді розчини; хімічні сполуки. Діаграми стану у графічній формі показують фазовий і структурний склад сплавів залежно від температури та концентрації. Діаграми стану дають можливість розробити раціональні режими видів термічної обробки матеріалів, їх практичну реалізацію та можливість виробництва матеріалів із заданими властивостями.

Діаграма стану сплавів з необмеженою розчинністю компонентів у твердому стані зображена на рис. 22 а. Для цього сплаву можливе утворення двох фаз: рідкого сплаву і твердого розчину α . На цій діаграмі є дві лінії, верхня є лінією ліквідус, а нижня – лінією солідус (кристалізація таких сплавів протікає в інтервалі температур).

Діаграма стану сплавів, що утворюють механічні суміші (рис. 22 б), характеризується відсутністю розчинення компонентів у твердому стані. Тому в цьому сплаві можливе існування трьох фаз: рідкого сплаву P , кристалів A і кристалів B . Лінія ACB діаграми є лінією ліквідус: на ділянці AC при охолодженні починається кристалізація компонента A , а на ділянці CD – компонента B . Лінія DCE є лінією солідус, на ній завершується кристалізація A або B і при постійній температурі відбувається кристалізація евтектики E . Сплави концентрація яких відповідає точці C діаграми називаються евтектичними, їх структура являє собою чисту евтектику.

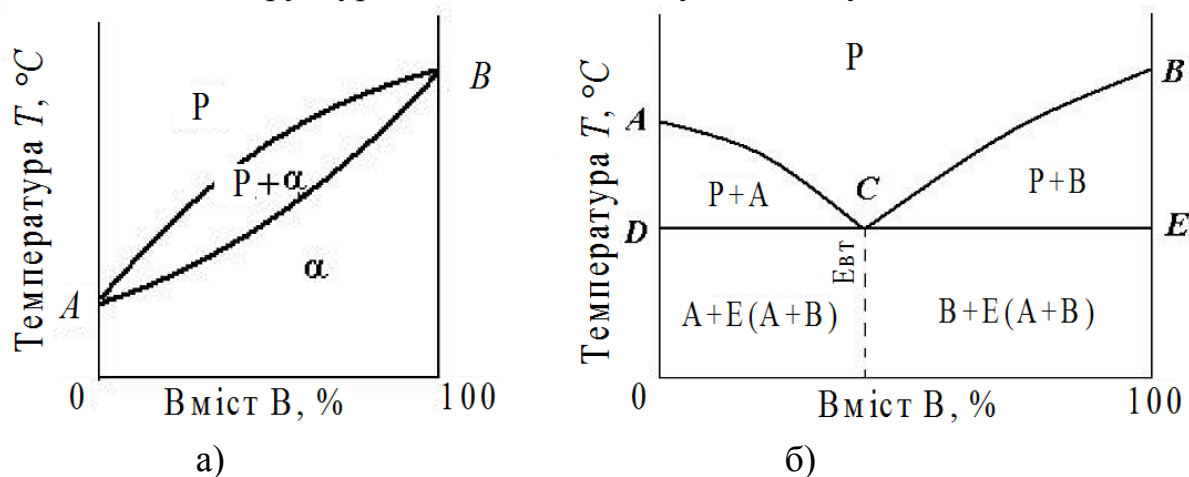


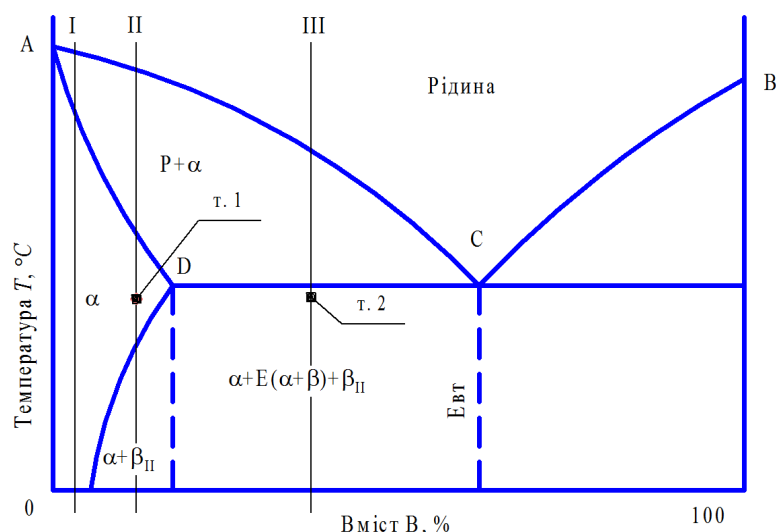
Рисунок 22 – Діаграма стану сплавів (а) – з необмеженою розчинністю (б) – які утворюють механічні суміші

Термічна обробка, при якій або фіксується високотемпературний стан, або утворюється проміжний метастабільний стан називається гартування.

Але не всі сплави можуть піддаватися гартуванню. Можуть зміцнюватися при гартуванні лише ті сплави, у яких в твердому стані відбувається виділення вторинної фази внаслідок зміни розчинності, евтектоїдне (поліморфне) перетворення (рис. 23).

Однофазний сплав I не має перетворень в твердому стані, тому перенасичений твердий розчин створити не можливо, отже зміцненню не піддається.

При нагріванні сплаву II до точки 1 і швидкому охолодженні, виділення вторинної фази не відбувається і при кімнатній температурі отримується перенасичений твердий розчин.



I – сплави, що не зміцнюються; II, III – сплави, що зміцнюються

Рисунок 23 – Діаграма стану сплавів з обмеженою розчинністю компонентів в твердому стані

При нагріванні сплаву III нижче температури евтектичного перетворення (т. 2) відбуваються такі ж перетворення як і в сплаві II.

Таким, чином зміцнення можливе лише в тому випадку, коли згідно діаграми стану сплавів існує евтектоїдне перетворення і зміна розчинності в твердому стані.

2. Фазові перетворення при нагріванні та охолодженні.

Розглянемо перетворення в евтектоїдних сталях при нагріванні і охолодженні (в умовах рівноваги). При нагріванні сталі в твердому стані мають місце фазові перетворення, які на діаграмі стану Fe-C визначаються лініями *PSK* і *GSE*, тобто точками *Ac1* і *Ac3* (*Acм*). Ці перетворення розглянемо на прикладі евтектоїдної сталі.

Перетворення перліту при нагріванні. При досягненні точки *Ac1* (лінія *PSK*) має місце перетворення перліту в аустеніт ($\Pi \rightarrow A(\gamma)$) (рис. 23).

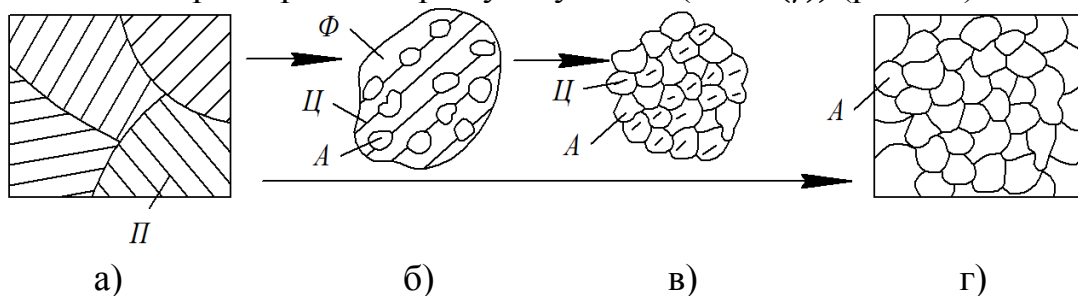


Рисунок 23 – Схема перетворення перліту в аустеніт

а – перліт; б – зародження та ріст нової фази аустеніту в зерні перліту; в – ступінь розчинення цементиту (*Ц*) в аустеніті (*А*); г – гомогенні зерна аустеніту

Це перетворення є кристалізаційним процесом і носить дифузійний характер. З ферито-цементитної суміші, в якій фази різко відрізняються по хімічному складу, повинен утворитися однорідний твердий розчин шляхом протікання дифузійних процесів. Дифузія протікає тим активніше, чим вище температура нагрівання.

Утворення зародків аустенітних зерен відбувається на межі розділу фериту і цементиту. Замість одного перлітового зерна утворюється велика кількість аустенітних зерен, що зрештою приводить до загального подрібнення зерна. Чим вище дисперсність перліту, тим більше утворюється зародків аустеніту і тим швидше протікають фазові перетворення. Важче перетворюється на аустеніт крупнопластинчатий перліт і найважче – зернистий.

Слід зазначити, що після перетворення аустеніт неоднорідний за вмістом вуглецю. В ділянках, де раніше був цементит, вуглецю більше ніж в ділянках де був ферит. Тому необхідний деякий час для вирівнювання концентрації вуглецю за усім об'ємом шляхом дифузії.

При нагріванні легованих сталей, особливо що містять карбідоутворюючі елементи (Cr , W , V , Mo , Ti та ін.), перетворення перліту в аустеніт протікає більш повільно, оскільки ускладнюється розчинення легованих карбідів в аустеніті і сповільнюються дифузійні процеси.

З підвищенням температури вище за критичну точку A_{c1} і зі збільшенням тривалості нагрівання, зерно аустеніту росте, що відображується згодом на механічних властивостях сталі і поведінці її при різних видах обробки.

Перетворення аустеніту при охолодженні. При охолодженні аустеніту нижче точки A_1 (лінія PSK) він стає нестійким і при малій швидкості охолодження (близькій до рівноважної), розпадається на ферито-цементитну суміш – перліт. Перетворення аустеніту в перліт (рис. 24) також носить кристалізаційний характер з протіканням дифузійних процесів. Аустеніт, практично однорідний по концентрації вуглецю, перетворюється на суміш двох фаз - фериту і цементиту, що різко відрізняються один від одного за вмістом вуглецю. Зародки цементиту, як правило, утворюються по межах зерен аустеніту. Ріст їх відбувається за рахунок дифузії вуглецю з навколишніх ділянок. Ці ділянки збіднюються вуглецем і перетворюються потім на феритні поля. Цей процес постійно повторюється, що призводить до утворення зерен ферито-цементитної суміші, і має пластинчатий характер включень Fe_3C .

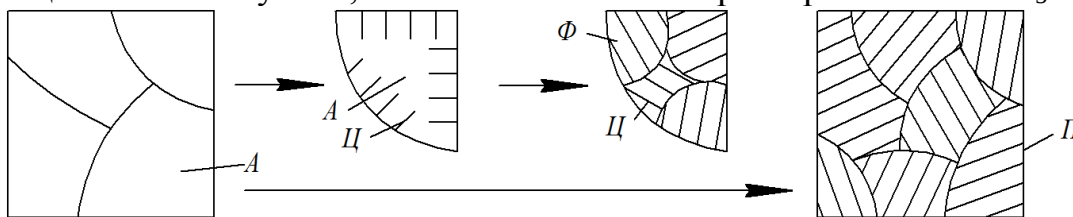


Рисунок 24 – Схема перетворення аустеніту в перліт при охолодженні

Величина перлітового зерна буде такою ж, як у початкового аустенітного зерна. Чим нижче температура перетворення відносно точки A_{c1} , тим більш дисперсна утворюється ферито-цементитна суміш.

При відносно невеликій степені переохолодження дифузія вуглецю протікає інтенсивно і утворюється досить груба суміш – перліт. Зі збільшенням ступеня переохолодження рухливість атомів вуглецю зменшується, і утворюється більш дисперсна ферито – цементитна суміш – сорбіт. При переохолодженні до $500...550^{\circ}C$ утворюється ще більш дисперсна суміш – тростит.

Природно, що при цьому змінюються і механічні властивості суміші, оскільки твердість і міцність її пропорційна площі поверхні розділу між феритом і цементитом. Так, наприклад, твердість перліту знаходиться в межах 180...220 НВ, сорбіту – 250...300 НВ, троститу – 380...400 НВ.

3. Схеми перетворення і зміни величини зерна при нагріванні і охолодженні евтектоїдної, доевтектоїдної і заевтектоїдної сталі.

Перетворення в евтектоїдній сталі. При нагріванні сталі дещо вище точки A_{c1} , відбувається перетворення перліту (рис. 25, I) в аустеніт, яке призводить до значного подрібнення аустенітного зерна. Якщо охолодити таку сталь, то отримаємо дрібне перлітне зерно (рис. 25, II).

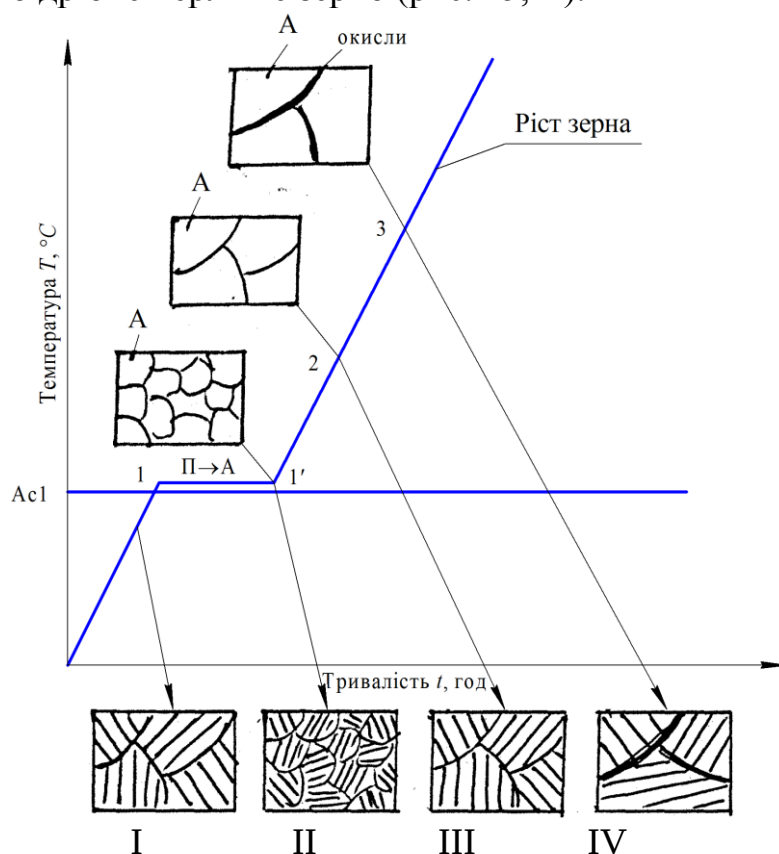


Рисунок 25 – Схеми перетворення і зміни величини зерна при нагріванні і охолодженні евтектоїдної сталі

Підвищення температури значно вище A_{c1} і збільшення тривалості нагрівання призводить до утворення крупного аустенітного, а при послідовному охолодженні - перлітного зерна (рис. 25, III). Таке нагрівання називають перегрівом, а структура перегрітої сталі характеризується великокристалічним зломом. Структуру перегріву можна виправити повторним нагріванням дещо вище точки A_{c1} (рис. 25, II).

Більш високе і тривале нагрівання може призвести до утворення по межах зерен аустеніту оксидів заліза (рис. 25, IV), а іноді і оплавленню меж зерен. Це явище називається перепал, який спричиняє різке зниження механічних властивостей сталі, крихкий каменеподібний злам. Перепал є непоправним дефектом сталі.

Перепал можна уникнути, якщо нагрівання здійснювати у безокисній атмосфері або вакуумі.

Перетворення в доєвтектоїдній сталі. При нагріванні вище точки A_{c1} відбувається перетворення $P \rightarrow A$ з подрібненням зерна. Феритні ж зерна залишаються без зміни. Після охолодження отримуємо подрібнені перлітні зерна і колишні незмінні феритні (рис. 26, II).

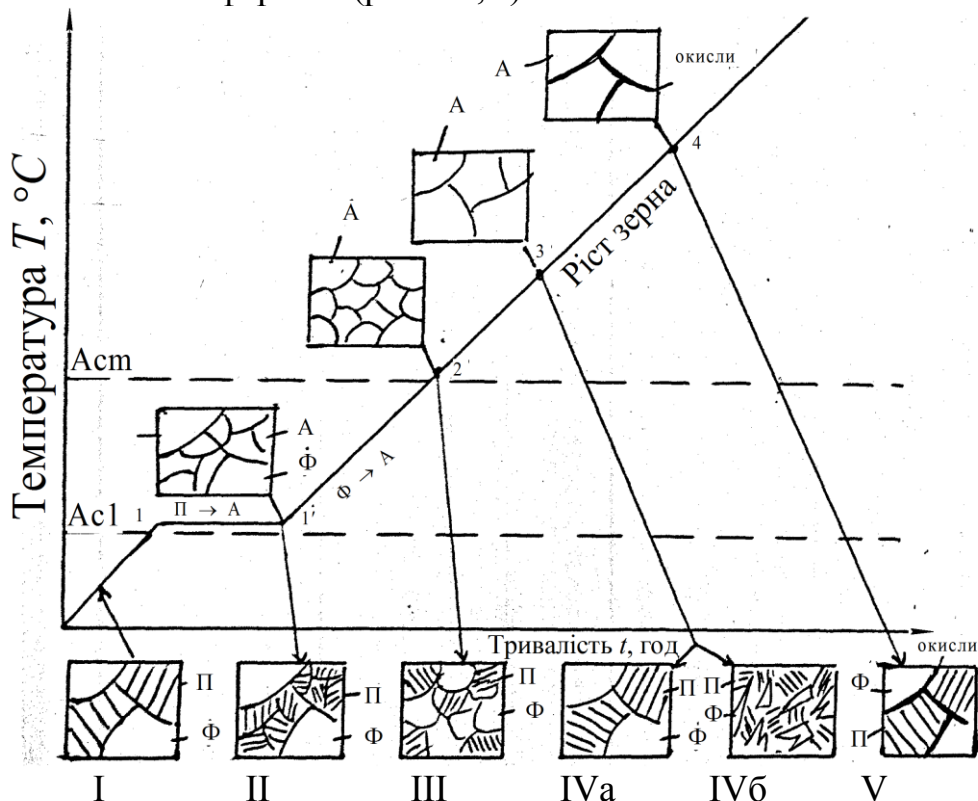


Рисунок 26 – Схеми перетворення і зміни величини зерна при нагріванні і охолодженні доєвтектоїдної сталі

Таким чином, після нагрівання вище $t. A_{c1}$ і подальшого охолодження відбувається лише часткова перекристалізація. При нагріванні вище точки A_{c3} відбувається розчинення фериту в аустеніті і деяке зростання аустенітного зерна (рис. 26 III). Після охолодження отримуємо дрібнозернисту ферито-перлітну структуру (III). Таким чином, нагрівання доєвтектоїдної сталі вище за точку A_{c3} призводить до повної перекристалізації і загального подрібнення зерна.

Нагрівання до більш високих температур (рис. 26 IV, V) призводить до перегрівання і утворення після охолодження або крупнозернистої структури перегріву звичайного (рис. 26 IVa), або відманштетової структури з характерною голчастою формою фериту і перліту (рис. 26 IVб), або до непоправного дефекту – перепалу (рис. 26, V).

Перетворення в заєвтектоїдній сталі. При нагріванні вище точки A_{c1} відбувається перетворення перліту в аустеніт із подрібненням зерна. Після охолодження отримуємо дрібнозернисту структуру перліту і сітки цементиту попередніх розмірів (рис. 27, II). Нагрівання вище за точку A_{cm} веде до росту аустенітного зерна і розчинення сітки вторинного цементиту. Після охолодження отримується крупнозерниста структура перегріву (рис. 27, III).

Якщо охолодження проводити прискорено (на повітрі), то можна повністю усунути сітку вторинного цементиту.

Більш високе і тривале нагрівання в окислювальній атмосфері може призвести до перепалу (рис. 27, IV).

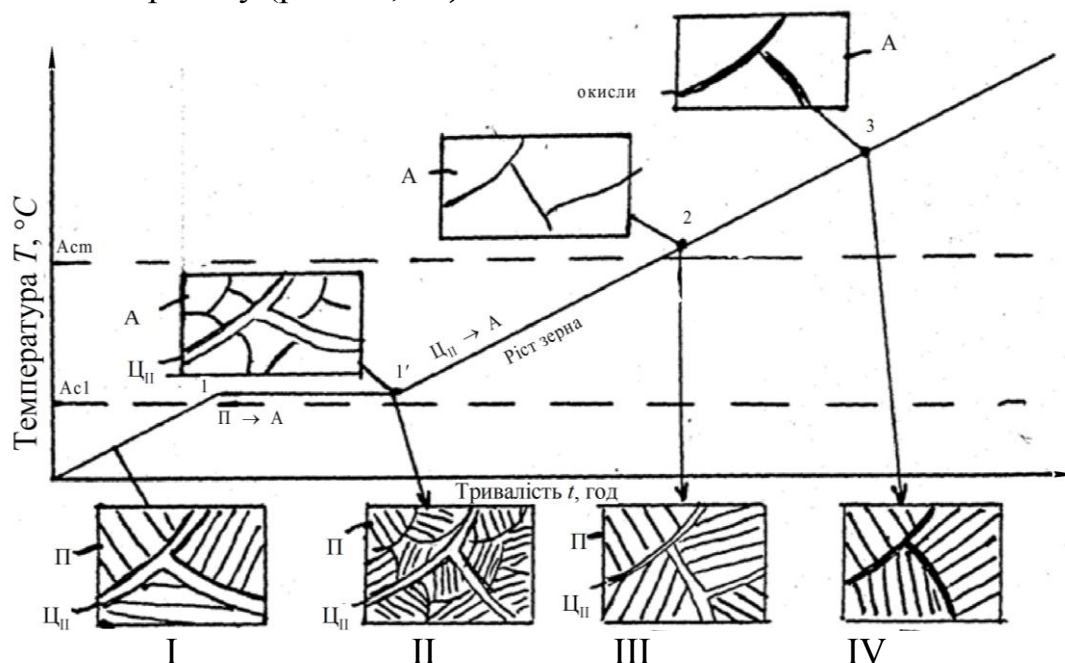
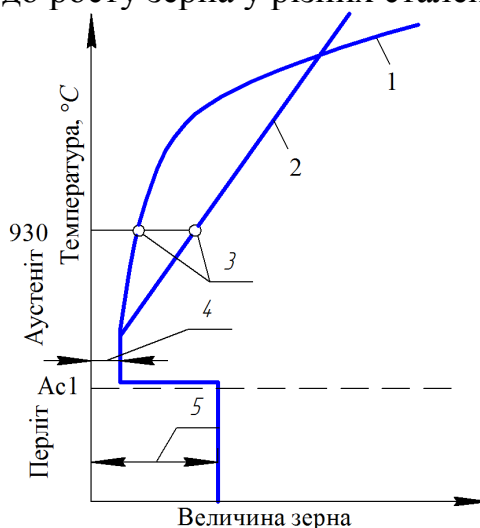


Рисунок 27 – Схеми перетворення і зміни величини зерна при нагріванні і охолодженні заевтектоїдної сталі

4. Величина зерна сталі. Спадково дрібнозернисті і крупнозернисті сталі.

При підвищенні температури нагрівання вище точки Ac_3 відбувається зростання аустенітних зерен тим більшою мірою, чим вище температура нагрівання. Але схильність до росту зерна у різних сталях різна (рис. 28).



1 – спадково дрібнозерниста сталь, 2 – спадково крупнозерниста сталь,
3 – спадкове зерно, 4 – початкове зерно аустеніту, 5 – вихідне зерно перліту

Рисунок 28 – Схема росту зерна аустеніту в спадково- дрібнозернистих і крупнозернистих евтектоїдних сталях

Сталі, які в процесі виплавки розкислюють феросиліцієм і феромарганцем мають схильність до безперервного зростання зерна з підвищенням температури. Такі сталі називають *спадково крупнозернистими*. Сталі, що розкислюють додатково алюмінієм, ванадієм або титаном, зберігають дрібне зерно до значно більш високих температур (950...1000°C). Такі сталі називають *спадково дрібнозернистими*. Збереження дрібного зерна при підвищених температурах пояснюється тим, що алюміній утворює оксиди (Al_2O_3) і нітриди (AlN), а ванадій і титан, окрім оксидів (V_2O_5 , TiO_2) і нітридів (VN , TiN), утворюють карбіди (VC , TiC). Ці з'єднання у вигляді дрібнодисперсних включень розташовуються по межах зерен і відіграють роль "бар'єрів", що перешкоджають росту зерна при нагріванні. При перевищенні температури нагрівання 950...1000°C зерна починають рости дуже швидко, перевищуючи розміри зерна крупнозернистих сталей.

Від розміру зерна аустеніту залежить величина зерна продуктів розпаду аустеніту (ферито – цементитної суміші), тобто якщо зерно аустеніту дрібне, то і продукти розпаду аустеніту утворюють дрібні зерна.

Розмір зерна впливає на механічні властивості сталі - мало впливає на межу міцності, твердість і відносне видовження, але істотно знижує ударну в'язкість. Проте сталь з крупним зерном краще обробляється різанням.

5. Перетворення аустеніту при охолодженні з різною швидкістю та безперервному охолодженні.

Перетворення аустеніту при охолодженні з різною швидкістю. Уяву про структури, які утворюються при охолодженні аустеніту з різною швидкістю, дає діаграма ізотермічного перетворення (рис. 29). Зі збільшенням ступеня переохолодження стійкість аустеніту зменшується, досягаючи мінімуму при температурі порядку 550°C, а потім знову зростає.

Перетворення аустеніту на ферито-цементитну суміш є кристалізаційним процесом. При невеликому ступеню переохолодження аустеніт розпадається на ферито-цементитну суміш – перліт. Зі збільшенням ступеню переохолодження виникає більше число зародків цементиту. При цьому дисперсність феритно-цементитної суміші зростає, утворюються такі високодисперсні структурні складові як сорбіт і тростит, що мають підвищену твердість і міцність.

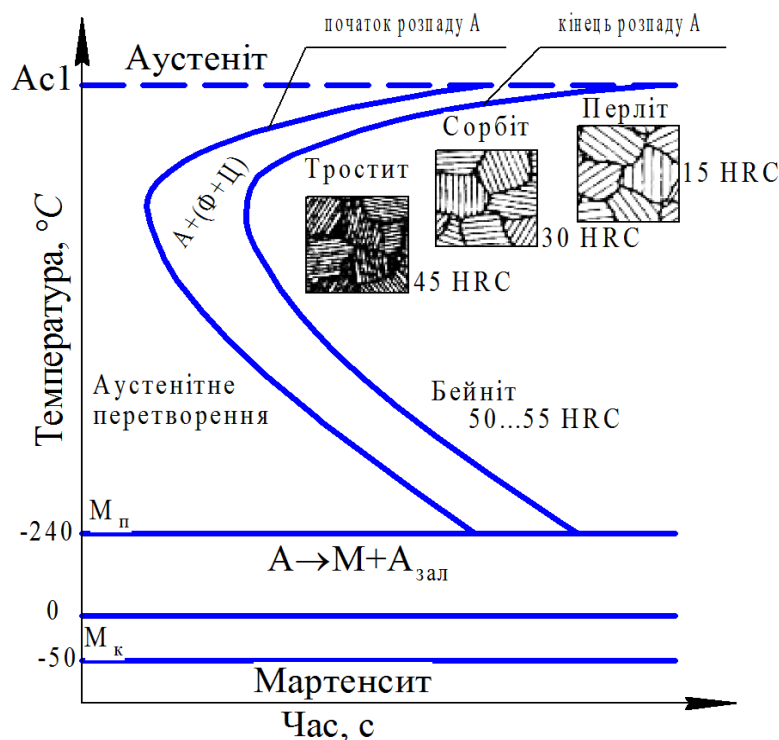


Рисунок 29 – Діаграма розпаду аустеніту для евтектоїдної сталі при охолодженні з різними швидкостями

Одночасно зі збільшенням ступеня переохолодження затухають (гальмуються) дифузійні процеси, що обумовлюють утворення феритно-цементитної суміші. При певних температурах (для евтектоїдних сталей при температурі 240 °C) вони припиняються зовсім. Перетворення аустеніту шляхом дифузії стає неможливим і в цьому випадку має місце принципово новий вид перетворення – бездифузійний. У сталі відбувається поліморфне перетворення: $Fe\gamma \rightarrow Fe\alpha$, ГЦК гратка перетворюється в ОЦК гратку. Це перетворення протікає з дуже великою швидкістю. Але оскільки вуглець з кристалічної гратки не виділився, а рівноважна розчинність його в гратках $Fe\alpha$ дуже мала, то отримується пересичений розчин вуглецю в $Fe\gamma$ який називається **мартенсит**. Атоми вуглецю, розміщені у гратках α – заліза понад рівноважну кількість, спотворюють її, і вона замість кубічної стає тетрагональною. Тетрагональність збільшується зі збільшенням вмісту вуглецю. Однією з особливостей мартенситного перетворення є те, що воно починається при певній температурі, а повністю закінчується при значно нижчій, тобто для повного перетворення аустеніту на мартенсит сталь необхідно безперервно охолоджувати.

Перетворення аустеніту при безперервному охолодженні. Процеси, що протікають при безперервному охолодженні пояснюються за допомогою діаграм ізотермічного перетворення аустеніту. У випадку безперервного охолодження аустеніту його перетворення розвивається не при постійній температурі, а в деякому інтервалі температур. Для того, щоб визначити структури, що утворюються при безперервному охолодженні, наносять на діаграму розпаду аустеніту швидкості охолодження зразків вуглецевої евтектоїдної сталі (рис. 30).

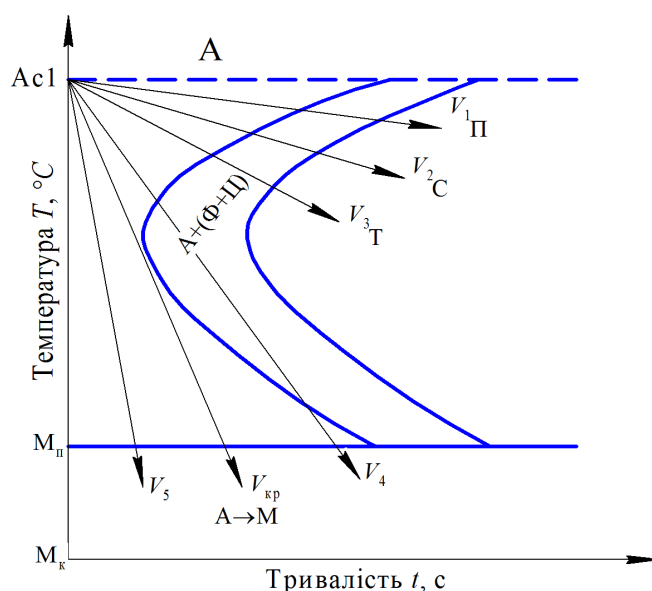


Рисунок 30 – С- подібні криві розпаду аустеніту при неперервному охолодженні евтектоїдної сталі

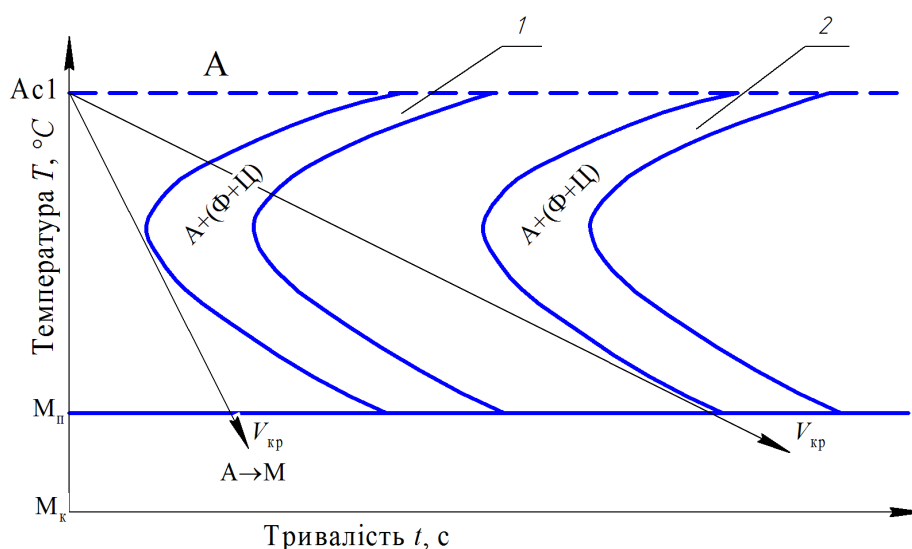
Як видно з діаграми, феритно-цементитні суміші (перліт, сорбіт, тростит) можна отримати не тільки при ізотермічних витримках, але і при безперервному охолодженні зі швидкістю V_1 , V_2 , V_3 , що реалізується на практиці. При охолодженні з швидкостями від V_1 до V_3 досягається порівняно невеликий степінь переохолодження, дифузійні процеси не пригнічуються і відбувається розпад аустеніту на феритно-цементитні суміші різної дисперсності (перліт, тростит, сорбіт). При більш високих швидкостях охолодження досягається вищий степінь переохолодження, дифузійні процеси пригнічуються і розпад аустеніту на феритно-цементитну суміш стає неможливим.

Така найменша швидкість охолодження сталі, при якій не відбувається розпад аустеніту на суміш $\Phi + \Pi$, називається *критичною швидкістю гартування* ($V_{кр}$). При охолодженні сталі з такою швидкістю (чи більш високою – V_5) при розпаді аустеніту відбувається мартенситне перетворення.

6. Особливості мартенситного перетворення і вплив на нього легуючих елементів

Мартенситне перетворення є бездифузійним процесом і можливе лише у випадку коли $V_{охл.} \geq V_{кр}$. Критична швидкість охолодження залежить від стійкості аустеніту, яка в свою чергу визначається хімічним складом сталі.

Практично всі легуючі елементи (крім кобальту) зменшують критичну швидкість гартування $V_{кр}$ (підвищують стійкість аустеніту), зсуваючи С-подібні криві початку і кінця розпаду аустеніту на феритно-цементитну ($\Phi - \Pi$) суміш вправо (рис. 31), що на практиці дає можливість проводити охолодження легованих сталей з меншою швидкістю і отримувати при цьому мартенситну структуру. Це дозволяє здійснювати гартування на більшу глибину, відбувається зменшення деформації виробів та утворення тріщин.



1 – вуглецеві сталі; 2 – леговані сталі

Рисунок 31 – Схема зміщення С – подібних кривих початку і кінця розпаду аустеніту на Φ -Ц суміш вправо

Вуглецеві сталі мають високу критичну швидкість гартування порядку $600 \dots 300 \text{ } ^\circ\text{C/s}$, а для багатьох легованих сталей вони складає $20 \dots 30 \text{ } ^\circ\text{C/s}$ і нижче. Необхідно враховувати, що легуючі елементи (ЛЕ) зменшують $V_{кр}$ лише у випадку якщо вони розчинені в аустеніті. Якщо ж вони знаходяться у вигляді карбідів, то навпаки, можуть її знижувати оскільки є готовими центрами розпаду аустеніту.

Температура початку (M_n) і кінця (M_k) мартенситного перетворення (мартенситні точки) постійні для даної марки сталі і не залежать від швидкості охолодження. Вуглець і легуючі елементи (крім кобальту і алюмінію) знижують температуру мартенситних точок (рис. 32-33), що призводить до наявності в структурі загартованої сталі залишкового аустеніту і зниження твердості та інших механічних властивостей сталі.

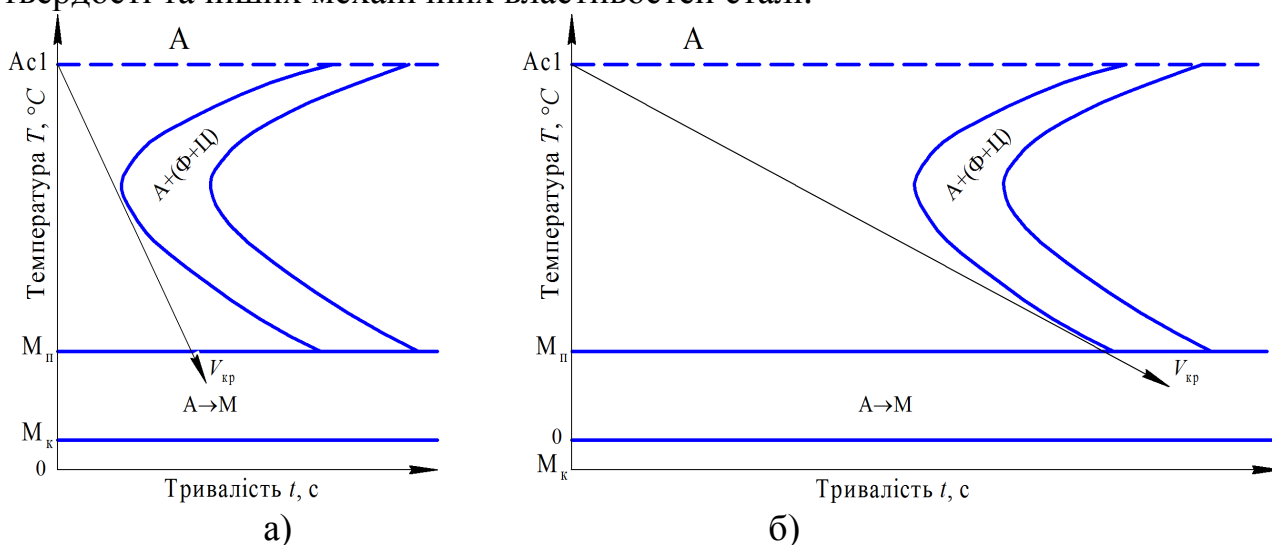


Рисунок 32 – Схема зниження температури мартенситних точок (M_n і M_k):
а – вуглецеві сталі; б – леговані сталі

Наприклад в сталі, що містить $0,6\%C$, кількість залишкового аустеніту $A_{зал}$ менше 10% ; при вмісті $1,3 \dots 1,5\%C$ кількість залишкового аустеніту $A_{зал}$

порядку 30...50%, для легованої сталі з вмістом 12% хрому (Сталь Х12) $A_{\text{зал}}$ становить 80%. Вимірювальні інструменти (наприклад калібри) виготовлені з такої сталі з часом, у результаті поступового розпаду залишкового аустеніту, може збільшити об'єм та лінійні розміри.

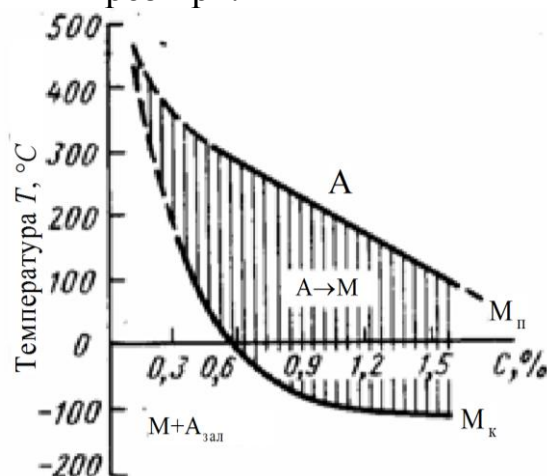


Рисунок 33 – Вплив вмісту вуглецю на положення температур початку і кінця мартенситного перетворення $M_{\text{п}}$ і $M_{\text{к}}$

Твердість мартенситу і відповідно загартованих сталей залежить від кількості вуглецю і мало залежить від легуючих елементів (рис. 34). Зі збільшенням кількості вуглецю твердість, міцність, крихкість мартенситу зростають.

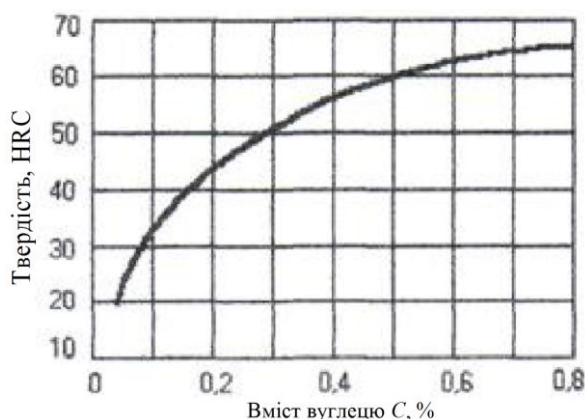


Рисунок 34 – Залежність твердості мартенситу від вмісту вуглецю в сталі

Перетворення аустеніту в мартенсит носить голчастий характер і супроводжується збільшенням об'єму (рис. 35). Розмір голок мартенситу визначається розмірами зерна аустеніту.

Збільшення питомого об'єму при розпаді залишкового аустеніту є причиною виникнення значних внутрішніх напружень при гартуванні, що призводить до деформування виробів та утворення тріщин.

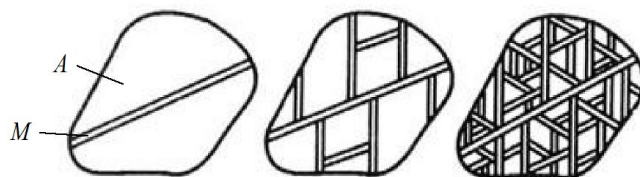


Рисунок 35 – Схема утворення мартенситних пластин в аустенітному зерні

Одним із ефективних способів зниження вмісту залишкового аустеніту в структурі загартованої сталі є обробка холодом у зрідженому азоті при температурі $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Запитання для самопідготовки та закріплення набутих знань:

1. Які перетворення відбуваються при нагріванні сталі?
2. Які сталі називаються спадково крупнозернистими і спадково дрібнозернистими? Від чого це залежить?
3. Як впливає величина зерна на властивості сталі?
4. Що називається перегріванням сталі?
5. Які перетворення відбуваються в переохолодженому аустеніті при його ізотермічній витримці?
6. Яка структура утворюється в зоні перлітного перетворення?
7. Що таке перліт, сорбіт, тростит? Чим вони різняться?
8. Що таке мартенсит? Яку природу він має? Якими властивостями характеризується?
9. При яких умовах утворюється мартенсит?
10. Яка природа бейнітного перетворення?
11. Які структури утворюються при неперервному охолодженні сталі з аустенітного стану?
12. Яка швидкість охолодження при мартенситному перетворенні називається критичною?

Рекомендована література: [3, 4]

2.6 Лекція 6. Технологія термічної обробки сталі та чавуну.

План висвітлення матеріалу лекції

1. Температура гартування сталей і тривалість нагрівання.
2. Охолоджуючі середовища для гартування.
3. Загартовуваність і прогартовуваність сталей.
4. Види гартування в залежності від способу охолодження. Обробка сталі холодом.
5. Види відпалу і нормалізація.
6. Відпускання загартованих сталей. Види відпускання сталі. Вплив легуючих елементів при відпусканні.
7. Термічна обробка чавуну.
8. Термомеханічна обробка сталі.
9. Дефекти термічної обробки.

Основні терміни: гартування, вуглець, твердість, глибина, швидкість, середовище,

Методичні поради до вивчення лекції

При вивченні теми з'ясовується мета та призначення кожного виду термічної обробки, які фазові і структурні перетворення протікають в сталі на всіх стадіях термічної обробки і які зміни відбуваються в структурі і властивостях, вплив легуючих елементів на температуру фазових перетворень, прогартовуваність сталі, критичну швидкість гартування. Пояснити, що вибір способу гартування визначається маркою сталі, конфігурацією вибору і необхідними технічними умовами. Термомеханічна обробка використовується як спосіб зниження металоємкості виробів та підвищення їх строку служби.

Короткий зміст лекції

В залежності від мети і режимів, розрізняють наступні основні види термічної обробки сталей: 1. Гартування; 2. Відпускання; 3. Хіміко-термічна обробка (ХТО); 4. Відпал I роду; 5. Відпал II роду. 6. Термомеханічна обробка (ТМО).

1. Температура гартування сталей і тривалість нагрівання.

Метою гартування є підвищення твердості, міцності і зносостійкості. Оскільки мартенсит може бути отриманий лише в результаті перетворення аустеніту, то очевидно, що нагрівання необхідно проводити до переходу структури до аустенітного стану. Значення температур термічної обробки точки вибирають за довідниками або по діаграмі стану залізо-вуглець (рис. 41).

Температура нагрівання вибирається в залежності від хімічного складу (в першу чергу, вмісту вуглецю) сталі. При гартуванні, сталі нагрівають вище точки A_{c1} або A_{c3} , витримують і швидко охолоджують.

Кінцева структура і механічні властивості загартованої сталі залежить від: хімічного складу; температури нагрівання; часу витримки і швидкості охолодження.

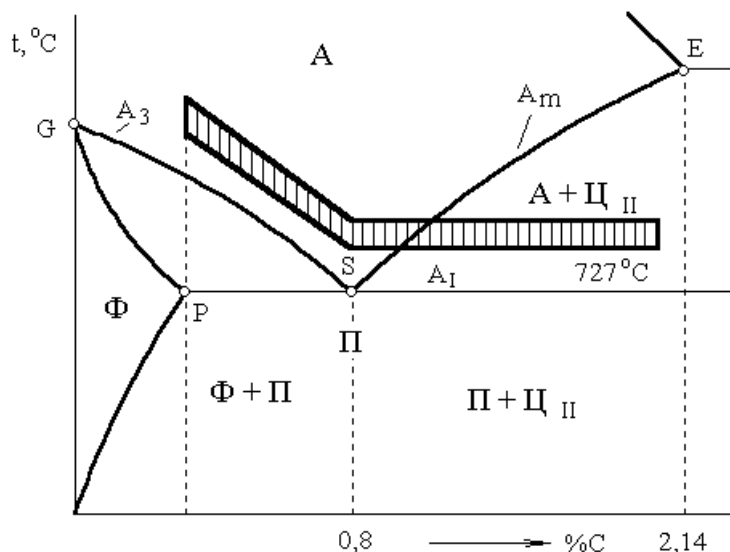


Рисунок 41 – Оптимальний інтервал температур гартування вуглецевих сталей

Доевтектоїдні сталі слід нагрівати на 30...50°C вище точки Ac3. При охолодженні зі швидкістю більшою за критичну буде отримана мартенситна структура ($A \rightarrow M$). Нагріваючи вище точки Ac1, але нижче Ac3 подальше гартування призводить до того, що в структурі разом з мартенситом буде присутнім ферит. Наявність фериту знижує твердість сталі. Таке гартування називається *неповним*. Нагрівання значно вище точки Ac3 веде до зростання розмірів зерна і отримання після гартуванні крупногольчатого мартенситу.

Заевтектоїдні сталі слід нагрівати на 30...50°C вище точки Ac1. Після гартування в структурі разом з мартенситом будуть присутні вторинні карбіди, що мають більшу твердість ніж мартенсит та забезпечують додаткове підвищення зносостійкості сталі. У сталях, що містять більше 0,6%С, після гартування в структурі буде також залишковий аустеніт $A_{\text{зал}}$. Нагрівання вище точки Ac_m призведе до зниження твердості після гартування через відсутність у результаті розчинення вторинних карбідів і наявності підвищеної кількості залишкового аустеніту. Крім того, нагрівання до більш високих температур призводить до утворення крупногольчатого мартенситу і, як наслідок, до підвищеної крихкості при меншій твердості. Таким чином, доевтектоїдні сталі піддають повному гартуванню $Ac3 + 30...50^\circ\text{C}$; заевтектоїдні – неповному $Ac1 + 30...50^\circ\text{C}$.

Леговані сталі нагрівають до більш високих температур, ніж вуглецеві. Температура нагрівання легованих сталей під гартування залежить від кількості і характеру легуючих елементів.

Тривалість нагрівання. Тривалість та швидкість нагрівання залежить від форми і розмірів виробів, хімічного складу сталі, способу укладання виробів в піч, виду теплової енергії (палива) тощо. Швидкість нагрівання зазвичай менша для високовуглецевих легованих сталей та деталей складної конфігурації.

Нагрівання може здійснюватися у печах, розплавлених солях ($BaCl_2$, $NaCl$, KCl), розплавлених металах. При нагріванні слід здійснювати заходи для захисту поверхонь виробу від окиснення і знеуглецювання.

2. Охолоджуючі середовища для гартування.

Середовище для гартування повинне забезпечити критичну швидкості гартування. В якості середовища для охолодження використовують: воду, водні розчини солей та лугів, мінеральну оливу, розплави солей.

Кожне з цих середовищ забезпечує певну швидкість охолодження. Вода, забезпечує високу швидкість охолодження (до $800^{\circ}\text{C}/\text{с}$), що завжди достатньо для досягнення критичної швидкості гартування. Але така висока швидкість охолодження може стати причиною виникнення значних внутрішніх напружень, деформації виробів та утворення тріщин.

Водні розчини солей і лугів, також забезпечують високу швидкість охолодження, та менш чутливі до зміни температури охолоджуючого середовища. Воду і водні розчини солей застосовують при гартуванні вуглецевих і деяких низьколегованих сталей.

Мінеральні оливи забезпечують охолодження з меншою швидкістю ($150\ldots 200^{\circ}\text{C}/\text{с}$). Це дозволяє знизити рівень утворення дефектів при гартуванні, але така швидкість охолодження є недостатньою при гартуванні вуглецевих сталей. Тому мінеральні оливи застосовують для гартування легованих сталей.

До недоліків олив слід віднести: можливість займання при гартуванні великорозмірних виробів, зміна їх мінералогічного складу в процесі використання, загуснення.

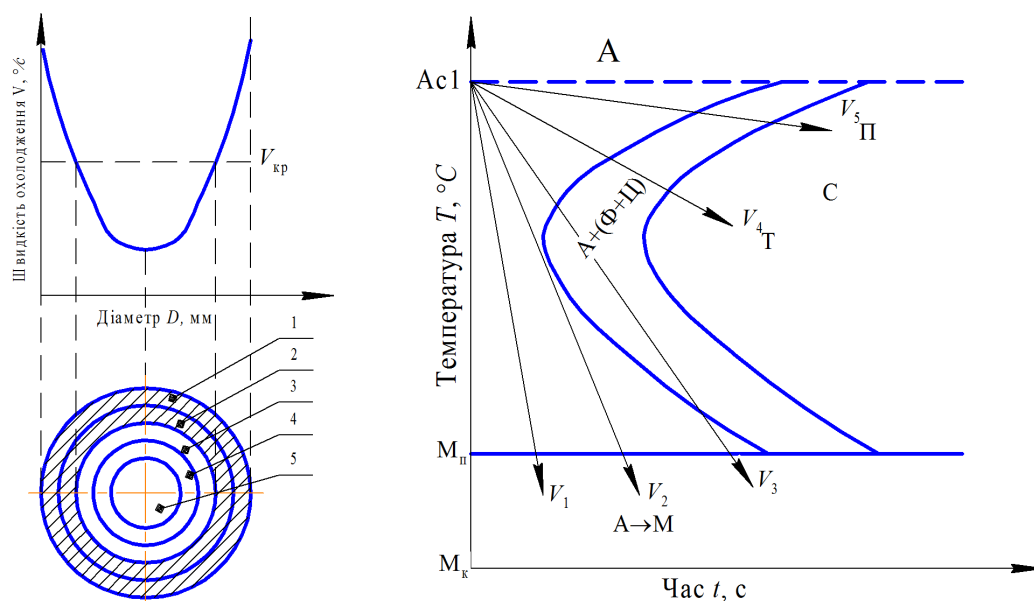
Повітря як середовище гартування – застосовується тільки для високолегованих сталей дуже малою критичною швидкістю гартування.

3. Загартовуваність і прогартовуваність сталей.

Загартовуваність сталі – це властивість сталі сприймати гартування, тобто підвищувати твердість при гартуванні. Вона залежить, головним чином, від вмісту вуглецю. Чим вищий вміст вуглецю, тим більша твердість при гартуванні. Легуючі елементи практично не впливають на загартовуваність. Наприклад, у випадку якщо була забезпечена критична швидкість гартування, то твердість сталі 60 буде вищою, ніж сталі 40 або 30 ХГТ тощо.

Прогартовуваність – це здатність сталі гартуватися на певну глибину. Прогартовуваність визначається критичною швидкістю охолодження. При охолодженні в певному середовищі (наприклад, воді) швидкість охолодження циліндричного зразка по перерізу зразка буде неоднаковою (рис. 42).

Зовнішній шар заготовки охолоджується з максимальною швидкістю, а кожен наступний внутрішній шар – з меншою. В областях зразка 1 і 2 буде структура мартенситу; в 3-й області троститомартенсит; у 4-й області тростит; у 5-й області гартування не відбудеться.



1, 2, 3, 4, 5 – швидкістю охолодження відповідно V_1 ; V_2 ; V_3 ; V_4 ; V_5 ;

Рисунок 42 – залежність зміни швидкості охолодження по перерізу зразка
Схема впливу швидкості охолодження на продукти розпаду аустеніту при
неперервному охолодженні

Відповідно і твердість зразка по перерізу буде різною: максимальною на поверхні а мінімальною біля серцевини. За глибину гартування, як правило, приймають відстань від поверхні до так званої напівмартенситної зони, що складається з 50 % мартенситу і 50 % троститу. Вимірюючи послідовно твердість від поверхні до серцевини визначають межі напівмартенситної зони. Твердість напівмартенситної зони залежить від вмісту вуглецю. Наприклад: при вмісті вуглецю 0,3% твердість становить близько 35 HRC; при 0,45% – 45 HRC; при 0,50% – 50 HRC.

При певній швидкості охолодження (наприклад тільки у воді або в оливі) прогартуваність сталі тим вища, чим менша критична швидкість гартування, чим вища стійкість аустеніту. Леговані сталі, у порівнянні з вуглецевими, при охолодженні з однаковою швидкістю гартуватимуться на більшу глибину. Найбільш сильно підвищують прогартуваність такі легуючі елементи як *Mn*, *Cr*, *Mo*. Якщо сталь 60 має критичний діаметр гартування 10 мм, то сталь 60Г - 40 мм, а сталь 60ХНМ - 120 мм.

Прогартуваність збільшується у тому випадку, якщо легуючі елементи розчинені в аустеніті. Якщо ж вони знаходяться у вигляді хімічних з'єднань (карбідів), то прогартуваність буде навіть знижуватися. В цьому випадку карбіди знижують стійкість аустеніту, виконуючи роль готових центрів розпаду аустеніту на ферито-карбідну суміш.

Зі збільшенням розмірів аустенітного зерна прогартування зростає. Оскільки аустенітне зерно росте з підвищенням температури, то на практиці одним із способів підвищення прогартування є нагрівання при гартуванні до більш високих температур або збільшення часу витримки.

4. Види гартування від способу охолодження.

При гартуванні необхідно прагнути до такого способу охолодження, щоб забезпечити отримання мартенситної структури і звести до мінімуму термічні і фазові напруження.

Залежно від хімічного складу сталі, форми і розмірів виробів застосовують декілька різних способів гартування (рис. 43).

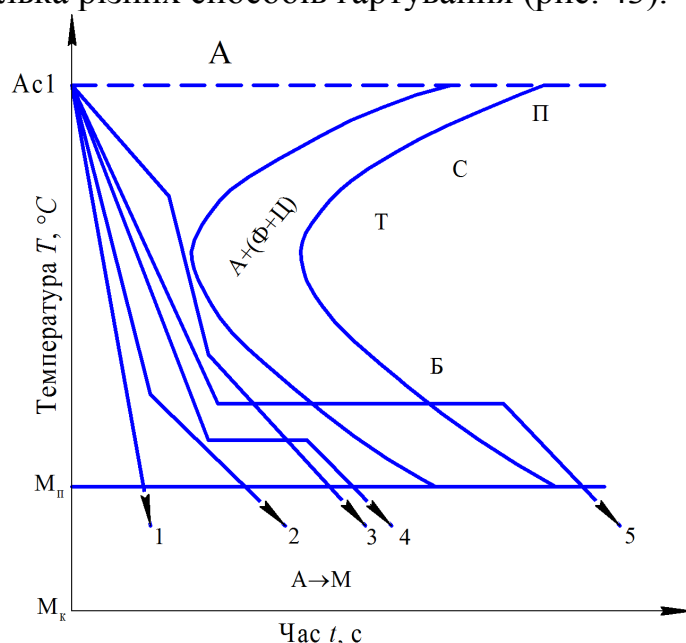


Рисунок 43 – Способи охолодження при гартуванні

При безперервному гартуванні (в одному середовищі) (рис. 43 лінія 1), охолодження здійснюють у воді чи оливі. Це найбільш простий і доступний спосіб, але при гартуванні у воді можливе виникнення значних деформацій і тріщин.

У випадку переривчастого гартування (у двох середовищах) (рис. 43 крива 2), виріб спочатку охолоджують у воді до температури дещо вище точки M_p а потім переносять в інше середовище з більш повільною швидкістю охолодження (олива, повітря). Таким чином в області температур мартенситного перетворення досягається зниження рівня внутрішніх напружень.

Найкращі результати досягаються при гартуванні з підстуджуванням (у трьох середовищах) повітря - вода - олива (повітря) (рис. 43 крива 3). Цей спосіб близький до "ідеального" гартування, але застосовувати його технологічно можливо лише в умовах дрібносерійного виробництва.

При ступінчастому гартуванні (рис. 43 крива 4) виріб швидко охолоджують (зазвичай в розплавах солей) до температури дещо вищої за точку M_p витримують нетривалий час і охолоджують на повітрі. В результаті витримки температура, по перерізу виробу вирівнюється, знімаються термічні напруження. Проте витримка не повинна перевищувати період стійкості аустеніту при цій температурі, інакше відбудеться розпад аустеніту на феритно-цементитну суміш. Такий спосіб гартування частіше застосовується для виробів

з легованих сталей та виробів невеликих розмірів (перерізом не більше 8...10 мм).

У випадку ізотермічного гартування (рис. 43 крива 5) виріб переносять в розплав солі з температурою вище точки $M_{\text{п}}$ і витримують до повного перетворення аустеніту на бейніт. При такому гартуванні напруження практично відсутні, відпадає необхідність у проведенні подальшого відпускання і забезпечується висока міцність при достатній в'язкості. Ізотермічному гартуванню піддають, як правило, вироби з легованих сталей, високоміцні чавуни.

Обробка сталі холодом. У структурі загартованих сталей, що містять більше 0,6 %С, особливо в легованих сталях, є присутнім залишковий аустеніт. Його кількість може досягати 10...15 % в низьколегованих сталях; до 30 % – високовуглецевих і високолегованих сталях, а в таких сталях як X12M, X12Ф – до 70 %. Наявність залишкового аустеніту обумовлена, головним чином тим, що легуючі елементи і вуглець знижують точку мартенситного перетворення $M_{\text{к}}$ в ділянку мінусових температур.

Аустеніт знижує твердість, зносостійкість, а також викликає неконтрольовану зміну розмірів деталей з часом. Для усунення шкідливого впливу залишкового аустеніту застосовується обробка холодом (рис. 44).

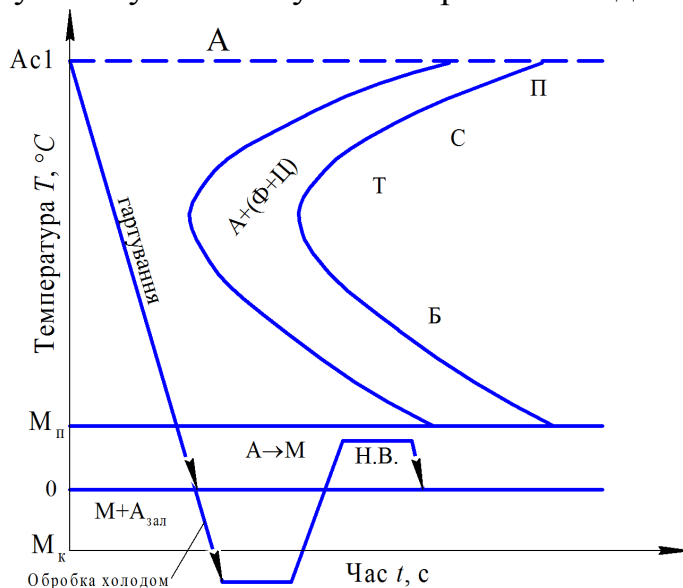


Рисунок 44 – Схема обробки сталі холодом

Обробка холодом полягає в охолодженні виробів після гартування до температури нижче точки $M_{\text{к}}$. Для обробки холодом використовують рідкий азот, та ін. Після обробки холодом проводять низьке відпускання для зняття напружень. Обробку холодом застосовують, головним чином, для вимірювального, ріжучого інструменту, а також деяких деталей з високолегованих сталей після цементації.

5. Види відпал і нормалізація.

На практиці розрізняють два принципово різних види відпалу: відпал I роду та відпал II роду.

Відпал I роду. Це операція термічної обробки при якій метал, що має нестійкий стан, нагрівають нижче температур фазових перетворень (для сталей – нижче A_{c1} витримують і повільно охолоджується (разом з піччю)).

Розрізняють наступні операції відпалу I роду: низький відпал та відпал рекристалізації.

Низький відпал застосовується для зняття напруження, отриманих в результаті попередніх операцій обробки (зварювання, лиття, кування, обробки різанням). Ці напруження можуть бути:

- а) термічні, які виникають в результаті нерівномірного нагрівання і охолодження поверхні і серцевини виробу;
- б) механічні – внаслідок зміщення атомів в нерівноважне положення;
- в) фазові – в результаті переходу з одного фазового стану в інший, що супроводжується зміною об'єму.

Внутрішні напруження, поєднуючись із зовнішніми (робочими), можуть їх посилювати, що призводить до передчасного руйнування виробів при менших навантаженнях ніж ті, на які вони були розраховані.

Низький відпал або відпал для зняття напружень дуже поширена операція термообробки. Температура низького відпалу становить: для вуглецевої сталі – $550...680^{\circ}\text{C}$; латуні – $250...280^{\circ}\text{C}$; сірого чавуну – $450...600^{\circ}\text{C}$; бронзи – $200...220^{\circ}\text{C}$; міді – 450°C ; алюмінієвого сплаву – $280...320^{\circ}\text{C}$.

Такий відпал підвищує втомлену міцність, опір корозії, знижує схильність до крихкого руйнування, зменшує короблення і поводку виробів.

Рекристалізаційний відпал застосовується для зняття наклепу, що виник в результаті холодної пластичної деформації. Температура рекристалізації відпалу дорівнює: $T_{\text{рек}} = a \cdot T_{\text{пл}}$, де $a = 0,2...0,8$ (для сталей $a = 0,4$). Температура рекристалізації становить: для вольфраму складає 1200°C ; титану, заліза – 450°C ; міді – 200°C ; алюмінію – 100°C ; цинку – 20°C ; свинцю, олова – нижче кімнатної

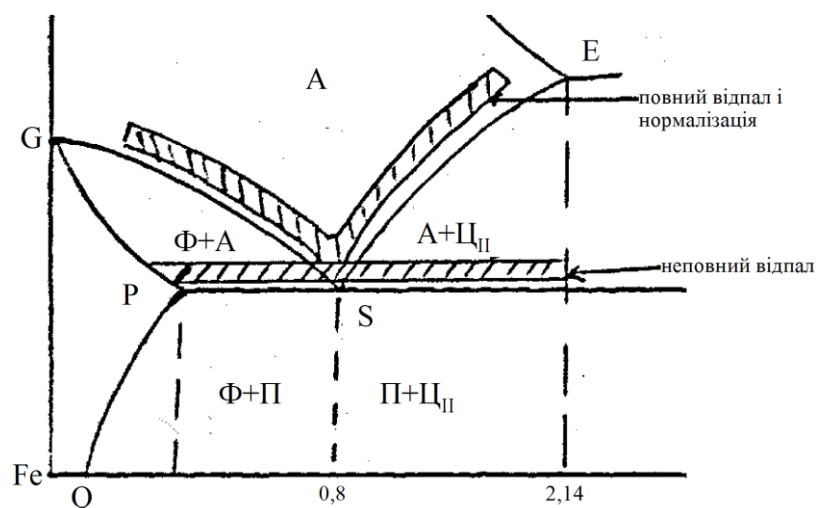


Рисунок 36 – Область температур нагрівання сталі при різних видах відпалу і нормалізації

Відпал II роду – термічна обробка, при якій сталь нагрівають вище критичних точок A_{c1} або A_{c3} витримують, а потім повільно охолоджують. Відпал II роду поділяється на наступні види: неповний відпал; повний відпал;

нормалізацію; відпал на зернистий перліт (сфероїдизацію); ізотермічний відпал; дифузійний відпал.

При *неповному відпалі* сталь нагрівають на 30...50°C вище за точку A_{c1} , витримують і повільно охолоджують. Застосовується неповний відпал для зняття напружень, пом'якшення сталей, поліпшення їх оброблюваності і для виправлення структури перегріву заєвтектоїдних сталей. Нагрівання на 30...50°C вище критичних точок потрібне для більш швидкого і повного протікання перетворення.

При повному відпалі сталь нагрівають на 30...50°C вище точки Ас3. Застосовують повний відпал для зняття напружень, пом'якшення сталей, покращення їх оброблюваності, виправлення дефектної структури перегріву після гарячої обробки і відливок з доевтектоїдних сталей (відманштетової, рядкової структури). Для заевтектоїдних сталей повний відпал не застосовують.

При *нормалізації* сталь нагрівають до температур повного відпалу ($A_{c3}+50^{\circ}\text{C}$), витримують і охолоджують на повітрі (рис. 37).

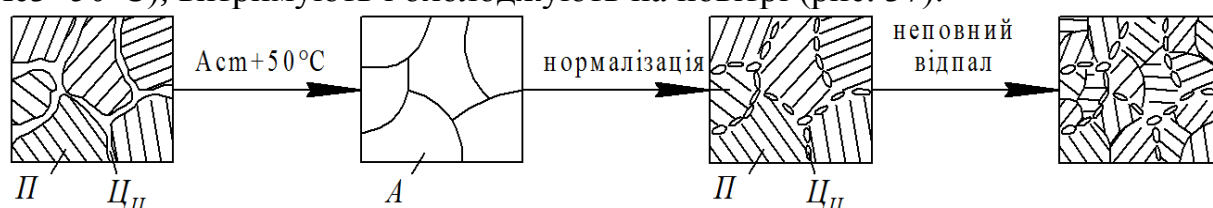


Рисунок 37 – Схема структурних перетворень при нормалізації

Прискорене охолодження на повітрі призводить до підвищення дисперсності утвореної феритно-цементитної суміші, а це приводить до підвищення твердості і міцності. Нормалізація в порівнянні з відпалом, є більш економічною операцією, оскільки ефективніше використовується термічне устаткування. Нормалізація сприяє усуненню цементитної сітки в заевтектоїдній сталі, оскільки при охолодженні на повітрі вона не встигає утворитися. Нормалізацію часто призначають замість повного відпалу.

Відпал на зернистий перліт призначається з метою перетворення пластинчатого перліту в зернистий. Сталь з зернистим перлітом має більш високу ударну в'язкість і витривалість (рис. 38).

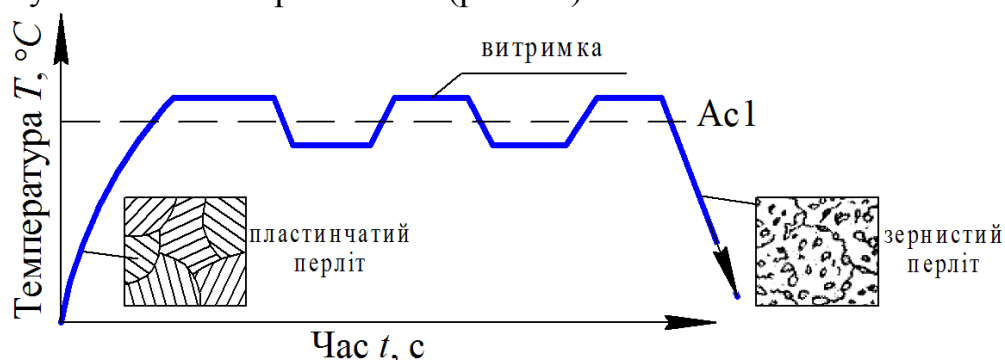


Рисунок 38 – Схема відпалу сталі на зернистий перліт

При цьому виді термічної обробки сталь нагрівають на $20...30^{\circ}$ вище точки A_{c1} , короткочасно витримують, охолоджують на $20...30^{\circ}$ нижче точки A_{c1} , витримують, знову нагрівають і т.д. (маятниковий відпал). Цей вид відпалу рекомендується для евтектоїдних і заевтектоїдних сталей. Для

доевтектоїдних сталей у зв'язку з неповною перекристалізацією ефект відпалу на зернистий перліт незначний. Для інструментальних сталей оптимальною є структура зернистого перліту.

Ізотермічний відпал застосовується головним чином для легованих сталей. При ізотермічному відпалі сталь нагрівають вище точок A_{c1} або A_{c3} (в залежності від марки сталі), витримують при цій температурі, охолоджують на $20...40^\circ$ нижче точки A_{c1} (переносять в іншу піч) і витримують при цій температурі до завершення повного перетворення, а потім охолоджують на повітрі. Після ізотермічного відпалу отримують більш однорідну структуру.

Дифузійний відпал (гомогенізація) застосовується для вирівнювання хімічної неоднорідності (шляхом дифузії) у відливках і зливках. На практиці сталь нагрівають до $1100...1150^\circ\text{C}$, тривалий час витримують (15...20 годин) і повільно охолоджують з піччю. Загальна тривалість відпалу складає 80 годин.

6. Відпускання загартованих сталей.

Після гартування сталі отримують, як правило, нерівноважну структуру мартенситу і залишкового аустеніту (у високовуглецевих сталях є ще і вторинні карбіди). При нагріванні нестійкі структурні складові – мартенсит і залишковий аустеніт перетворюються на більш стійкі, відбувається зняття внутрішніх напружень і зміна механічних властивостей. Така операція термічної обробки називається відпусканням. При відпусканні загартовану сталь нагрівають нижче точки A_{c1} , витримують, а потім, як правило, повільно охолоджують.

Твердість, при цьому знижується і підвищується в'язкість. На швидкість і повноту розпаду перенасичених твердих розчинів впливають температура нагрівання і вміст легуючих елементів.

Перетворення при відпусканні загартованих сталей. Структура сталей після гартування: $M_{\text{гар}}$ – в доевтектоїдних; $M_{\text{гар}} + K_{\text{II}} + A_{\text{зал}}$ – заевтектоїдних. При відпусканні загартованої сталі спостерігаються чотири основні перетворення:

I – перетворення – розпад мартенситу, протікає при температурах до $200...250^\circ\text{C}$. При нагріванні до $80...100^\circ\text{C}$ в мартенситі виникає концентраційна неоднорідність – утворюються ділянки, збагачені вуглецем, які не мають певної кристалічної ґратки, а є скупченням атомів, які називаються зонами Гінґе-Престона. При більш високих температурах ($150...200^\circ\text{C}$) відбувається виділення вуглецю з ґраток мартенситу, що приводить до зменшення тетрагона останнього.

Вуглець виділяється у вигляді ε -карбідів (Fe_xC), які когерентно пов'язані з ґраткою α -розчину і утворюється структура, яка називається мартенситом відпускання (I-е перетворення $M_{\text{гар}} \rightarrow M_{\text{в}}$). Це перенасичений розчин вуглецю в α -залізі з включеннями дисперсних ε – карбідів. Мартенсит відпускання має високу твердість (лише на 2...3 одиниці HRC нижче, ніж після гартування), підвищену міцність і меншу крихкість.

II – перетворення залишкового аустеніту відбувається при температурах $250...300^\circ\text{C}$, коли залишковий аустеніт перетворюється на мартенсит відпускання. Це перетворення характерне для високолегованих сталей, де

кількість залишкового аустеніту досягає 30...50%, і може привести до збільшення об'єму і підвищення твердості ($A_{\text{зал}} \rightarrow M_{\text{в}}$).

III – перетворення відбувається при нагріванні до 300...450°C з протіканням наступних процесів:

1. Надлишковий вуглець повністю виділяється з твердого α - розчину з утворенням карбіду Fe_xC .
2. Карбід Fe_xC перетворюється на Fe_3C .
3. Порушується когерентний зв'язок між карбідами і α – розчином.
4. Значно знижується рівень внутрішніх напружень.

В результаті III – перетворення при відпусканні утворюється феритно-цементитна суміш високої дисперсності, яка називається тростит відпускання ($M_{\text{в}} \rightarrow T_{\text{в}}$).

IV – перетворення відбувається при температурі 500...650°C. При нагріванні до цих температур відбувається укрупнення карбідів і їх округлення. В результаті отримується феритно-цементитна суміш – сорбіт відпускання. У порівнянні з троститом відпускання, твердість ще більше знижується і різко підвищується в'язкість при збереженні високої міцності ($T_{\text{в}} \rightarrow C_{\text{в}}$). При подальшому підвищенні температури (до 700°C) внаслідок коагуляції карбідів утворюється зернистий перліт.

Загальна схема перетворень при відпусканні має наступний вигляд:
 $M_{\text{гар}} \rightarrow M_{\text{в}} \rightarrow T_{\text{в}} \rightarrow C_{\text{в}}$.

Види відпускання сталі. Відпусканню піддають вироби після гартування залежно від їх призначення і необхідних властивостей. При відпусканні знімаються напруження (повністю або частково) знижується твердість і крихкість, підвищується в'язкість. На практиці існують три технологічні види відпускання: низьке, середнє і високе.

Низьке відпускання проводиться при температурах 150...250 °C. Призначення: знизити внутрішні напруження, дещо підвищити в'язкість при збереженні високої твердості і міцності. Твердість після низького відпускання зберігається практично такою ж, як і після гартування (58...63 HRC). Структура: для доевтектоїдних сталей – мартенсит відпускання ($M_{\text{в}}$), для заевтектоїдних сталей – мартенсит відпускання і карбіди ($M_{\text{в}} + K_{\text{II}}$).

Застосовують для різального, вимірювального і ударно-штампового інструменту, а також деталей машин після поверхневого гартування або хіміко-термічної обробки (цементації, нітроцементації).

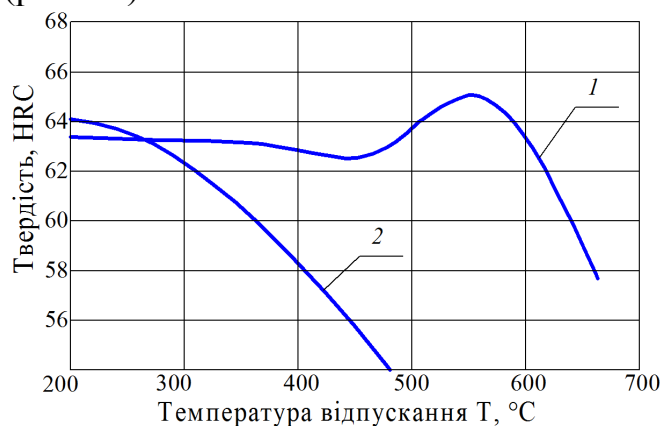
Середнє відпускання проводиться при температурах 350...450°C. Така термічна обробка призначена для забезпечення високої межі міцності, пружності і витривалості при достатній твердості. Структура; тростит відпускання $T_{\text{в}}$ (твердість 40...50 HRC). Середнє відпускання застосовують для пружин, ресор, а також деяких видів штампів.

Високе відпускання проводиться при температурі 500...650°C. Призначення: зняти внутрішні напруження, значно підвищити ударну в'язкість при збереженні високих меж міцності і витривалості. Структура – сорбіт відпускання ($C_{\text{в}}$). Застосовують для деталей машин, що працюють при

знакозмінних, динамічних навантажень (вали, вісі, шатуни, важелі, та ін.), а також для штамів гарячої деформації. Після гартування і високого відпускання в сталях отримують найкраще поєднання комплексу механічних властивостей: міцності, в'язкості, витривалості, пружності і при достатній твердості. Обробка гартування з послідовним високим відпусканням називається *поліпшенням*.

Тростит і сорбіт відпускання в порівнянні з троститом і сорбітом гартування мають дещо меншу твердість і міцність, значно більш високу ударну в'язкість, що підвищує надійність і довговічність деталей машин, які працюють при знакозмінних навантаженнях.

Вплив легуючих елементів при відпусканні. Майже усі легуючі елементи, ускладнюють дифузію вуглецю в α -розчині, затримують перетворення при відпусканні і зсувають їх в ділянку більш високих температур, особливо це характерно для *W*, *V*, *Mo*, *Cr*. Внаслідок цього, розпад мартенситу протікає при більш високих температурах і до цих же температур зберігається висока твердість. Наприклад: в інструментальній сталі P18 (18% хрому) розпад мартенситу затримується до 550...600°C, що дозволяє збільшувати швидкість різання. Перетворення великої кількості ($\approx 30\%$) залишкового аустеніту на мартенсит відпускання призводить до істотного підвищення твердості (рис. 45).



1 – Сталь P18; 2 – Сталь Y10

Рисунок 45 – Зміна твердості при відпусканні інструментальних сталей

7. Термічна обробка чавуну.

Термічну обробку чавуну призначають для зняття ливарних напружень, стабілізації розмірів, зниження твердості і поліпшення оброблюваності, а також для підвищення міцності та зносостійкості.

1. Відпал для зняття напружень і стабілізації розмірів. Температура і час відпалу залежать від марки чавуну і розмірів відливок. Для сірого чавуну температура відпалу 500...570 °C, а для високоміцного 550...650°C. Охолодження здійснюється повільно, разом з піччю.

2. Графітізуючий (пом'якшувальний) відпал призначають для деяких тонкостінних відливок у яких в поверхневому шарі утворюється структура білого чавуну, що ускладнює механічну обробку. Для усунення цього недоліку призначають високотемпературний відпал 900...960°C, при якому відбувається

графітизація карбідів (розпад на графіт і залізо) у відбіленому або половинчастому чавуні.

3. Сфероїдизація (відпал на зернистий перліт). Метою такого відпалу є отримання високої міцності і деяке підвищення пластичності перлітних і високоміцних чавунів. Відпал проводять при температурі 720...740°C.

4. Нормалізація. Застосовують для підвищення механічних властивостей шляхом отримання у феритних і ферито-перлітних чавунах перлітової основи. При нагріванні до температури 850...950°C, частина графіту розчиняється в аустеніті, а після охолодження на повітрі у відливках утворюється перлітова структура. У відбіленому чавуні при нормалізації частково відбувається графітизація первинних карбідів.

5. Гартування і відпускання чавуну. Гартуванню піддають сірі і високоміцні чавуни. Метою гартування є підвищення твердості, міцності і зносостійкості. Нагрівають до температур 880...930°C і гартують в мінеральній оливі. Завдяки підвищеному вмісту в чавунах *Mn* і *Si*, які знижують критичну швидкість гартування, отримують структуру мартенситу. Потім проводять відпускання залежно від призначення деталі (250...600°C).

7. Термомеханічна обробка сталі.

Термомеханічна обробка (ТМО) відноситься до сучасних ефективних технологічних процесів, що дозволяють суттєво підвищити комплекс механічних властивостей сталей: підвищити міцність і в'язкість, знизити металоємність виробів. В результаті застосування ТМО міцність сталі в порівнянні із звичайною термічною обробкою підвищується на 25...40%, а ударна в'язкість більш ніж в 2 рази.

ТМО є послідовним нерозривним поєднанням в єдиному технологічному процесі пластичного деформування і гартування. Розрізняють два основні способи ТМО: високотемпературна (ВТМО) і низькотемпературна (НТМО).

При ВТМО (рис. 51 а) сталі нагрівають до аустенітного стану (вище A_{c3} , деформують (піддають куванню, плющенню, волочінню) і гартують. При деформації сталь наклепується (ступінь деформації 25...30%), підвищується щільність дислокацій. Після гартування утворюється високодисперсний (дрібноблочний) мартенсит, що і обумовлює більш високу його міцність в порівнянні із звичайним гартуванням. Після гартування слідує відпускання, що забезпечує задану міцність.

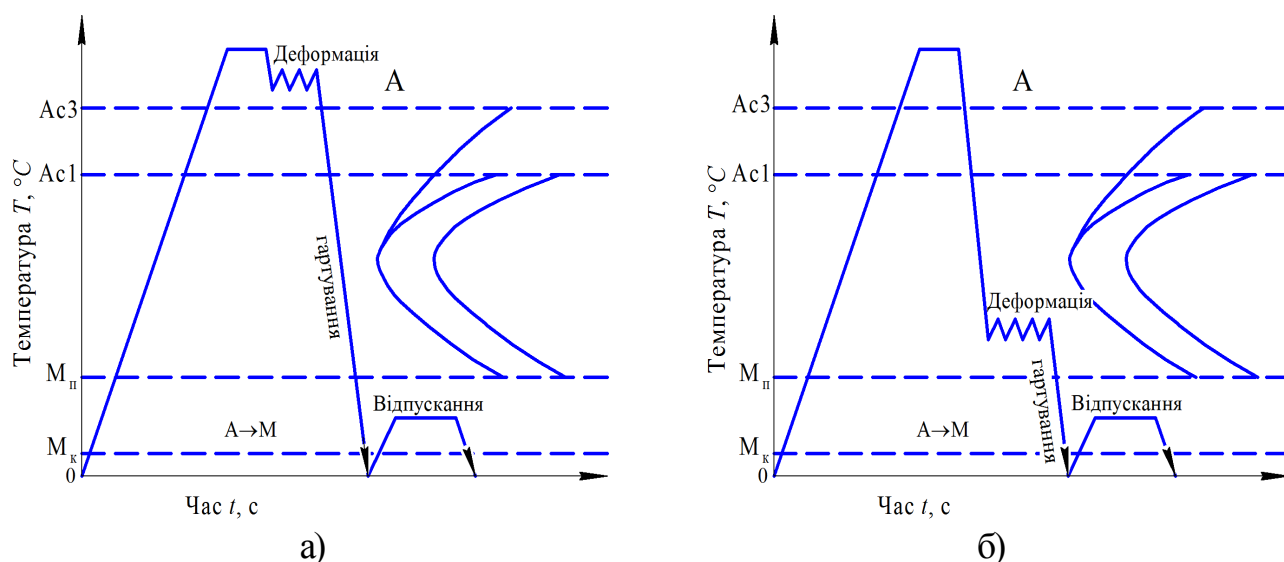


Рисунок 51 – Схема термомеханічної обробки сталі: а – ВТМО; б – НТМО

При НТМО (рис. 51 б) сталі нагрівають до аустенітного стану, переохолоджують в область відносної стійкості аустеніту, деформують (ступінь деформації 85...95 %) і гартують з послідовним відпусканням. Температура деформації має бути вище точки $M_{п}$, але нижче температури рекристалізації.

При ВТМО досягається більша в'язкість матеріалу. Наприклад, Сталь 45 після звичайного гартування має міцність σ_v близько 1500МПа, а після ТМО – 2000МПа. Найбільша міцність досягається при НТМО, але в цьому випадку вимагається застосування потужнішого пресового (прокатного) устаткування.

8. Дефекти термічної обробки.

До основних дефектів термічної обробки відносяться: деформація і викривлення, тріщини та відхилення від необхідних механічних властивостей.

Деформація, тобто зміна розмірів і форми виробів, відбувається внаслідок об'ємних змін та термічних напружень в результаті протікання фазових перетворень. *Викривлення* має місце при перегріванні і нерівномірному нагріванні, неправильному положенні виробу при зануренні в гартівне середовище, великій швидкості охолодження. Особливо схильні до викривлення різностінні та довгі і тонкі (ножі, пили, свердла, протяжки, довгі вали і вісі та ін.) деталі. За рівних умов, леговані сталі більш схильні до викривлення ніж вуглецеві.

В меншій мірі викривленню піддаються вироби із сталей, у яких при гартуванні утворюється підвищена кількість залишкового аустеніту, зарахунок меншого питомого об'єму.

Тріщини є наслідком значних термічних і фазових напружень. Схильність до утворення тріщин у сталей зростає зі збільшенням вмісту вуглецю і легуючих елементів, зростанням температури гартування та швидкості охолодження. Утворюються тріщини, головним чином, при охолодженні в мартенситному інтервалі ($M_{п}$ – $M_{к}$). Попередити утворення тріщин можна оптимальною конструкцією виробів, гартуванням з можливо нижчими

температурами, повільним охолодженням в мартенситному інтервалі температур і різними способами гартування.

Відхилення від заданих механічних властивостей, (зниження твердості в порівнянні з розрахунковою) може бути обумовлене недогріванням до оптимальних температур гартування в доевтектоїдних сталях (вище точки A_{c1} , але нижче точки A_{c3}), перегрівом в заевтектоїдних сталях (вище точки A_{cm} , замість вище точки A_{c1}), знеуглецюванням поверхневого шару сталі при тривалих витримках в печі з окислювальною атмосферою, а також при недостатній швидкості охолодження ($V_{охл} < V_{кр}$). Причиною зниження твердості також може бути завищені значення температури відпускання.

Для попередження поверхневого окиснення виробів необхідно дотримуватися оптимальних режимів термічної обробки, застосовувати захисні атмосфери, нагрівання і гартування у вакуумі та ін.

Запитання для самопідготовки та закріплення набутих знань:

1. Суть, мета і температурні режими гартування сталі?
 2. Чому для доевтектоїдних сталей застосовують повне гартування, а для заевтектоїдних неповне?
 3. Охолоджувальні середовища при гартуванні сталей?
 4. Що означає загартовуваність та прогартовуваність сталей?
 5. Вплив легуючих елементів на прогартовуваність і загартовуваність сталей?
 6. Способи гартування сталі?
 7. Суть і мета обробки сталі холодом сталей після гартування?
- Застосування?
8. Суть, мета та види відпалу сталі?
 9. Суть і мета нормалізації сталі?
 10. Суть, мета та режими повного відпалу сталі?
 11. Суть, мета та режими неповного відпалу сталі?
 12. Суть, мета та режими рекристалізаційного відпалу?
 13. Суть, мета та режими відпалу для усунення напружень в сталі?
 14. Суть, мета та види відпускання сталі?
 15. Суть, мета та способи термомеханічної обробки сталі?
 16. Вплив легуючих елементів при відпусканні?
 17. Види дефектів термічної обробки?

Рекомендована література: [3, 4]

2.7 Лекція 7. Поверхнєве термічне зміцнення сталей. Хіміко-термічна обробка.

План висвітлення матеріалу лекції

1. Основні методи поверхневого зміцнення.
2. Поверхнєве гартування. Гартування з застосуванням індукційного нагрівання СВЧ. Способи індукційного гартування. Газополуменеве гартування.
3. Хіміко-термічна обробка сталей. Цементация. Азотування. Ціанування (нітроцементация).
4. Механічне зміцнення. Зміцнення наклепуванням.

Основні терміни: поверхневий шар; глибина; частота струму; швидкість нагрівання; карбюризатор; насичуюче середовище.

Методичні поради до вивчення лекції

Для поверхневого зміцнення використовується гартування струмами високої частоти (СВЧ), газовим полум'ям, лазерним променем та хіміко-термічна обробка (ХТО): цементация, азотування, нітроцементация, металізація та ін. Розглядається механізм зміцнення поверхневого шару в процесі проведення цих видів зміцнення, їх переваги та недоліки. При ХТО відбувається насичення поверхні сталей різними хімічними елементами в поєднанні з термічною обробкою. При цьому реалізується можливість надання не тільки міцності і твердості поверхні, але й стійкості проти корозії та жаростійкості.

Короткий зміст лекції

1. Основні методи поверхневого зміцнення.

У багатьох випадках за умовами роботи деталі виникає необхідність мати підвищену твердість і зносостійкість тільки на поверхні деталі, тоді як внутрішня частина (серцевина) повинна залишатися міцною і в'язкою. Найчастіше це потрібно при виготовленні деталей машин, які працюють в умовах тертя при знакозмінних навантаженнях (зубчасті колеса, шестерні, вісі, вали, поршневі пальці тощо). У зв'язку з цим застосовуються різні методи поверхневого зміцнення (іноді у поєднанні з об'ємним): поверхнєве гартування; хіміко-термічна обробка; механічне зміцнення (нагартовування).

2. Поверхнєве гартування.

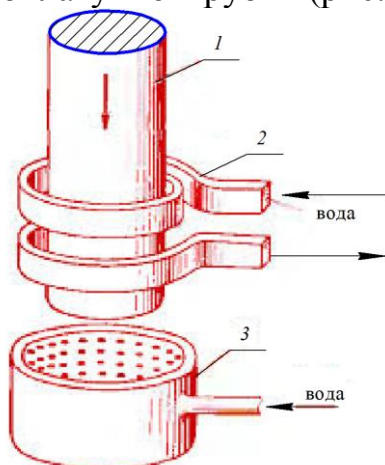
При поверхневому гартуванні на задану глибину гартується тільки поверхневий шар. Метою такого гартування є: підвищення твердості, зносостійкості і межі витривалості виробу, при цьому серцевина залишається в'язкою. На практиці застосовують наступні види поверхневого гартування:

- гартування з застосуванням індукційного нагрівання СВЧ;
- гартування з застосуванням газового полум'я (газополуменеве);
- гартування при електроконтактному нагріванні;

- нагрівання і гартування в електроліті;
- нагрівання і гартування в розплавах солей;
- лазерне гартування.

Гартування з застосуванням індукційного нагрівання СВЧ.

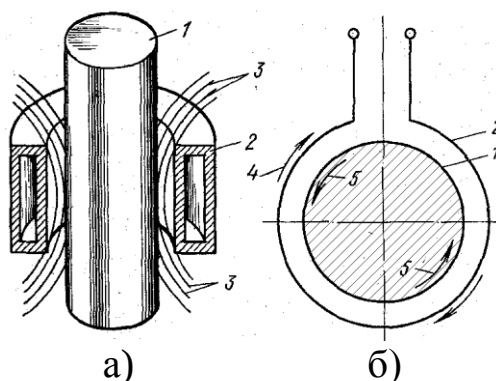
Гартування СВЧ полягає в тому, що деталь поміщають в спеціальне пристосування – індуктор, який являє собою один або декілька витків порожнистої водоохолоджуваної латунної трубки (рис. 46).



1 – деталь; 2 – індуктор; 3 – спре'єр

Рисунок 46 – Схема пристрою для гартування з нагріванням СВЧ

Через індуктор пропускають змінний струм з частотою $500 \dots 10^6$ Гц. Виникаюче змінне магнітне поле викликає виникнення в поверхневому шарі деталі, розміщеної в індукторі, вихрових струмів (рис. 47), що призводять до її розігрівання.



1 – деталь; 2 – виток індуктора; 3 – магнітні силові лінії; 4 – напрям струму в індукторі; 5 – напрям струму в деталі

Рисунок 47 – Схема індукційного нагрівання: а – розподілення магнітного потоку в індукторі; б – напрям струмів в індукторі і деталі;

Після розігрівання вироби гартують у відповідних середовищах. Глибина гартування визначається за формулою:

$$l = k \cdot \sqrt{\frac{\rho}{\mu \cdot f}}, \text{ см}$$

де k – 5030; ρ – питомий електроопір матеріалу деталі, Ом·см; μ – магнітна проникність, Н/А²; f – частота струму, Гц.

Чим вища частота струму, тим менша глибина загартованого шару. На практиці використовують машинні ($0,5 \cdot 10^2 \dots 10^4$) Гц, лампові та тиристорні ($10^5 \dots 10^6$) Гц генератори струму. Глибину гартування регулюють за часом витримки виробу в індукторі.

Оскільки швидкість індукційного нагрівання дуже висока ($250 \dots 1000$ °C/c) то для того, щоб встигли відбутися в сталі фазові перетворення ($P \rightarrow A$, $\Phi \rightarrow A$), необхідно нагрівати заготовку до більш високих температур, ніж при об'ємному (пічному) гартуванні. Якщо при пічному нагріванні доевтектоїдні сталі нагрівають до температур $A_{c3} + 30 \dots 50$ °C, то при індукційному $A_{c3} + 100 \dots 150$ °C. Зростання аустенітного зерна при цьому не відбувається, оскільки тривалість нагрівання дуже мала і аустеніт залишається дрібнозернистим. Охолодження виконують зануренням у воду, або в оливу. При застосуванні кільцевого душу (спре'єру) (рис. 46, поз. 3) швидкість охолодження помітно збільшується (до декількох тисяч °C/c). В результаті загартований шар має структуру дрібно-голчастого мартенситу. У поверхневих шарах створюються напруження розтягу-стиску, у зв'язку з чим їх втомна міцність підвищується в 1,5...2 рази.

Індукційне гартування застосовують як для вуглецевих, так і для низьколегованих сталей з вмістом $0,40 \dots 0,55\%C$. Спеціально для індукційного гартування виробляють сталі пониженої прогартуваності (ПП) або регламентованої прогартуваності (РП), наприклад сталь 55ПП, де сума $Mn, Si, Cr, Ni \leq 0,5\%$. Сталі класу ПП застосовують, коли необхідно отримати тонкий загартований шар. Сталі класу РП застосовуються, якщо разом з високою твердістю поверхні необхідно мати міцну і в'язку серцевину. Такі сталі піддають об'ємно-поверхневому гартуванню (ОПГ) нагріванням СВЧ по усьому перерізу деталі та охолодженням. В результаті на поверхні отримують мартенсит, а в серцевині сорбіт, що має високу міцність і в'язкість. Іноді деталі з низьколегованих сталей піддають поліпшенню, з послідовним поверхневим гартуванням. Після гартування деталі проходять відпускання для зняття напружень в печах, самовідпускання або електровідпусканню з застосуванням індукційного нагрівання.

Способи індукційного гартування. В залежності від конфігурації деталі і потужності генератора застосовують наступні способи нагрівання деталей: одночасний, безупинно-послідовний та послідовний.

Одночасний спосіб застосовується для гартування невеликих ділянок деталі, коли висота індуктора відповідає за розміром довжині ділянки гартування.

При безупинно - послідовному способі деталь, яка встановлена в нерухомому індукторі, здійснює складний рух: обертальний навколо своєї осі і поступальний, рухаючись зверху вниз, проходить через індуктор та охолоджувальний пристрій (гартування валів, довгих деталей).

При послідовному способі, поверхню деталі нагрівають і охолоджують частинами, наприклад, окремо кожен шийка колінчастого валу або кожен зуб крупномодульного зубчастого колеса.

До переваг індукційного гартування відноситься:

1. Висока продуктивність, що дозволяє застосовувати цей спосіб в масовому і серійному виробництві.
2. Досягнення більш високого комплексу механічних властивостей сталей виробів у порівнянні з об'ємним гартуванням.
3. Розміри деталей при такому гартуванні майже не змінюються, відсутнє викривлення, не утворюється окалина.
4. Можливість автоматизації і механізації праці, забезпечується висока культура виробництва та гарні умови праці.

Недоліки індукційного гартування:

1. Відносно висока вартість обладнання і нерентабельність при дрібносерійному (одиничному) виробництві.
2. Складність (іноді і неможливість) рівномірного гартування деталей складної конфігурації, а також деталей середніх і великих розмірів.

Газополуменеве гартування. Суть методу полягає в нагріванні поверхні деталей газовим полум'ям (горючі гази - ацетилен, природний газ) до температур вище на 50...60 °С точки A_{c3} з подальшим швидким охолодженням водяним душем. Нагрівання серцевини не відбувається і її структура не зміцнюється. Товщина загартованого шару знаходиться в межах 2...4 мм, твердість середньовуглецевих сталей після такої обробки складає 50...58 HRC. Даний спосіб застосовують в індивідуальному, дрібносерійному і ремонтному виробництві для зміцнення великих і габаритних деталей. Його перевагами є: простота устаткування, доступність, а недоліки – нестабільність результатів гартування, нерівномірність структури і необхідність висококваліфікованого виконання робіт.

Останнім часом отримує поширення термічна обробка поверхонь з надвисокими швидкостями нагрівання (понад 10000°C/с). До них відноситься лазерна і електронна термообробки, високочастотне імпульсне гартування. Відбувається локальне гартування (іноді з оплавленням) оброблюваної поверхні і відпускання. При цьому зменшуються витрати енергії, збільшується продуктивність обробки, зменшується деформація деталей. З цих способів на особливу увагу заслуговує лазерна обробка, випробувана в різних галузях промисловості. Застосовують її в автотракторній промисловості, сільськогосподарському машинобудуванні (гільзи циліндрів ДВЗ, коробки швидкостей, диференціалу заднього моста, що виготовляються з чавуну, лапи культиваторів, вкладиші комбайнів тощо). Мікротвердість фериту після лазерної обробки збільшується з 150 до 290 НВ, аустеніту – до 500...550 НВ. Особливо ефективна лазерна обробка інструменту з швидкоріжучої сталі, твердість якого досягає 69...70 HRC.

3. Хіміко-термічна обробка сталей.

Хіміко-термічною обробкою називається спосіб зміцнення, при якому в поверхневому шарі відбувається зміна хімічного складу і структури внаслідок насичення його різними хімічними елементами. В результаті насичення

зміцнюючими хімічними елементами забезпечується підвищення твердості, міцності, зносостійкості і корозійної стійкості, жаростійкості та ін. Для активного протікання процесу насичення необхідно щоб елементи у насичуючому середовищі знаходилися в атомарному стані. Процес ХТО складається з трьох стадій:

1. Дисоціація молекул насичувальних елементів на атоми.

2. Контактуювання атомів елементу з поверхнею і проникнення їх в ґратки металу деталей, наприклад, у заліза шляхом абсорбції.

3. Дифузія атомів насичувального елементу в глиб металу.

Кінцевий результат ХТО залежить від концентрації компонентів в насичуючому середовищі, хімічного складу сталі, температури і тривалості насичення і остаточної термічної обробки.

В залежності від складу насичувального середовища, розрізняють наступні основні види ХТО:

1. Цементация (насичення вуглецем).

2. Азотування (насичення азотом).

3. Нітроцементация (ціанування) – одночасне насичення вуглецем і азотом.

4. Борування (насичення бором).

5. Дифузійна металізація (хромом (Cr), алюмінієм (Al), кремнієм (Si) тощо).

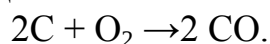
Цементация.

Суть методу полягає в дифузійному насиченні поверхневого шару атомами вуглецю. Насичуюче середовище при цементации називають *карбюризатором*. Проводять цементацию, головним чином, в твердому і газоподібному карбюризаторі. Мета цементации: підвищити твердість, міцність та зносостійкість поверхні при збереженні в'язкої пластичної серцевини. Цементации піддають деталі машин, які в процесі роботи зазнають знакозмінних навантажень та працюють в умовах тертя (наприклад, зубчасті колеса, вісі, поршневі пальці та ін.).

Цементации піддають маловуглецеві сталі (0,10...0,30 %C). Низький вміст вуглецю у складі такої сталі забезпечує отримання в'язкої серцевини.

Цементация в твердому карбюризаторі. В якості твердого карбюризатора використовують подрібнене деревинне вугілля, кам'яновугільний напівкокс і активуючі добавки $BaCO$, Na_2CO (10...40 %). Деталі вкладають в цементацийні ящики з нержавіючої сталі (рис. 47), закривають і герметизують. Після цього ящики поміщають в піч і нагрівають до температури 900...950°C. Тривалість цементации в залежності від необхідної товщини цементованого шару складає 6...14 годин.

При температурі цементации кисень повітря взаємодіє з деревним вугіллям, утворюючи оксид вуглецю:



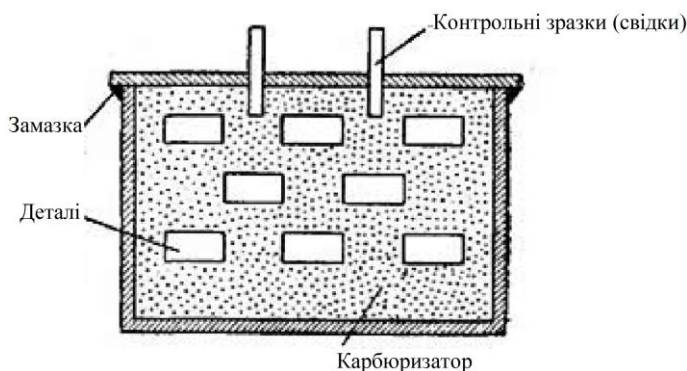
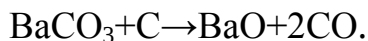


Рисунок 47 – Схема цементацийного ящика

У присутності розжареного заліза (деталі) оксид вуглецю дисоціює з утворенням атомарного $C_{ат}$, який насичує поверхню деталей:



Солі $BaCO_3$ і Na_2CO_3 активізують карбюризатор, збагачуючи атмосферу окисом вуглецю:



Товщина цементованого поверхневого шару складає порядку 0,8...1,5 мм, вміст вуглецю в якому 0,8...1,1%.

Після цементації ящики охолоджують на повітрі до 400...500°C і розкривають. По контрольних зразках (свідках), закладених в ящики разом з деталями, визначають товщину цементованого шару. Після цементації в поверхневому шарі утворюється заевтектоїдна сталь, а серцевині залишається доевтектоїдною сталлю (рис. 48). Частини деталей, що не потребують насичення вуглецем, покривають вогнетривкими обмазками.

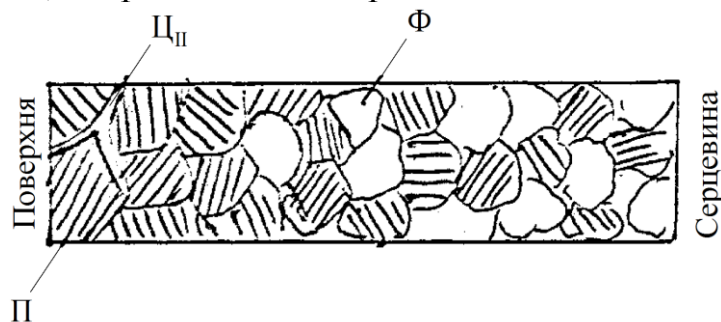


Рисунок 48 – Структура цементованого шару

Після цементації деталі з вуглецевих сталей підлягають гартуванню. Оскільки цементацію проводять при достатньо високих температурах (930...950°C), то отримується крупнозерниста структура. З метою подрібнення зерна і усунення цементитної сітки $Цп$ в поверхневому шарі та виправлення структури серцевини вуглецевих сталей, проводять спочатку нормалізацію при 880...910°C, потім виконують неповне гартування з 760...780°C для створення твердої міцної і зносостійкої поверхні та отримання дрібногольчастого мартенситу, та проводять низьке відпускання (150...180°C) для зняття напружень (рис. 49).

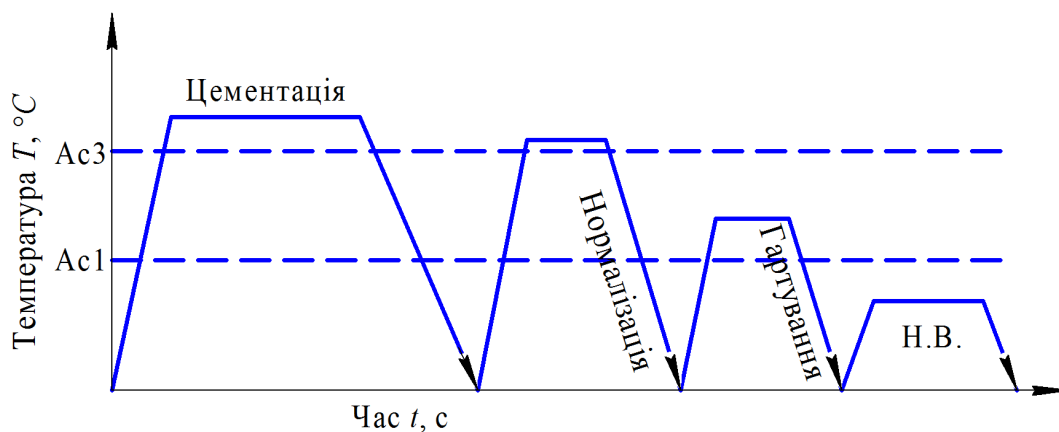


Рисунок 49 – Термічна обробка цементованих виробів

Після такої термічної обробки на поверхні деталі буде структура мартенситу (іноді з C_{II}), а в серцевині – $\Phi + П$.

Газова цементация. При такій цементації використовують вуглецевмісні гази: CH_4 ; C_2H_6 ; CO та ін. Використовуються також і рідкі речовини: гас, бензол, при розпаді яких утворюються вуглецевмісні карбюризуючі гази. В порівнянні з цементацією в твердому карбюризаторі газова цементация має ряд переваг: можливість механізації і автоматизації процесу, забезпечується контроль і регулювання насичуючої атмосфери. Газову цементацию широко використовують у серійному та масовому виробництві.

При газовій цементації гартування можна проводити безпосередньо з температури нагрівання цементації (з підстуджуванням) (рис. 50).

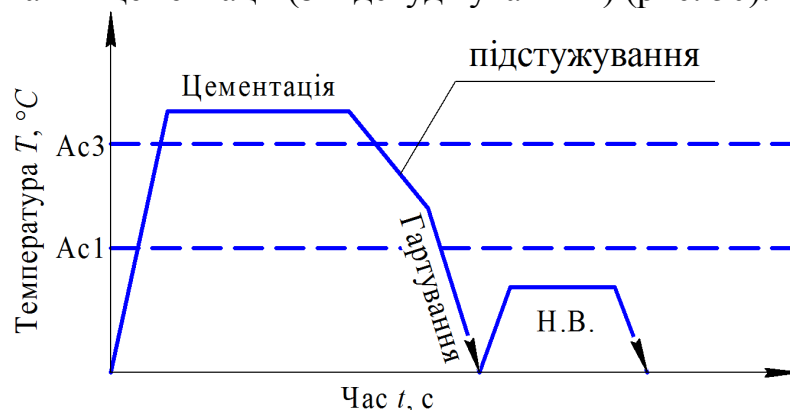


Рисунок 50 – Термічна обробка виробів після газової цементації

Азотування.

Метою азотування є: підвищення твердості, міцності, зносостійкості та корозійної стійкості поверхні.

В якості насичуючого середовища використовується аміак (NH_3). Азотуванню піддають середньо-вуглецеві леговані сталі. У найбільшій мірі підвищення твердості забезпечують: Cr , Al , Mo , V . Найкращі результати досягаються при азотуванні сталей: 38ХМЮА, 40ХМФА тощо. Вуглецеві сталі азотуванню не піддають, оскільки твердість шару, що отримується при азотуванні заліза, невелика.

При азотуванні в поверхневому шарі деталей утворюються нітриди легуючих елементів, при цьому поверхнева твердість сталей досягає 600...1200

НV. Зміцнювальне азотування проводять при температурі 500...520 °С протягом 24...60 годин. Товщина утвореного азотованого шару складає 0,3...0,6 мм.

Для прискорення процесу азотування застосовують 2-х ступінчастий температурний режим, спочатку насичення поверхні азотом проводять при температурі 500...520°С, а потім – при 540...560°С. Якщо необхідно підвищити корозійну стійкість, то процес ведуть при більш високих температурах 650...670°С, однак твердість при цьому буде меншою.

Технологія виготовлення деталей при азотуванні включає наступні операції:

1. Чорнова механічна обробка.
2. Зміцнювальна термічна обробка, що складається із гартування і високого відпускання (поліпшення).
3. Чистова механічна обробка (шліфування).
4. Захист ділянок деталей, що не підлягають азотуванню.
5. Азотування.
6. Притирання (кінцеве доведення).

Перевагами азотування є:

1. Більш висока твердість і втомна міцність чим після цементації.
2. Збереження високої твердості при експлуатації до температури 550...600°С, тоді як після цементації твердість зберігається до температури 200...250 °С.
3. Практично відсутнє викривлення і поводка деталей, внаслідок невисоких температур процесу азотування.

Недоліками даного способу є: велика тривалість процесу; можливість застосування лише для легованих сталей та ін.

Азотуванню піддають плунжерні пари, розподільники в гідромоторах і гідронасосах, зубчасті колеса та ін.

Останнім часом отримало поширення іонне азотування і азотування в тліючому розряді. Це дозволяє скоротити тривалість процесу до 5...15 годин та зменшити витрати NH_3 .

Ціанування (нітроцементация).

Ціануванням називається процес одночасного насичення поверхні вуглецем С і азотом N. Метою ціанування є: підвищення твердості, міцності, зносостійкості і втомної міцності поверхні деталі.

Розрізняють ціанування в рідких середовищах (ціанування в розплавлених ціаністих солях (NaCN)) і в газоподібних (нітроцементация). Розрізняють високотемпературне 930...950°С, середньотемпературне 820...860°С і низькотемпературне 570...580°С ціанування. З підвищенням температури проведення процесу відбувається переважне насичення вуглецем, а з пониженням – азотом. Після високо- і середньотемпературного ціанування проводять гартування та низьке відпускання.

Низькотемпературне (рідинне) ціанування є досить продуктивним процесом. Час обробки, залежно від необхідної товщини шару (0,15...2,0 мм),

складає 0,5...6 годин. Механічні властивості зміцненого шару отримують вищими, ніж після цементації. Недоліком є висока вартість і токсичність ціаністих солей.

Газове ціанування (нітроцементация) проводиться в газовому середовищі цементацийного газу і дисоційованого аміаку. Температура процесу 840...860°C, тривалість – 4...10 годин, товщина зміцненого шару – 0,2...1,0 мм. Після нітроцементації проводять гартування і низьке відпускання. При цьому твердість поверхні складає 58...64 HRC (580...700 HV).

Нітроцементацию і ціанування застосовують на автомобільних, тракторних, машинобудівних заводах.

4. Механічне зміцнення. Зміцнення наклепуванням.

Зміцнення сталей та інших металів наклепуванням здійснюється за рахунок холодної деформації поверхневих шарів деталей, наприклад, потоком дробу, обкаткою роликами, кульками. В результаті пластичної деформації, поверхневі шари металу збільшуються в об'ємі, що викликає появу залишкових напружень стиску, а внедеформованих шарах виникають залишкові напруження розтягу. Це сприяє підвищенню втомної міцності.

При наклепуванні відбувається підвищення твердості поверхневих шарів до 50%, що сприяє підвищенню зносостійкості. Глибина наклепування і величина залишкових напружень залежить від початкової структури і хімічного складу сталі. Найбільш глибоко наклепуються маловуглецеві пластичні сталі. Загартовані сталі наклепуються на меншу глибину, але величина залишкових напружень у них вища.

Дробеструменеве наклепування найчастіше застосовується для зміцнення необроблених поверхонь (прокат, литво, зварні з'єднання, ресори, пружини). Глибина наклепу становить 0,2...0,3 мм. Зміцненню наклепом піддають деталі, які в процесі роботи не нагріваються вище температури 400...450°C. При більш високих робочих температурах втомна міцність різко знижується.

Для зміцнення важконавантажених валів і вісей застосовується обкатка загартованим роликом або кулькою. Цей вид обробки застосовують тоді, коли необхідно підвищити втомну міцність деталі зі збереженням чи підвищенням класу шорсткості поверхні. Глибина наклепу досягає 1 мм.

Запитання для самопідготовки та закріплення набутих знань:

1. Способи поверхневого гартування?
2. Суть поверхневого гартування струмами високої частоти?
3. Суть та види хіміко-термічної обробки сталі.
4. Суть, мета та способи цементації сталі. Термічна обробка вуглецевої сталі після цементації.
5. Суть, мета та режим азотування, нітроцементації та ціанування?
6. Які фактори впливають на ефективність процесів ХТО?
7. Суть, мета та способи механічного зміцнення?

Рекомендована література: [3, 4]

2.8 Лекція 8. Леговані сталі та сплави

План висвітлення матеріалу лекції

1. Розподіл легуючих елементів в структурних складових сталей.
2. Вплив легуючих елементів на поліморфне перетворення сталі.
3. Вплив легуючих елементів на положення критичних точок діаграми стану залізо-вуглець.
4. Вплив легуючих елементів на властивості сталі.
5. Класифікація і маркування легованих сталей.

Основні терміни: легуючий елемент; поліморфне перетворення; положення критичних точок.

Методичні поради до вивчення лекції

При розгляді теми "Леговані сталі та сплави" визначають основні вимоги до легованих сталей, основи раціонального легування, їх класифікація, маркування і раціональне застосування в машинобудуванні.

Короткий зміст лекції

Легованими називаються сталі, до складу яких вводять хімічні елементи для надання матеріалу спеціальних механічних і фізико-хімічних властивостей. Елементи, які спеціально вводяться в сталь в певних концентраціях з метою зміни її будови і властивостей, називаються легуючими елементами. Основна мета легування – підвищити міцність завдяки підвищенню прогартовуваності, а також надати ряд спеціальних властивостей: червоностійкість (теплостійкість), жаростійкість (окалиностійкість), жароміцність, корозійна стійкість, змінити магнітні, електричні властивості тощо. Найбільш широко використовують для легування сталі *Mn*, *Cr*, *Si*, *Ti*, *Ni* (менш дефіцитні), *W*, *V*, *Mo*, *Nb* (більш дефіцитні).

1. Розподіл легуючих елементів в структурних складових сталей.

Леговані сталі можуть вміщувати один, два, або декілька легуючих елементів. Легуючі елементи розчиняються в основних фазах залізовуглецевих сплавів (ферит, аустеніт, цементит), або утворюють спеціальні карбіди. Зазвичай легуючі елементи впливають на властивості сталі, якщо їх кількість перевищує 1%. Проте є цілий ряд елементів, які можуть знаходитися в сталях в значно меншій кількості і суттєво впливати на їх властивості.

Легуючі елементи в сталях можуть знаходитися:

1. У вільному стані (зустрічається – рідко): *Pb*, *Cu*, *Ag* – без розчинення і утворення з'єднань із залізом.

2. У вигляді розчину у фериті і аустеніті, роблячи їх легованими. Розчинення легуючих елементів у Fe_{α} відбувається в результаті заміщення атомів заліза атомами цих елементів. Легуючі елементи створюють у кристалічній ґратці напруження та викликають зміну її періоду. Зміна розмірів

гратки викликає зміну властивостей фериту – підвищується міцність та зменшується пластичність.

3. У вигляді інтерметалевих з'єднань із залізом або між собою (Ni_3Ti , Ni_3Al).

4. У карбідній фазі, тобто у вигляді розчину легуючих елементів у складі цементиту Fe_3C або самостійних карбідів. При розчиненні легуючих елементів в цементиті утворюється легований цементит. Самостійні карбідні фази утворюють легуючі елементи, що мають високу спорідненість до вуглецю, які називають карбідоутворюючими. По здатності утворити карбіди елементи можна розташувати в ряд наступним чином: Fe , Mn , Cr , Mo , W , Nb , V , Zr , Ti . У легованих сталях зустрічаються карбіди: Mn_3C , Cr_7C , W_2C , Mo_2C , VC , TiC . Не утворюють карбіди наступні хімічні елементи: Si , Al , Ni , Co , Cu .

2. Вплив легуючих елементів на поліморфне перетворення сталі.

Всі елементи, які розчиняються в залізі, впливають на температурний інтервал існування його алотропічних модифікацій, тобто зміщують точки $Ac3$ і $Ac1$ за температурною шкалою. По характеру впливу на положення точок поліморфного перетворення ЛЕ можна поділити на дві групи:

А) Елементи, що розширюють область існування: γ -фази (аустеніту) (рис. 52). Вони знижують точку $Ac3$. При вмісті деяких хімічних елементів, γ -фаза (аустеніт) може стійко існувати від температури плавлення до кімнатної. До таких елементів відносять: Mn , Ni , Co . Такі сталі називаються аустенітними (наприклад Сталь Г13).

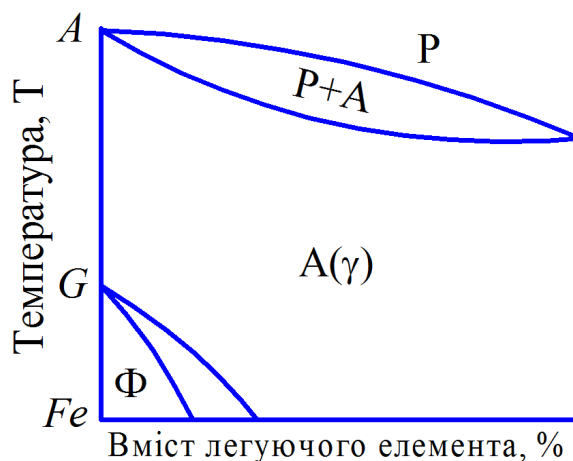


Рисунок 52 – Схема діаграми стану залізо-легуючий елемент, розширення області існування γ -фази (аустеніту)

Б) Елементи, що розширюють область α -фази (фериту) і звужують область γ -фази (рис. 53). До них відносяться: Cr , Si , Ti , Mo , Al , W та ін. При певному їх вмісті може бути отримана феритна структура, яка стійко існує від кімнатної до температури плавлення (наприклад Сталь 10X17).

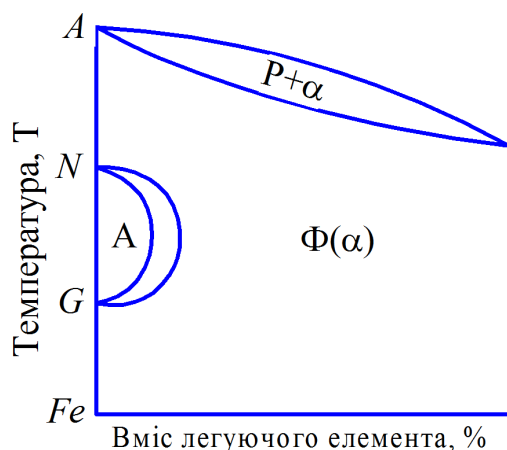


Рисунок 53 – Схема діаграми стану залізо-легуючий елемент, розширення області α -фази (фериту)

Легування фериту супроводжується його зміцненням. Найбільш значно впливають на його міцність марганець і хром.

3. Вплив легуючих елементів на положення критичних точок діаграми стану залізо-вуглець.

Легуючі елементи по-різному впливають на значення температур критичних точок діаграми стану Fe-C в залежності від того, чи входять вони до складу твердих розчинів (Φ , A), чи утворюють в сталях свої власні карбіди.

Аустенітоутворюючі елементи (Mn , Ni , Cu) знижують, а феритоутворюючі елементи (Cr , W , V , Mo) підвищують критичні точки A_{c1} і A_{c3} , що необхідно враховувати при призначенні режимів термообробки легованих сталей.

Всі легуючі елементи зміщують точки S і E діаграми Fe-C вліво, тобто в сторону пониження вмісту вуглецю в евтектоїді і евтектиці (рис. 54).

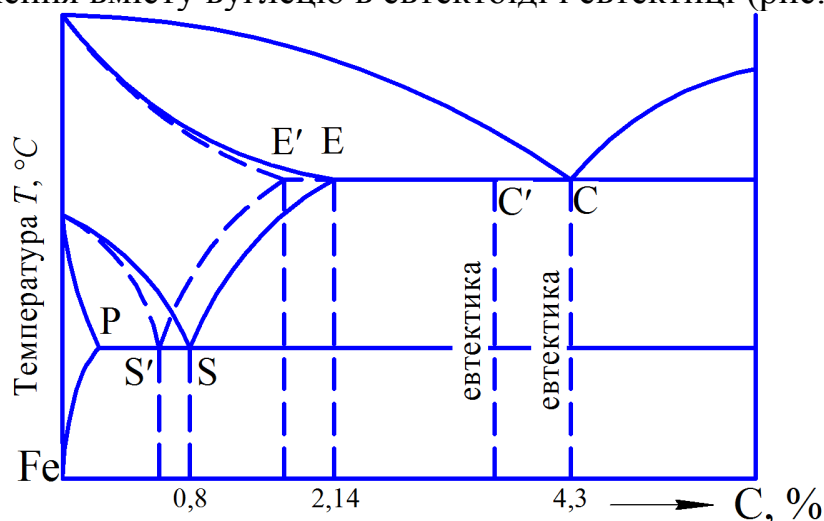


Рисунок 54 – Вплив легуючих елементів на рівноважну структуру сталей

Як наслідок, вуглецева (доевтектоїдна) сталь з вмістом вуглецю 0,6% при додаванні 5% Cr стає заевтектоїдною, тобто має перлітну структуру + Ц_{II} . Заевтектоїдна сталь з вмістом 1,5% C при додаванні 12% Cr набуває структуру доевтектичного білого чавуну з утворенням ледебуриту.

Таким чином, зміщення основних ліній від критичної точки діаграми Fe-C призводить до зміни температури нагрівання при гартуванні та відпусканні. І ця зміна буде тим більшою, чим сильніше легована дана сталь.

4. Вплив легуючих елементів на властивості сталі.

Легуючі елементи по різному впливають на структуру та властивості сталей. Основними легуючими елементами є:

Cr – відносно дешевий, підвищує прогартуваність, утворює карбіди, зміцнює ферит, подрібнює зерно. При вмісті більше 13 % значно підвищує опір сталі корозії і окисленню. В конструкційних сталях (окрім спеціальних) вміст хрому не перевищує 2%.

Ni – дорогий, але цінний легуючий елемент. Карбідів не утворює, на величину зерна майже не впливає, підвищує прогартуваність. Нікель є єдиний елементом, який підвищує одночасно міцність і в'язкість. Дуже сприятлива спільна наявність *Cr* і *Ni*. В сталях (окрім спеціальних) нікелю вміст не перевищує 4 %.

Mn – відносно дешевий легуючий елемент, який сильно підвищує прогартуваність, зміцнює ферит, але сприяє зростанню аустенітного зерна при нагріванні. Вміст марганцю в сталях не перевищує 2 %.

Si – дешевий легуючий елемент, зміцнює ферит, підвищує прогартуваність, графітоутворюючий, вміст кремнію не перевищує 2 %.

Mo – дефіцитний легуючий елемент, сильно підвищує прогартуваність, подрібнює зерно. В інструментальних сталях підвищує теплостійкість. Вміст в конструкційних сталях не перевищує 1%.

W – дефіцитний легуючий елемент, утворює стійкі карбіди, подрібнює зерно і підвищує прогартуваність та надає сталям теплостійкість. У конструкційних сталях усуває крихкість відпускання.

V – сильний карбідоутворювач, подрібнює зерно. Вміст ванадію у конструкційних сталях знаходиться в межах 0,1...0,5%, в інструментальних його вміст кількох процентів.

Nb, *Ti* – ефективні карбідоутворювачі, які подрібнюють зерно. Містяться в сталях в межах 0,1...0,5 %.

Якщо сума легуючих елементів не перевищує 5 %, сталі називаються низьколегованими; 5...10 % – середньолегованими; більше 10% – високолегованими; більше 50 % – утворений матеріал відноється не до сталей, а до спеціальних сплавів.

5. Класифікація і маркування легованих сталей.

Леговані сталі класифікуються за наступними ознаками:

1. *По структурі в рівноважному (відпаленому) стані:*

– Доевтектоїдні, структура: Ф + Евтд. Марки сталей: Сталь 40Х, Сталь 45Г2, Сталь 18ХГТ.

– Евтектоїдні, структура: Евтд. Марки сталей: Сталь 6Х2С.

– Заевтектоїдні, структура: $\text{Эвtd} + \text{K}_{\text{ц}}$. Марки сталей: Сталь 9ХС, Сталь ХВГ, Сталь ШХ15.

– Феритні, структура: легований ферит. Містять підвищену кількість хрому (Cr), який розширює α -область. Марки сталей: Сталь 10Х17, Сталь 20Х25.

– Аустенітні, структура: легований аустеніт. Містять велику кількість елементів, що розширюють γ - область. Марки сталей: Сталь Г13, Сталь 10Х18Н10Т.

– Ледебуритні (карбідні) сталі. Мають в литому стані структуру доевтектичного білого чавуну. Структура: $\text{Евт} + \text{Евтд} + \text{K}_{\text{ц}}$, після кування – $\text{Евтд} + \text{K}_{\text{I}} + \text{K}_{\text{I}}$. Марки сталей: Сталь Р9, Сталь Р18, Сталь Р6М5; Сталь Х12, Сталь Х12М.

2. За призначенням:

- Конструкційні;
- Інструментальні;
- Спеціальні сталі і сплави.

3. За якістю:

- Якісні, вміст S і P менше 0,035%;
- Високоякісні, вміст S і P менше 0,025%;
- Особливо високої якості.

Конструкційні леговані сталі виробляються якісними (в основному) і високоякісними ("А"). Усі інструментальні леговані сталі – високоякісні, хоча буква "А" у кінці маркування не ставиться.

Сталі особливої якості отримують при рафінуванні розплавленого металу рідкими синтетичними шлаками, електрошлаковою переплавою (ЕШП), вакуумно-дугова переплавка (ВДП), розливанням у вакуумі. При такій обробці знижується забрудненість металу неметалевими включеннями і газами.

Принцип маркування легованих сталей. Маркування легованих сталей здійснюється сполученням цифр і літер. Кожна літера присвоюється відповідному легуючому елементу: Х – хром (Cr); М – молібден (Mo); Н – нікель (Ni); К – кобальт (Co); В – вольфрам (W); Т – титан (Ti); Ф – ванадій (V); С – кремній (Si); Г – марганець (Mn); Д – Мідь (Cu); Ю – алюміній (Al); В – бор (B).

Числа на початку марки вказують на вміст вуглецю: якщо однозначні (3, 4, 9) – в десятих частках відсотка, а якщо дво- чи тризначні (20, 45, 50, 110, 120) – в сотих частках відсотка. Якщо число на початку марки відсутнє, то це означає, що вуглецю у даній сталі міститься приблизно 1 %.

Послідуючі літери вказують на наявність тих або інших легуючих елементів. Числа, що стоять після відповідної літери вказують на вміст цих елементів в цілих відсотках. Якщо число відсутнє, то це означає, що цього легуючого елементу міститься близько 1% (за деяким виключенням для Ti, V, Mo).

Наприклад: Сталь 20Х2Н4ВА; Сталь 45Г2, Сталь 9ХС, Сталь ХВГ, Сталь 110Г13Л, літера Л – вказує, що сталь лита.

Виключенням є Сталь 18ХГТ – $Ti \approx 0,1\%$; Сталь 20ХГР – $B \approx 0,006\%$; Сталь ШХ15 – $Cr \approx 1,5\%$; Сталь Р18 – $W \approx 18\%$, Р – швидкоріжуча; Сталь Р6М5 – $W \approx 6\%$; $Mo \approx 5\%$

Запитання для самопідготовки та закріплення набутих знань:

1. Які сталі називають легованими? Мета легування сталей?
2. Основні легуючі елементи в сталях?
2. Вплив легуючих елементів на поліморфне перетворення сталі?
3. Які фази можуть утворювати легуючі елементи в сталях?
4. Вплив легуючих елементів на властивості сталі?
5. Вплив легуючих елементів на положення критичних точок діаграми стану залізо-вуглець?
6. Як класифікуються леговані сталі за хімічним складом і вмістом легуючих елементів?
7. Класифікація легованих сталей за структурою й призначенням?
8. Маркування легованих сталей?

Рекомендована література: [3, 4]

2.9 Лекція 9. Конструкційні леговані сталі.

Орієнтовний план висвітлення матеріалу лекції

1. Раціональність легування. Економічна і технологічна доцільність застосування легованих сталей.

2. Конструкційні леговані сталі для цементації, поліпшення. Ресорно-пружинні сталі.

Основні терміни: механічні властивості; технологічність; вміст вуглецю; прогартовуваність.

Методичні поради до вивчення лекції

Основна мета легування конструкційних сталей – збільшення їх прогартовуваності в робочому перерізі деталі, яке сприймає навантаження. Як правило, сталі, що містять до 0,25% вуглецю, піддаються цементації або нітроцементації з наступним гартуванням і низьким відпусканням (цементацийні сталі).

Деталі з сталей, що містять 0,35-0,50% вуглецю, розраховані сприймання великих навантажень. Для поліпшення властивостей такі сталі піддають гартуванню та послідовному високому відпусканню – покращуванню.

Якщо деталі працюють в умовах тертя, то проводиться поверхнєве зміцнення деталей.

Зі сталей, що містять 0,50-0,70%С, зазвичай, виготовляють пружини і ресори. Їх піддають гартуванню та середньому відпусканню або ізотермічному гартуванню.

Короткий зміст лекції

1. Раціональність легування. Економічна і технологічна доцільність застосування легованих сталей.

Конструкційні сталі застосовуються для відповідальних середньо- і важконавантажених деталей машин і конструкцій. Конструкційні леговані сталі повинні мати: високі механічні та технологічні властивості (міцність, в'язкість, витривалість, зносостійкість); технологічність в обробці (добре оброблятися різанням, штампуватися і зварюватися) та економічність (бажана відсутність у складі конструкційних легованих сталей дефіцитних елементів Mo , W , Ni). В машинобудуванні найчастіше застосовують низьколеговані сталі з вмістом Cr , Mn , Si , Ti .

Висока міцність і одночасно в'язкість в легованих сталях досягаються завдяки більш високій прогартовуваності, ніж у вуглецевих сталей, і зміцненню фериту при розчиненні в ньому легуючих елементів.

Переваги конструкційних легованих сталей перед вуглецевими проявляються після термообробки, а у відпаленому (рівноважному) стані їх механічні властивості мають близькі значення.

Механічні властивості. Підвищення міцності може бути досягнуте за рахунок підвищення вмісту вуглецю, формування більш дисперсної структури,

легуванням або наклепом. Усі ці фактори забезпечують міцність і прогартуваність, але як правило, знижують в'язкість. Для деталей машин, що працюють на кручення і згин, прогартуваність має бути на $1/2$ радіуса, (внутрішні шари повинні бути в'язкими). Для деталей машин, які працюють на розтяг і стиск (шатуни, важелі, пружини) має бути суцільна (наскрізна) прогартуваність. Необхідно враховувати розміри деталі: чим більше товщина перерізу деталі, тим більшим має бути вміст легуючих елементів.

Оптимальне співвідношення механічних властивостей має місце після гартування і високого відпускання, тобто поліпшення, після якого отримують структуру сорбіту. Така термічна обробка ефективна для сталей які містять $0,3...0,6\% \text{ C}$.

Завдяки впливу легуючих елементів, маловуглецеві леговані сталі на відміну від нелегованих гартуються на структуру мартенситу, але через невисокий вміст вуглецю механічні властивості маловуглецевого мартенситу близькі до властивостей відпущеного сорбіту середньовуглецевих сталей. Це дає можливість застосовувати для однакових умов роботи різні марки сталі з відповідною термічною обробкою.

Технологічність. Леговані сталі в порівнянні з вуглецевими менш технологічні. Вони гірше обробляються різанням, складніше штамнуються і зварюються.

Економічність. Леговані конструкційні сталі не повинні, по можливості, містити такі дефіцитні елементи, як W , V , Mo , Nb . Потрібно застосовувати сталі леговані Cr , Mn , Si , а також економно - леговані сталі. Бажано застосовувати такий матеріал і такий вид термічної обробки, щоб термін служби деталі був близьким до терміну служби усього агрегату (машини).

2. Конструкційні леговані сталі для цементації, поліпшення та ресорно-пружинні.

За вмістом вуглецю конструкційні леговані сталі ділять на три групи:

- Цементацийні ($0,10...30\% \text{ C}$).
- Поліпшуванні ($0,35...0,50\% \text{ C}$).
- Ресорно-пружинні ($0,50...0,70\% \text{ C}$).

Цементацийні сталі.

Леговані цементацийні сталі застосовують у тому випадку, коли разом з високою твердістю і зносостійкістю поверхні, потрібна міцна і в'язка серцевина (завдяки більш високій прогартуваності). У вуглецевих цементацийних сталях серцевина не зміцнюється. Леговані сталі застосовують, як правило, для середньо- і важконавантажених деталей машин середніх і великих розмірів (зубчасті колеса, вали, вісі і так далі).

До цементацийних сталей відносяться:

1. Сталі із слабозміцнюваною серцевиною (прогартуваність 20мм).
Марки сталей: Сталь 20Х; Сталь 15Г.

2. Сталі зі зміцнюваною серцевиною (прогартуваність 80...100 мм).
Марки сталей: Сталь 18ХГГ, Сталь 20ХГР, Сталь 20ХНМА.

3. Високоміцні сталі з сильнозміцнюваною серцевиною. Марки сталей: Сталь 18ХНМФ, Сталь 12ХН3А, Сталь 18Х2Н4ВА.

4. Сталі 18Х2Н4ВА, 18Х2Н4МА відносяться до сталей мартенситного класу, що гартуються на повітрі.

Термічна обробка цементаційних легованих сталей. В процесі цементації в поверхневому шарі деталі утворюється заевтектоїдна структура, а в серцевині зберігається структура доевтектоїдної сталі. В залежності від марки сталі застосовують різні режими наступної термічної обробки (рис. 55).

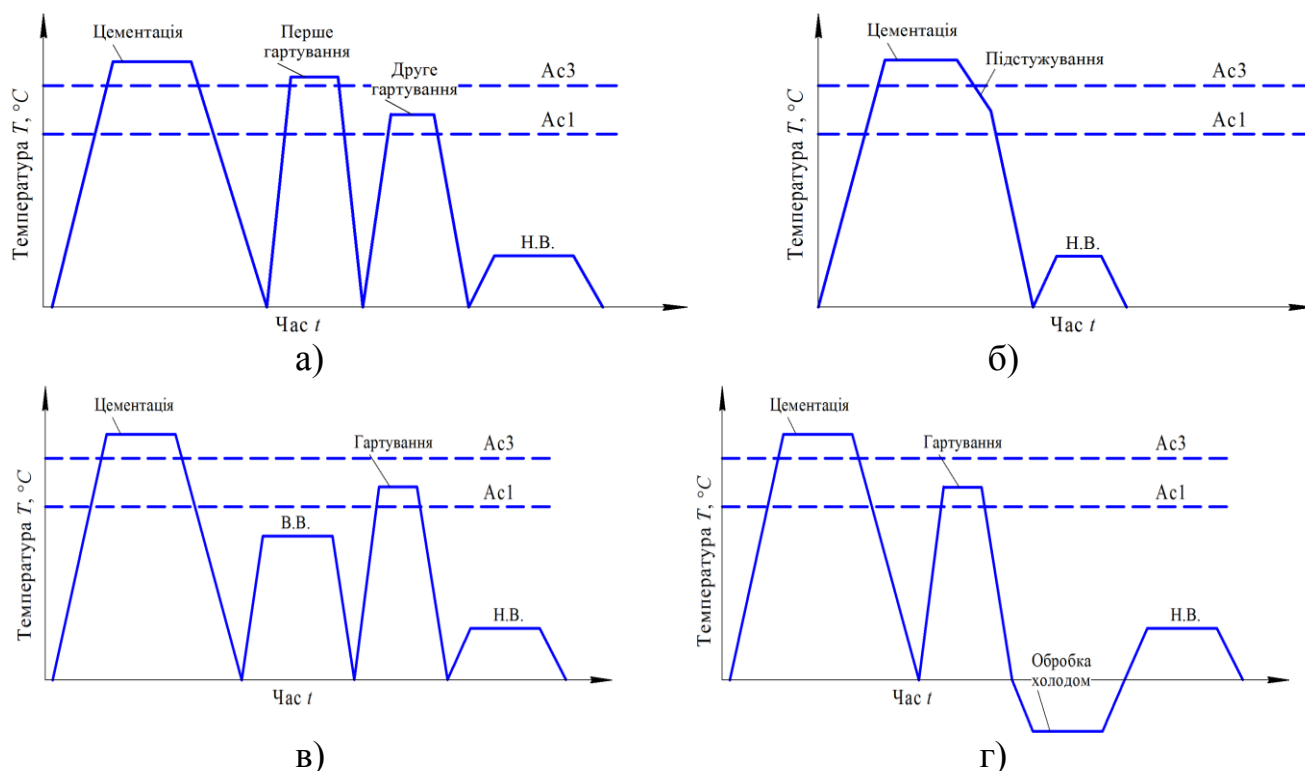


Рисунок 55 – Схеми режимів термічної обробки деталей після цементації

Подвійне гартування з подальшим низьким відпусканням (рис. 55а) застосовують для сталей, схильних до росту зерна при нагріванні. Марки сталей: Сталь 20Г, Сталь 20Г2, Сталь 15ХГН.

Повне гартування з підстуджуванням сталей (рис. 55б), які мало схильні до росту зерна при нагріванні. Марки сталей: Сталь 18ХГТ, Сталь 20ХГР. При газовій цементації також використовують охолодження з температур цементаційного нагрівання.

Подвійне гартування з проміжним високим відпусканням (рис. 55в) застосовують для сталей, у яких при гартуванні утворюється підвищена кількість залишкового аустеніту.

Іноді замість високого відпускання після гартування призначають обробку холодом (рис. 55г).

Механічні властивості цементаційних сталей наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Механічні властивості цементацийних сталей.

Марка сталі	Межа міцності на розтяг σ_B , МПа	Відносне видовження δ , %	Відносне звуження ψ , %	Ударна в'язкість a_H , кДж/м ²
Сталь 20	45	30	60	10
Сталь 20Х	85	15	55	12
Сталь 20Х2Н4А	130	15	55	10
Сталь 18ХГТ	130	12	50	10
Сталь 20ХГР	130	12	50	8

Дані таблиці свідчать, що замість хромонікелевих сталей доцільно застосовувати менш дефіцитні без нікелеві сталі (Сталь 18ХГТ, Сталь 20ХГР), що практично забезпечують однакові механічні властивості.

Структура цементованих виробів після термічної обробки може бути наступною: на поверхні – високовуглецевий мартенсит (M_B), іноді з включеннями вторинних карбідів, а в серцевині, в залежності від ступеня прогартуваності, може бути маловуглецевий мартенсит, що має високу міцність і достатню в'язкість, чи тростит, сорбіт або суміш мартенситу з феритом.

Поліпшуванні конструкційні сталі. Поліпшуванні сталі використовують після гартування і високого відпускання (поліпшення). Поліпшуванні сталі застосовуються для середньо- і важконавантажених деталей машин (вали, вісі, шпинделі, зубчасті колеса, важелі, шатуни тощо). Ці деталі повинні мати високу міцність і в'язкість, що досягається гартуванням і високим відпусканням. Якщо сталі мають достатню прогартуваність, то такі властивості будуть забезпечені по усьому перерізу. Найбільшого поширення отримали наступні поліпшуванні сталі:

- Хромисті (Сталь 40Х, Сталь 45Х).
- Марганцеві (Сталь 40Г, Сталь 45Г2).
- Хромокремнемарганцеві (хромансиль) (Сталь 35Х5СА).
- Хромонікелеві (Сталь 40ХН, Сталь 45ХГН).
- Хромонікельмолібденові (Сталь 40ХНМА).

Особливу роль у складі таких сталей відіграє нікель. Для виробів з різними перерізами рекомендований вміст нікелю становить: до 40мм – 1% Ni; до 70мм – 2% Ni; до 100мм – 3% Ni; більше 100мм – 4% Ni.

Таблиця 2 – Механічні властивості поліпшувальних сталей.

Марка сталі	Межа міцності на розтяг σ_B , МПа	Межа текучості σ_T , МПа	Відносне звуження ψ , %	Ударна в'язкість a_H , кДж/м ²	Твердість, НВ
Сталь 40	60	32	40	5	190...230
Сталь 40Х	100	80	45	6	270...300
Сталь 40ХН	100	80	45	7	250
Сталь 40ХГТ	100	85	50	10	300
Сталь 40ХНМА	110	90	60	12	300

Після поліпшення деталі машин іноді піддають поверхневому зміцненню: поверхневому гартуванню, азотуванню, механічному зміцненню.

Ресорно-пружинні сталі. Ресори і пружини повинні мати високу межу текучості і високу міцність. З усіх структур найвищу межу текучості забезпечує троститна структура. Ці сталі містять 0,50...0,70 %C і легуються елементами, які розчиняючись у фериті, зміцнюючи його. До них відносяться так легуючі елементи як: *Si*, *Mn*, а також *Cr*. Кількість легуючих елементів повинна забезпечити прогартуваність по усьому перерізу. Найбільш часто застосовують кремнієві сталі: Сталь 55C2, Сталь 60C2A.

У автомобіле- і вагонобудуванні застосовують кремнієво-марганцеві сталі (Сталь 60ГC2), а для важконавантажених, що працюють в умовах динамічних навантажень, сталі додатково легують ванадієм і нікелем. Марки сталей: Сталь 60C2ХФА, Сталь 60C2Н2А.

Для автомобільних ресор і клапанних пружин використовують: Сталь 50ХГА, Сталь 50ХФА. При цьому застосовується термообробка, яка включає гартування і середнє відпускання.

Запитання для самопідготовки та закріплення набутих знань:

1. Класифікація конструкційних легованих сталей за вмістом вуглецю.
2. Які сталі відносяться до цементацийних? Особливості хіміко-термічної і термічної обробки цементацийних сталей?
3. Які сталі відносяться до поліпшуваних?
4. Область застосування та термічна обробка ресорно-пружинних сталей?

Рекомендована література: [3, 4]

2.10 Лекція 10. Інструментальні леговані сталі.

План висвітлення матеріалу лекції

1. Сталі для різального інструменту. Сталі низької теплостійкості. Сталі підвищеної (середньої) теплостійкості. Сплави високої теплостійкості.
2. Сталі для штампового інструменту. Сталі для штамів холодного деформування. Сталі для штамів гарячого деформування.
3. Сталі для вимірювального інструменту.
4. Спеціальні сталі і сплави. Корозійностійкі сталі. Жаростійкі і жароміцні сталі і сплави. Зносостійкі сталі і сплави.

Основні терміни: зносостійкість; теплостійкість; жаростійкість; жароміцність; легування; карбіди; легуючі елементи; корозійностійкість.

Методичні поради до вивчення лекції

В розділі інструментальні леговані сталі обґрунтовуються і приводяться типові режими термічної обробки. Розглядаються металокерамічні тверді сплави, їх хімічний склад, класифікація і область раціонального використання для ріжучих інструментів.

При розгляді спеціальних сталей, розглядаються питання теорії їх жаростійкості, жароміцності, корозійної стійкості металів, їх призначення.

Короткий зміст лекцій

В залежності від призначення інструментальні сталі поділяються для:

- різального інструменту;
- штампового інструменту;
- вимірювального інструменту.

1. Сталі для різального інструменту.

До різальних інструментів відносяться: різці, фрези, свердла, розвертки, зенкери, протяжки, довб'яки, плашки, мітчики.

Сталі для різального інструменту повинні мати високу твердість (більше 60 HRC), зносостійкість, збереження геометрії та теплостійкість (червоностійкість), тобто здатність зберігати високу твердість і різальні властивості з підвищенням температури. Температура в зоні різання може досягати кількох сотень градусів.

Залежно від теплостійкості інструментальні матеріали діляться на три групи:

1. Низької теплостійкості (не теплостійкі) – до 250°C.
2. Підвищеної теплостійкості (середньої) – до 600°C.
3. Високій теплостійкості - до 1000...1100°C.

Сталі низької теплостійкості. Ці сталі застосовують для порівняно м'яких режимів різання, коли температура в зоні різання невисока. До них відносяться вуглецеві і низьколеговані сталі. Вуглецеві сталі (У8...У13)

застосовують для виготовлення інструменту простої форми і невеликих перерізів (до 12...15мм) внаслідок їх малої прогартовуваності.

Їх термічна обробка: гартування (у воді) і низьке відпускання при температурі 180...200°C (структура Мв + Ц_{II}).

Низьколеговані сталі: Х, ХГ, ХВГ, 9ХС, ХВ4 характеризуються підвищеною прогартовуваністю, їх можна гартувати в оливі, що зменшує напруження гартування. У деяких сталях (ХВГ, ХГ) після гартування утворюється підвищена кількість залишкового аустеніту, що також зменшує деформацію. Це використовують при виготовленні інструменту великої довжини (свердла, протяжки).

Сталі ХВ4, ХВ5 мають після термообробки високу твердість (їх називають "алмазними") – 65...68HRC і їх застосовують для обробки важкооброблюваних матеріалів.

Термічна обробка низьколегованих сталей: гартування (в оливі) і відпускання, отримується структура: Мв + К_{II}.

Сталі підвищеної (середньої) теплостійкості. До них відносяться так звані швидкорізальні сталі, які є основним інструментальним матеріалом. З них виготовляє близько 70% усього інструменту. Це сталі: Р9, Р18, Р6М5 – для інструменту нормальної продуктивності; Р9К10, Р9М4К8 – для інструменту підвищеної продуктивності.

Хімічний склад швидкорізальних сталей досить складний, окрім вказаних в марці від 0,8...1,5%С вони містять ще біля 4% Cr, 1...2,5% V.

Метою легування є забезпечення прогартовуваності, теплостійкості, твердості і зносостійкості. Висока твердість досягається утворенням при термообробці мартенситної структури з включенням твердих зносостійких карбідів легуючих елементів. При нагріванні до робочих температур може відбутися розпад мартенситу на ферито-карбідну суміш, що призводить до істотного зниження твердості. Таким чином, швидкорізальні сталі повинні містити такі легуючі елементи, які, знаходячись в мартенситі, гальмували б його розпад і тим самим, сприяли збереженню твердості до більш високих температур. Основними елементами, які підвищують теплостійкість є: W, Мо, Со, V. Ці ж елементи (окрім кобальту), а також Cr утворюють в структурі тверді зносостійкі карбіди.

Виготовлення інструменту і його термообробка зі швидкорізальних сталей має свої особливості. Структура сталі після лиття складається із скелетоподібної карбідної евтектики, евтектоїда і вторинних карбідів (рис. 56а). Така сталь важко обробляється і має високу крихкість. Тому її ретельно проковують з метою роздрібнення евтектики і рівномірного розподілу карбідів (рис. 56б). Після кування утворюється структура: Евтд + К_I + К_{II}.

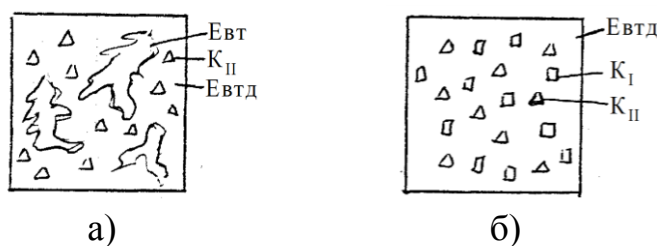


Рисунок 56 – Структура швидкорізальних сталей: а – після лиття;
б – після кування

Для поліпшення структури і оброблюваності різанням заготовки при виготовленні інструменту піддають ізотермічному відпалу. Після виготовлення інструментів, їх піддають термічній обробці за наступною схемою (рис. 57).

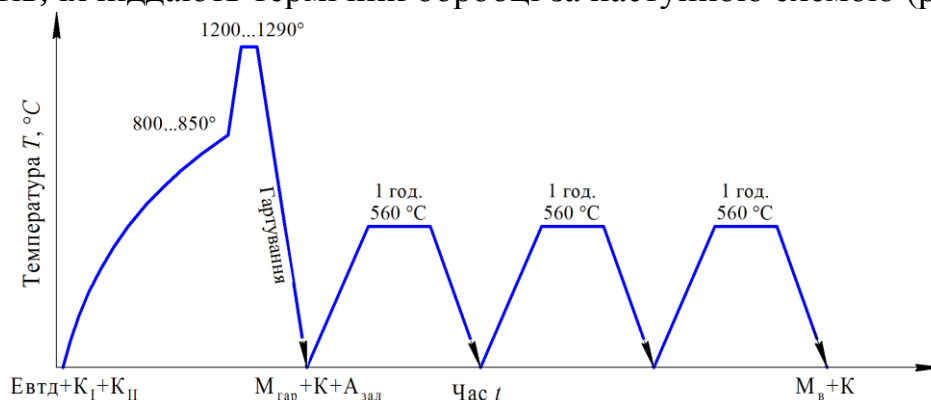


Рисунок 57 – Графік режиму термічної обробки швидкорізальної сталі

Повільне нагрівання до $800...850^{\circ}\text{C}$ необхідне для того, щоб уникнути викривлення інструмента. З метою попередження розчинення в аустеніті карбідів легуючих елементів виконують швидке нагрівання до високих температур ($1200...1290^{\circ}\text{C}$). Відбувається насичення аустеніту легуючими елементами і вуглецем. Щоб уникнути знеуглецювання нагрівання проводять в соляних ваннах. Витримка при температурі нагрівання має бути короткою ($10...15\text{ с}$ на 1 мм перерізу). Охолодження – або в мінеральній оливі, або в розплавах солей. Структура після гартування: високолегований мартенсит, карбіди та до 30% залишкового аустеніту: $\text{Мг} + \text{К} + \text{Азал}$.

Після гартування проводиться, як правило, триразове відпускання при температурі $560...570^{\circ}\text{C}$ впродовж 1 години. Іноді після гартування проводять обробку холодом і відпускання при температурі $560...570^{\circ}\text{C}$. При такій обробці відбувається перетворення залишкового аустеніту у мартенсит відпускання та виділення дрібнодисперсних карбідів, що забезпечує стабілізацію розмірів і деяке підвищення твердості (до $65...67\text{HRC}$). Остаточна структура: $\text{Мв} + \text{К}$.

Незважаючи те, що відпускання проводилося при температурі $560...570^{\circ}\text{C}$ (високе відпускання) в сталях зберігається структура мартенситу, оскільки легуючі елементи, які розчинені в мартенситі, затримують його розпад. Для підвищення зносостійкості доцільно проводити низькотемпературне ціанування різальної частини інструменту.

Інструментальні матеріали, отримані методами порошкової металургії. До них відносяться тверді ріжучі сплави, що отримуються методом порошкової металургії. Сировиною для їх виготовлення служать тверді

порошки карбідів: WC , TiC , TaC . В якості сполучного матеріалу використовується порошок кобальту Co . Схема виготовлення інструменту з твердих сплавів наступна:

1. Підготовка сумішей.
2. Завантаження у прес-форму, формування (утворення пластинки).
3. Пресування.
4. Спінання, при температурі $1500...2000^{\circ}C$.

Отримані твердосплавні пластинки припаюють або прикріплюють механічно до металевих корпусів (державок) інструменту. Термічній обробці виробів з твердих сплавів не піддають.

Усі тверді сплави діляться на три групи:

- а) одно карбідні ($WC+Co$). Марки сталей: BK6, BK8; BK6 ($Co-6\%$, $WC-94\%$). Зі збільшенням кількості Co в'язкість твердих сплавів підвищується.
- б) двокарбідні ($WC+TiC+Co$). Марки сталей: T6K10, T15K6; T6K10 ($Co-10\%$, $TiC-6\%$, $WC-84\%$),
- в) три карбідні ($WC+TiC+TaC+Co$). Марки сталей: TT7K10.

Твердосплавний інструмент застосовують для чорнової і чистової обробки чавунів, легованих сталей, сталей після зміцнюючої термообробки, титанових сплавів, гірських порід, твердих пластмас.

2. Сталі для штампового інструменту.

Залежно від умов роботи, штампові сталі діляться для холодного і гарячого деформування. Оскільки умови їх роботи істотно розрізняється, то і принципи їх легування і термообробка різні.

Сталі для штампів холодної деформації. Вимогами до цих сталей є висока твердість, міцність, зносостійкість, в окремих випадках теплостійкість (до $300^{\circ}C$). Для пуансонів і матриць та цільних штампів невеликих розмірів і простої конфігурації, які працюють при відносно легких умовах роботи, застосовують вуглецеві сталі невеликої прогартовуваності: У10, У11, У12. Для більш складних штампів і при більш важких умовах роботи застосовують леговані, загартовані в оливні сталі підвищеної прогартовуваності: Х, 9Х2, ХГ, ХГСВ, 9ХС, ШХ15 (термічна обробка: гартування + низьке відпускання). Для інструменту ударної деформації застосовують сталі з дещо меншим вмістом вуглецю: 4ХС, 4ХВ2С, 6ХВ2С. Їх гартують в оливні і відпускають при температурі $250...270^{\circ}$, або $400...440^{\circ}C$ (твердість 50...55 HRC).

Для складніших і більших за розмірами штампів застосовують високохромисті сталі ледебуритного класу, які мають високу зносостійкість, теплостійкість, характеризуються малою деформованістю при гартуванні: Х12, Х12М, Х12Ф1, Х6ВФ. Ці сталі гартують з досить високих температур ($1070...1170^{\circ}C$). В результаті в структурі загартованої сталі зберігається більша кількість залишкового аустеніту (40...60%), що зменшує деформацію штампів. Послідовним відпусканням, при температурі $160...500^{\circ}C$ можна перетворювати частину або весь залишкового аустеніту в мартенсит

відпускання, регулюючи тим самим, твердість і розміри робочих частин штампу (теплове доведення).

Сталі для штамів гарячого деформування. Сталі для штамів повинні мати спеціальний комплекс властивостей: жароміцність, теплостійкість, термостійкість, в'язкість, прогартовуваність, опір адгезії оброблююмого матеріалу.

Під час контакту з заготовкою, яка розігріта до температури 1000...1200°C, штампи прогріваються до температури 500...600°C. Це необхідно враховувати при легуванні сталей і їх термічній обробці. Термообробку слід призначати так, щоб в процесі роботи при нагріві до 600°C в сталях не відбувалися структурні зміни, які могли б вплинути на властивості і розміри штампу. Висока твердість не є головною вимогою до цих сталей. Тому вони містять, як правило, 0,5...0,6%С і 3...5% таких легуючих елементів як *Mn, Cr, Ni, Mo, W, Ti*.

Для молотових штамів застосовують наступні сталі:

- невисокої теплостійкості – 5ХНМ, 5ХГМ, 5ХНТ, 5ХНСВ;
- середньої теплостійкості – 4Х5МФ, 4Х5В2С;
- підвищеної теплостійкості – 3Х2В8Ф, 5Х3В3МФС.

З останніх сталей виготовляють пресовий інструмент, прес-форми лиття під тиском. Їх термічна обробка включає: гартування і високе відпускання при температурах від 550...650°C. Структура - трооститосорбіт, твердість 38...50 HRC.

3. Сталі для вимірювального інструменту.

Сталі, які використовуються для виготовлення вимірювальних калібрів, плиток, шаблонів, повинні мати високу твердість, зносостійкість і стабільність розмірів. Для цього застосовують як вуглецеві (У10, У12), так і леговані (Х, ХВГ) сталі. Оптимальний режим термічної обробки, який дозволяє забезпечити вищевказані властивості є гартування + обробка холодом + низьке відпускання.

Вимірювальні скоби, лінійки, шкали виготовляють з листової сталі 20Х, 40Х. Для інструменту, що працює при підвищених температурах (до 600°C) застосовують сталь 38ХМЮА після поліпшення і азотування. Для роботи в агресивних середовищах – сталі 4Х13, 9Х18.

4. Спеціальні сталі і сплави.

Спеціальними називаються сталі, які призначені для роботи в особливих умовах і містять елементи, що надають їм ті або інші характерні властивості. До них відносяться:

- корозійностійкі (нержавіючі), призначені для роботи в агресивних середовищах (воді, кислотах, лугах, агресивних газах);
- жаростійкі і жароміцні, призначені для деталей, які працюють при підвищених температурах;
- зносостійкі сталі і сплави;
- сталі і сплави з особливими магнітними властивостями та ін.

Корозійностійкі сталі повинні мати високий опір корозії, який досягається шляхом введення в сталь підвищеної кількості хрому (понад 12%). Захисна дія хрому полягає в утворенні плівки на поверхні деталі, що має високу щільність та міцність, яка оберігає сталь від проникнення углиб кисню.

Присутній в сталі хром не повинен бути хімічно зв'язаним, тобто не знаходиться у вигляді карбідів і інтерметалідів. Для цього повинно бути витримане певне співвідношення між кількістю вуглецю і хрому. Так, наприклад, при 13% Cr вміст вуглецю повинен бути не більше 0,4%. Якщо необхідно мати в сталі більше вуглецю, то відповідно слід збільшити і кількість хрому. У промисловості застосовують хромисті і хромонікелеві нержавіючі сталі.

Хромисті сталі. Містять зазвичай 13, 17 і 25% хрому.

– Вміст Cr 13%. Марки сталей: 0X13, 10X13, 20X13, 30X13, 40X13. Сталі 0X13, 10X13, 20X13 досить пластичні, добре зварюються. З них виготовляють різні ємності, трубопроводи, лопатки турбін та гідротурбін, деталі парових машин, побутові прилади. Сталі 30X13, 40X13 зміцнюються термообробкою. З них виготовляють хірургічний інструмент, підшипники і пружини для роботи в агресивних середовищах, карбюраторні голки, столові прилади. Твердість після гартування і низького відпускання сталей становить до 50 HRC.

– Вміст Cr 17%. Марки сталей: 10X17, 20X17H2, 20X17T. Вони застосовуються для роботи в більш агресивних середовищах: ємності для зберігання лугів, деяких кислот, в молочній та харчовій промисловості. Ці сталі відносяться до сталей феритного класу і не зміцнюються термообробкою. Гартування якщо і проводять, то тільки для утворення більш однорідної структури, з метою підвищення корозійної стійкості. В сталі додатково додають нікель – для підвищення міцності, титан – для попередження інтеркристалічної корозії.

– Вміст Cr 25...27%. Марки сталей: 0X25, 10X25T, застосовують їх для роботи з гарячими лугами і кислотами, при захисту деталей вимірювальних приладів що контактують з агресивними газами при високих температурах (муфелі, реторти тощо). Вони мають феритну структуру і термообробкою не зміцнюються.

Хромонікелеві нержавіючі сталі. Якщо у хромисту нержавіючу сталь додатково ввести більше 8% нікелю, то вона буде мати аустенітну структуру. Це підвищує корозійну стійкість і міцність сталі. Іноді нікель частково замінюють менш дефіцитним марганцем (сталі 0X18H9, 10X18H10T, 12X18Г9H4T). Введення титану до складу таких сталей запобігає виникненню міжкристалічної корозії. При відсутності титану в сталі утворюються карбіди хрому, що призводить до зменшення на цих ділянках незв'язаного хрому, необхідного для захисту від корозії. Титан, як сильний карбідоутворюючий елемент зв'язує весь вуглець, що не дає умов для утворення карбідів хрому.

Сталі аустенітного класу також не зміцнюються термообробкою. Хромонікелеві нержавіючі сталі застосовують в автомобілебудуванні, авіа- та ракетобудуванні, в хімічній промисловості, будівництві і архітектурі.

Жаростійкі і жароміцні сталі і сплави. Жаростійкість (окалиностійкість) – це опір матеріалу окисленню при високих температурах, зокрема, в середовищі агресивних газів. Висока жаростійкість досягається шляхом введення в сталі елементів, які утворюють щільні, тугоплавкі окисні плівки (окисні плівки заліза мають досить рихлу будову). Такими елементами є *Cr, Al, Si*, які утворюють плівки складу – Cr_2O_3 , Al_2O_3 , SiO_2 .

Застосовують такі сталі в паливній, котельній апаратурі, двигунах внутрішнього згорання, ракетній техніці, різних теплових агрегатах. Ці сталі працюють, як правило, в ненавантаженому або слабонавантаженому стані.

Для роботи до температури 450...500°C застосовують низьколеговані сталі: 15ХМ, 20Х2С, 12ХМФ; до 750...850°C – 40Х9С2 (сильхром); до 900°C – Х12ЮС; 10Х18Н10Т; до 1000...1100°C - 15Х25Т.

Жароміцність - це здатність матеріалу працювати під навантаженням при високих температурах. Жароміцність характеризується межею повзучості, тривалою і короткочасною міцністю. З підвищенням температури і збільшенням тривалості дії навантажень міцність зменшується.

Жароміцність залежить, перш за все від рівня міжатомних зв'язків основного елементу. Чим вище температура плавлення, тим більше жароміцність. Найвищу жароміцність має крупнозерниста аустенітна структура.

До температури 300...350 °C явища повзучості в сталі не спостерігається. Тому немає необхідності застосовувати спеціальні сталі. В таких умовах використовують котельні сталі, оброблені на підвищену міцність: до температури 400...500°C - 15Х1МФ, 40Х9С2; до 500...650°C - 12Х18Н10Т; при робочій температурі більше 650...800°C застосовують не сталі, а сплави на основі *Ni* (ніхром ХН80, німонік ХН80Т), а також *Co*.

Зносостійкі сталі і сплави. Ці матеріали повинні мати високий опір зношуванню. До цієї категорії належать:

1. Шарикопідшипникові сталі (сталі з високою твердістю);
2. Графітизовані сталі;
3. В'язкі сталі.

Шарикопідшипникові сталі. Ці сталі повинні мати високу контактну міцність, оскільки навантаження концентрується на невеликій площі (локальних ділянках). Структура має бути однорідною і дрібнодисперсною, без неметалічних включень. Найбільш поширеними є сталі: ШХ6, ШХ9, ШХ15, ШХ15СГ. Їх термічна обробка включає гартування + відпускання (старіння при 150...170). Твердість 60...64 HRC.

Графітизовані сталі. Наявність графіту у структурі сталі покращує її антифрикційні властивості, зменшуючи знос і коефіцієнт тертя. Графіт в структурі сталей отримують за рахунок часткового розпаду цементиту. Такі сталі повинні мати підвищену кількість вуглецю і кремнію (як графітуючого елементу). Кількість вуглецю в цих сталях знаходиться в межах 1,30..1,75%, а кремнію – 0,70...1,6%.

Для отримання графіту проводять графітизуючий відпал при температурі 820...840°C і охолодження до температури 700...720°C з витримкою і подальшим охолодженням. При цьому отримують структуру зернистого перліту.

Для забезпечення зносостійкості поверхневого шару високовуглецеві сталі піддають спочатку поверхневому легуванню (насиченню кремнієм), а потім проводять графітизуючий відпал.

Деталі з графітизованих сталей часто піддають подальшому гартуванню і відпусканню. З таких статей виготовляють штампи холодного штампування, колінчасті вали, деталі тертя. Марки сталей: ЭИ293, ЭИ336.

В'язкі сталі. До них відносяться високомарганцеві сталі (сталі Гадфільда). Вони містять 1,0...1,35%С та 11-14% Мп. Застосовують їх, головним чином, у литому стані. Твердість їх невисока (200...250 НВ), вони в'язкі і погано обробляються різанням. При невеликих навантаженнях і в умовах звичайного абразивного зносу ці сталі не характеризуються високою зносостійкістю. Проте при великому питомому тиску та ударних навантаженнях опір зносу різко підвищується. Причиною є значна схильність аустенітної структури до нагартування. Крім того, в поверхневому шарі виробів в результаті нагартування утворюється мартенсит деформації, що також забезпечує високу зносостійкість. З таких сталей виготовляють зуби ковшів екскаваторів, траки гусениць; залізничні і трамвайні хрестовини, стрілочні переводи, робочі органи дробарок. Марки сталей: Г130, Г13Л.

В литому стані ці сталі виявляють крихкість. Для зменшення крихкості їх піддають гартуванню з температури 1050...1100°C у воді з метою розчинення карбідів.

Запитання для самопідготовки та закріплення набутих знань:

1. Область застосування, шляхи зміцнення і структура інструментальних сталей.
2. Сталі для різального інструменту, їх термічна обробка?
3. Особливості швидкорізальних сталей, їх маркування і термічна обробка?
4. Штампові сталі, їх призначення і вимоги до них.
5. Принцип легування і термічна обробка штампових сталей
6. Сталі для вимірювального інструменту, їх термічна обробка.
7. Мета додавання титану в нержавіючу сталь?
8. Особливості легування корозійностійких, жаростійких і жароміцних сталей.
9. Шарикопідшипникові сталі, особливості їх маркування та термічна обробка.
10. Формування високої зносостійкості сталі Г13Л, її властивості та термічна обробка.

Рекомендована література: [3, 4]

2.11 Лекція 11. Кольорові метали і сплави.

План висвітлення матеріалу лекцій

1. Сплави на основі алюмінію. Деформуючі алюмінієві сплави. Сплави, що зміцнюються термообробкою. Сплави для поковок і штамповок. Ливарні алюмінієві сплави.

2. Сплави на основі міді. Латуні. Бронзи. Алюмінієві бронзи. Кремнієві бронзи. Берилієві бронзи.

3. Антифрикційні матеріали. Бабіти.

Основні терміни: сплав; однорідний твердий розчин; вторинна фаза; ступінь зміцнення; дюралюміній; старіння; міцність;

Методичні поради до вивчення лекції

В розділі "Кольорові метали та сплави" розглядаються сплави на основі алюмінію та міді, їх класифікація в залежності від технологічних властивостей на ливарні та для деформування, принципи маркування, технологія зміцнення та раціональне застосування в промисловості.

Сплави на основі міді – латуні та бронзи. Дається їх порівняльна характеристика, особливості властивостей, класифікація і маркування, приклади застосування.

Антифрикційні сплави для підшипників ковзання – бабіти, алюмінієві та мідні сплави. Особливості їх властивостей для забезпечення роботи агрегатів, їх раціональне застосування в залежності від умов роботи.

Короткий зміст лекцій

Серед кольорових металів найширше застосування в техніці знайшли сплави на основі алюмінію, міді, магнію, дещо менше – свинцю і олова (Sh).

1. Сплави на основі алюмінію.

Алюміній має невисоку температуру плавлення ($660\text{ }^{\circ}\text{C}$), малу питому вагу ($2,7\text{ г/см}^3$), високу пластичність ($\delta=40\%$) і невисоку міцність ($\sigma_{\text{в}} = \text{МПа}$ ($6\ldots 8\text{ кгс/мм}^2$)). Завдяки утворенню на поверхні щільної і міцної окисної плівки (Al_2O_3) він має високу корозійну стійкість. Як конструкційний матеріал алюміній в чистому вигляді (крім електротехніки) практично не застосовується, але широкого розповсюдження отримали сплави алюмінію з *Cu*, *Si*, *Mn*, *Mg*. Ці елементи з алюмінієм мають схожий характер взаємодії - частково розчиняються в алюмінії, утворюють евтектику і хімічні сполуки (рис. 58).

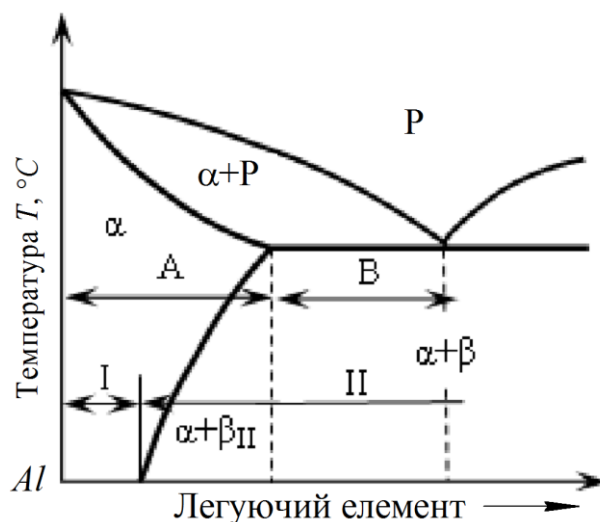


Рисунок 58 – Типова діаграма стану алюміній-легуючий елемент (Cu, Mg, Mn, Si)

В залежності від структури і технологічних властивостей всі алюмінієві сплави поділяються на: деформовані, з яких отримують вироби шляхом пластичного деформування, та ливарні, які застосовуються для виготовлення литих заготовок.

Деформуючі алюмінієві сплави. Згідно з діаграмою стану ці сплави можуть мати структуру однорідного твердого розчину (α) (рис. 59 а), що має гарну пластичність в холодному стані, або твердого розчину з включеннями вторинної фази (рис. 59 б), що підвищує міцність сплавів.

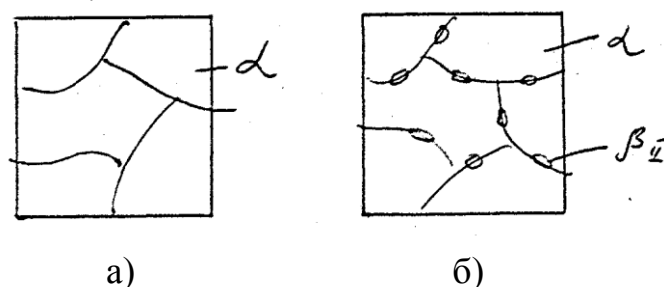


Рисунок 59 – Схема структури деформуючого алюмінієвого сплаву:
а – однорідний твердий розчин; б – твердий розчин з включеннями вторинної фази

Ці сплави для поліпшення деформованості (при необхідності) нагрівають вище лінії граничної розчинності (PQ), в область однорідного твердого розчину.

Однофазні сплави не зміцнюються термічною обробкою. Їх міцність можна підвищити лише шляхом нагартування.

Двофазні (багатофазні) можуть зміцнюватися термічною обробкою. Ступінь зміцнення залежить від концентрації легуючих елементів. Деякі алюмінієві сплави з двофазною структурою ($Al-Mg$) при термообробці практично не зміцнюються і їх відносять до незміцнюваних.

До групи сплавів, що не зміцнюються термічною обробкою, також відносять сплави системи $Al-Mn$. Сплави цієї системи маркуються АМц, а сплави системи $Al-Mg$ – АМГ. Ці сплави легко штампуються, добре зварюються, мають високу корозійну стійкість. З них виготовляють ємності

(баки для бензину), трубопроводи, вітражі, перегородки, рами, корпуса катерів тощо.

Сплави, що зміцнюються термообробкою. До цієї групи відносяться дюралюміні, сплави типу "авіаль", високоміцні для поковок і штамповок, жароміцні сплави.

Розглянемо технологію зміцнення на прикладі дюралюміні. Дюралюміні є системою $Al-Cu$ з невеликими добавками Mn і Mg . Ці усі елементи і утворюють зміцнюючі фази. Сплави піддають гартуванню і подальшому старінню. При гартуванні дюралюмін нагрівають на $5...10^{\circ}C$ вище лінії граничної розчинності (для розчинення інтерметалічних з'єднань) і швидко охолоджують у воді. При цьому отримується пересичений твердий розчин Cu та ін. елементів в Al . Але після гартування сплави мають порівняно невисоку міцність і високу пластичність, що дозволяє проводити деформацію металу (згинання, розклепування).

Після загартування проводиться природне або штучне старіння (рис. 60).

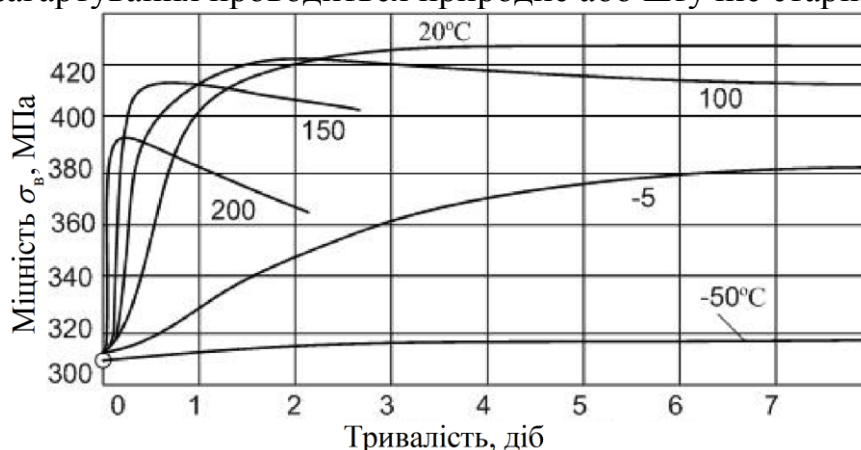


Рисунок 60 – Зміна міцності при старінні дюралюмінію при різних температурах

При природному старінні загартовані сплави витримують при кімнатній температурі $5...7$ діб. При цьому в перенасиченому твердому розчині атоми другого компонента (Cu) збираються в певних місцях кристалічної ґратки, утворюючи зони підвищеної концентрації розчиненого компонента, так звані зони Гін'є-Престона. Це спричиняє підвищенні напруження у кристалі, подібні до блоків мозаїки, що призводить до підвищення твердості і міцності.

Для прискорення процесу проводять штучне старіння. При штучному старінні сплави нагрівають (зазвичай $110...180^{\circ}C$) і витримують в залежності від розмірів виробу. З підвищенням температури максимальні значення міцності (твердості) зменшуються. При штучному старінні мають місце три стадії старіння:

- перша стадія протікає при невисоких температурах (до $80...100^{\circ}C$) і процеси аналогічні природному старінню;
- на другій стадії ($150...200^{\circ}C$) в зонах Гін'є-Престона утворюється проміжна Θ' – фаза, близька за хімічним складом до інтерметаліду $CuAl_2$ і когерентно пов'язана з твердим розчином.

– при більш високих температурах ($\approx 200^{\circ}\text{C}$) або більш тривалих витримках Θ' - фаза відділяється від твердого розчину, утворюючи самостійну Θ – фазу (CuAl_2). Міцність і твердість при цьому зменшується.

Таким чином, штучне старіння проводять до другої фази.

Дюралюміній маркують наступним чином: Д1, Д16, де Д - дюралюміній; 1, 16 – номер сплаву згідно ДСТУ. Дюралюміній добре обробляється різанням в загартованому стані та після старіння і погано – у відпаленому; добре зварюється точковим зварюванням і дуже погано – зварюванням плавленням. Дюралюміній широко використовують в літакобудуванні, будівництві, автомобілебудуванні.

Сплави для поковок і штамповок. Найбільш поширені марки: АК6, АК8 (А-алюміній, К-ковкий, цифра – порядковий номер).

Жароміцні сплави: АК2, АК4, Д20. Для підвищення жароміцності, тобто запобігання явищу "перестаріння", в ці сплави додатково вводять Fe , Ni , Ti . Жароміцність досягає температури $300\ldots 320^{\circ}\text{C}$. Сплави застосовують при виготовленні: поршнів, головок циліндрів, крильчаток, лопаток компресорів, обшивок літаків.

Ливарні алюмінієві сплави. Ливарні алюмінієві сплави мають в структурі крихку евтектику, яка практично не дозволяє деформувати ці сплави. Формування евтектики підвищує ливарні властивості сплаву. Вони мають хорошу рідкотекучість, невелику усадку.

Деякі ливарні алюмінієві сплави можуть зміцнюватися термічною обробкою (гартуванням і старінням). Підвищення механічних властивостей цих сплавів здійснюється подрібненням структури шляхом введення у розплав модифікуючих добавок. Маркування: АЛ2, АЛ8 А-алюміній, Л – ливарний, 2 – номер сплаву.

Найбільш широко застосовуються сплави системи Al-Si силуміни: АЛ2, АЛ4, АЛ9. Їх застосовують для мало- і середньонавантажених деталей. АЛ2 не зміцнюється, а АЛ4 і АЛ9 зміцнюються термічною обробкою. З них виготовляють корпуси компресорів, картери і блоки циліндрів двигунів, різні кришки.

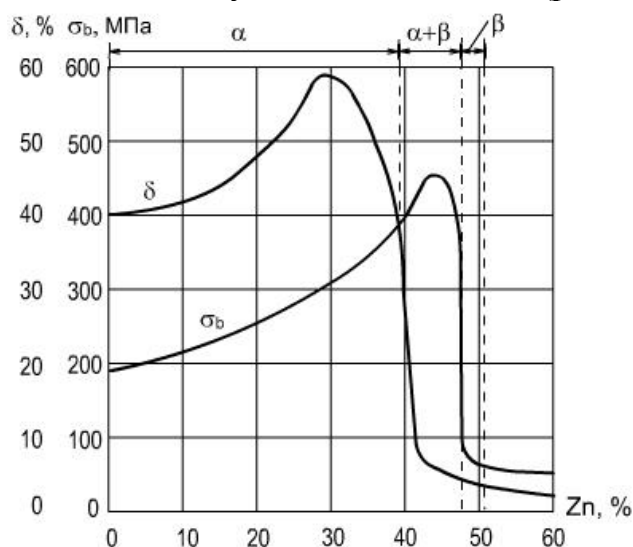
Ливарні сплави Al-Cu (АЛ7, АЛ9) добре зміцнюються термообробкою. Сплави Al-Mg мають невисокі ливарні властивості, але для них характерна висока корозійна стійкість і оброблюваність різанням.

2. Сплави на основі міді.

У чистому вигляді мідь застосовують головним чином в електротехніці. В якості промислових сплавів широко застосовуються сплави міді: латуні і бронзи.

Латуні. Латунню називаються сплав міді з цинком (Cu-Zn). Технічні латуні містять до 45% Zn . В залежності від вмісту цинку розрізняють однофазні (α -латуні) і двофазні ($\alpha+\beta$) латуні. Однофазна латунь має структуру твердого розчину цинку в міді. Гранична розчинність цинку – 39%. Ці сплави добре деформуються в холодному і гарячому стані. Завдяки високій

пластичності, латуні служать матеріалом для виготовлення дроту, фольги, гільз, ювелірних виробів тощо. Двофазна латунь містить 39...45% *Zn*. Вони міцніші і менш пластичні. З них виготовляють різні прутки, смуги, напівфабрикати. Маркування: Л90, Л76, Л59. Л-латунь, 90 - вміст міді (решта – цинк).



δ – відносне видовження; σ_b – межа міцності

Рисунок 61 – Залежність зміни механічних властивостей латуней від вмісту цинку

Окрім цинку у складі латуні можуть бути ще і легуючі елементи. Такі латуні називаються *спеціальними*. До них відносяться:

- свинцеві (автоматні) з високою оброблюваністю різанням: ЛС59-1, ЛС74-3;
- олов'яні (морські), мають стійкість проти корозії в морській воді: ЛО60-1, ЛО90-1;
- алюмінієві: ЛАЖ60-1-1;
- кремнієві: ЛК80-3 та ін.

Бронзи. *Бронзи* – це сплави міді з оловом, кремнієм, алюмінієм, свинцем, берилієм тощо (окрім цинку). Цинк іноді вводять до складу бронзи як замітник дефіцитного олова.

Бронзи мають хорошу міцність, корозійну стійкість та антифрикційність. В промисловості широко застосовують олов'яні бронзи, що містять до 6% олова – для деформування, більше 6% – як ливарний сплав. На практиці застосовують бронзи, що містять до 10...12% олова. Олов'яні бронзи мають малу усадку, що дозволяє її використовувати в художньому литві, для виготовлення вкладишів підшипників ковзання, арматури, втулок, пружин. Марки: БрО-9; БрОФ69-0,5; БрОЦС5-5-5.

Олов'яні бронзи досить дорогі через високу вартість олова. У промисловості знаходять широке застосування безолов'яні бронзи.

Алюмінієві бронзи. Містять до 11% *Al*, а також *Mn*, *Fe*, *Ni*. Ці бронзи мають високі механічні і технологічні властивості, високий опір корозії. При вмісті алюмінію 9...11%, а також *Ni*, *Mn*, *Fe*, бронзи можуть зміцнюватися термічною обробкою (гартуванням і старінням). Застосовують алюмінієві

бронзи для виготовлення фасонного литва, втулок, фланців, шестерень. Марки: БрА7, БрАЖН10-4-4.

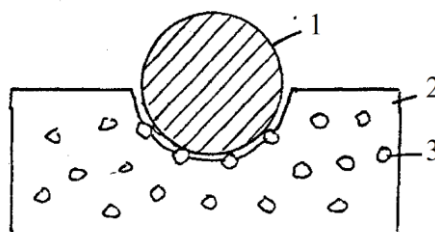
Кремнієві бронзи. При легуванні кремнієм (зазвичай до 4%) підвищується міцність і пластичність. Додатково легують марганцем, нікелем. Ці бронзи добре обробляються тиском і різанням, зварюються. Їх застосовують для виготовлення пружин, пружних деталей приладів та деталей, працюючих в прісній і морській воді.

Берилієві бронзи. Ці бронзи мають високу міцність і пружність, хімічну стійкість, добре зварюються і обробляються різанням. Берилієві бронзи можуть значно зміцнюватися термічною обробкою (гартування і старіння) до $\sigma_B = 1250 \dots 1400 \text{ МПа}$ при твердості 350...400 НВ. З них виготовляють пружини, мембрани, пружні контакти, а також безіскровий ударний інструмент, який використовують у вибухонебезпечних місцях. Марки: БрБ2, БрБНТ1.

3. Антифрикційні матеріали.

Антифрикційними називаються матеріали, що забезпечують надійність і працездатність вузлів тертя (підшипники ковзання, вкладиші). Антифрикційні матеріали повинні мати: низький коефіцієнт тертя і високу зносостійкість; добре припрацювання; здатність добре утримувати мастило (змочуваність); теплопровідність, необхідну для відведення тепла від поверхні тертя в масу підшипника; корозійну стійкість та економічність. Твердість такого матеріалу має бути меншою твердості контртіла, тобто валу.

Антифрикційні матеріали (бабіти, бронзи та ін.) створюють за правилом Шарпі, тобто, в пластичній основі знаходяться більш тверді включення (рис. 62). Пластична основа забезпечує припрацювання, має високу межу витривалості, поглинає продукти зносу, а тверді включення зміцнюють матеріал, зменшують при роботі поверхню (площу) тертя і, як наслідок, коефіцієнт тертя. Утворений проміжок між валом і вкладишем забезпечує доступ оливи в зону тертя.



1 – вал; 2 – пластична основа; 3 – тверді включення

Рисунок 62 – Схема роботи антифрикційного матеріалу

Бабіти. Це сплави на основі олова і свинцю. Олов'яні бабіти – це сплав олова з сурмою. Для попередження ліквіації за питомою вагою у бабіти вводять деяку кількість міді (3...7%): В83, Б89, Б83, Б98 – середній вміст олова, сурми – 7...2%. Внаслідок дефіцитності олова, олов'яні бабіти є дорогим матеріалом.

Свинцеві бабіти – це сплав свинцю із сурмою. Також додатково вводять мідь і невелику кількість олова. Б6, Б16, де, цифра 6; 16 – вказує на вміст олова у відсотках, вміст сурми – 13...17%.

В олов'яних бабітах пластичною основою є твердий розчин сурми в олові, а твердими включеннями $SnSb$, Cu_3Sn . у свинцевих – м'якою основою є евтектика, а твердим включеннями – кристали сурми і Cu_3Sn .

Бабіти мають невисоку міцність, що викликає необхідність застосовувати міцний сталевий або чавунний корпус, куди заливають бабіти. Бабіти мають невисоку температуру плавлення.

Запитання для самопідготовки та закріплення набутих знань:

1. Охарактеризуйте алюмінієві сплави.
2. Які сплави кольорових металів зміцнюються термічною обробкою?
3. В чому полягає механізм термічного зміцнення дуралюміну.
4. Легуючі елементи для виробництва алюмінієвих сплавів
5. Ливарні алюмінієві сплави, їх маркування та властивості
6. Алюмінієві сплави для деформування, їх класифікація, маркування та властивості.
7. Характеристика та класифікація мідних сплавів
8. Які сплави називають латунями і бронзами?
9. Маркування латуней їх властивості та застосування.
10. Маркування бронз їх властивості та застосування.
11. З якою метою додають до латуні олово, нікель, залізо?
12. Які властивості повинні мати антифрикційні сплави?

Рекомендована література: [3, 4]

2.12 Лекція 12. Композиційні матеріали

План висвітлення матеріалу лекцій

1. Композиційні матеріали з металевою і неметалевою матрицею.
2. Технологія отримання композиційних матеріалів. Волокнисті композиційні матеріали. Дисперсійно-зміцнювані композиційні матеріали.
3. Конструкційні порошкові матеріали. Антифрикційні сплави на основі бронзи і заліза. Фрикційні матеріали на основі заліза і міді.
4. Сфера застосування композиційних матеріалів. Економічна доцільність застосування порошкових сплавів.

Основні терміни: компоненти; матриця; основа; наповнювач; армування; просочення; температура; дисперсно-зміцнені матеріали.

Методичні поради до вивчення лекції

В розділі розглядаються пластичні маси, композиційні та порошкові матеріали, їх властивості розглядаються у порівнянні з металами, а також технології виготовлення деталей з цих матеріалів, доцільність їх використання.

Короткий зміст лекцій

1. Композиційні матеріали з металевою і неметалевою матрицею.

Композиційними називають складні матеріали, до складу яких входять компоненти, що сильно відрізняються за властивостями, нерозчинні або малорозчинні один в одному і розділені в матеріалі яскраво вираженою межею.

Основа композиційного матеріалу називається *матрицею*, якою служать метали або сплави (композиційні матеріали на металевій основі), а також полімери, вуглецеві і керамічні матеріали (композиційні матеріали на неметалевій основі). У матриці рівномірно розподілені інші компоненти, які називаються наповнювачами (зміцнювачами) або армуючими компонентами.

Властивості композиційного матеріалу залежить від природи наповнювача, його форми, розмірів, кількості і характеру розподілу в матриці.

За формою наповнювача композиційні матеріали поділяють на волокнисті і дисперсно-зміцнені.

За характером розподілу в матриці композиційні матеріали – підрозділяють на три групи: з одновісним, двовісним і тривісним армуванням.

2. Технологія отримання композиційних матеріалів.

Найважливішими технологічними методами виготовлення композиційних матеріалів є: просочення армуючих волокон рідким матричним матеріалом; формування в прес-формі стрічок зміцнювача і матриці, які отримуються намотуванням; холодне пресування обох компонентів з подальшим, спіканням; осадження матриці плазмовим напиленням на зміцнювач з подальшим обтисканням; пакетне дифузійне зварювання багатошарових стрічок компонентів; спільне прокатування армуючих елементів з матрицею та ін.

Волокнисті композиційні матеріали. У волокнистих композитах зміцнювачами служать волокна або ниткоподібні кристали чистих елементів і тугоплавких з'єднань (B , C , Al_2O_3 , SiC та ін.), а також дріт з металів і сплавів (Mo , W , Be , високоміцна сталь та ін.). Для армування композиційних матеріалів застосовують безперервні і дискретні волокна.

При зміцненні волокнами кінцевої довжини навантаження на них передається через матрицю за допомогою дотичних напружень. Теоретичні розрахунки, підтверджені практикою, показують, що чим тонше і довше волокно, тобто, чим більше відношення довжини до діаметру, тим вище степінь зміцнення.

Властивості волокнистих композиційних матеріалів більшою мірою залежать від схеми армування. Зважаючи на значну відмінність у властивостях волокон і матриці при одновісному армуванні фізичним і механічним властивостям композиційного матеріалу властива анізотропія. При навантаженні розтягу тимчасовий опір і модуль пружності композиційних матеріалів досягають найбільших значень у напрямі розташування волокон, найменших – в поперечному напрямі. Наприклад, композиційний матеріал з матрицею технічного алюмінію АД1, зміцнений волокнами бору, у напрямі волокон має $\sigma_B = 1000 \dots 1200$ МПа, а в поперечному – всього 60...90 МПа. Анізотропія властивостей не спостерігається при двовісному армуванні зі взаємно перпендикулярним розташуванням зміцнюючих волокон. Проте в порівнянні з одновісним армуванням міцність уздовж осі волокон зменшується майже в три рази.

При виготовленні деталей з композиційних матеріалів волокна орієнтують так, щоб з максимальною ефективністю використати їх властивості з урахуванням діючих навантажень в конструкції.

Міцність композиційних матеріалів великою мірою залежить від міцності зчеплення волокон з матрицею. Для металевих композиційних матеріалів міцний зв'язок між волокном і матрицею здійснюється завдяки їх взаємодії і утворенню тонкого шару (1...2 мкм) інтерметалідних фаз. Крім того, міцність зчеплення між компонентами залежить від їх механічної сумісності, на яку впливає різниця в пластичних властивостях, в значеннях коефіцієнтів Пуассона і лінійного розширення, модулів пружності. Механічна несумісність призводить до виникнення залишкових напружень на межі поділу компонентів, які викликають порушення зв'язку між компонентами.

Найбільш перспективними матеріалами для матриць металевих композиційних матеріалів є Al , Mg , Ti , Ni , Cu і їх сплави.

Матеріали з алюмінієвою матрицею, що знайшли промислове застосування, в основному армують сталевим дротом (КАС), борним волокном (ВКА) і вуглецевим волокном (ВКУ). Використання в якості матриці сплаву В95, зміцненого термообробкою (гартування і старіння), дає додатковий ефект зміцнення композиції.

Основне завдання при створенні композиційних матеріалів на нікелевій основі (ВКН) полягає в підвищенні робочих температур вище температури

1000°C. Кращим металевим зміцнювачем є вольфрамовий дріт, що забезпечує міцність композиту при температурі 1100°C впродовж 100 годин на рівні 130...250 МПа. Неармований нікелевий сплав має міцність за таких умов 75 МПа.

Дисперсійно-зміцнені композиційні матеріали. В цих матеріалах зміцнювальними компонентами служать дисперсні частинки тугоплавких фаз – оксидів, нітридів, боридів, карбідів.

Дисперсно-зміцнені матеріали отримують, в основному, методом порошкової металургії та введенням наповнювача в розплавлений метал перед розливанням.

У дисперсно-зміцнених композиційних матеріалах основне навантаження сприймає матриця, а дисперсні частинки зміцнювача чинять опір руху дислокацій при навантаженні матеріалу, ускладнюють розвиток пластичної деформації. Рівень міцності залежать від об'ємного вмісту зміцнюючої фази, степеню дисперсності і відстані між частинками.

Промислове застосування знайшли дисперсно-зміцнювальні композиційні матеріали на алюмінієвій основі (САП - спечений алюмінієвий порошок). Структура являє собою алюмінієву основу з рівномірно розподіленими дисперсними включеннями Al_2O_3 . САП добре деформується в гарячому стані, легко обробляється різанням і задовільно зварюється аргонодуговим зварюванням. Міцність САП складає 300...450 МПа при відносному видовженні 1,5...7%.

Металеve скло. При надвисоких швидкостях охолодження з рідкого стану ($>1 \cdot 10^6$ °C/с) дифузійні процеси настільки сповільнюються, що пригнічується (стримується) утворення зародків і ріст кристалів. В цьому випадку утворюється аморфна металева структура. Матеріали з такою структурою отримали назву аморфні сплави або металеve скло. Металеve скло вдало поєднує високу міцність твердість і зносостійкість з хорошою пластичністю і корозійною стійкістю.

3. Конструкційні порошкові матеріали.

Антифрикційні сплави на основі бронзи і заліза. Промислове застосування отримали сплави бронза-графіт і залізографіт, виготовлені методом порошкової металургії. У цих матеріалах графіт (вміст графіту в межах 1...25 %) відіграє роль твердого мастила.

Бронзографітові матеріали (БрОГр10-3), застосовуються для виготовлення підшипників машин, електромоторів, шестерень. Вони замінюють литі бронзи, латуні, підшипники кочення.

Залізографіт – найбільш поширений антифрикційний матеріал на основі заліза. Гранична швидкість ковзання досягає 2...3м/с. Ці матеріали мають ферито-перлітну структуру, їх міцність залежить в першу чергу від вмісту графіту. Маркування сплаву: ЖГр-1, де цифра вказує вміст графіту.

Фрикційні матеріали на основі заліза і міді. Найбільше поширення з фрикційних матеріалів на залізній основі отримали сплави ФМК-8, ФМК-11,

які призначені для роботи в умовах сухого тертя. До їх складу входить 50...80 % Cu , 5...15% C (графіт), 10% Pb , 20% Fe , 5% SiO_2 , 2...10% Ti , до 20% MoS_2 та інші домішки, в залежності від потрібних властивостей сплаву. Застосовують для виготовлення гальмівних дисків; муфт зчеплення автомобілів, фрикційних вузлів, колодкових і стрічкових гальм тощо.

4. Сфера застосування композиційних матеріалів.

Композиційні сплави на основі алюмінію і магнію відрізняються малою питомою густиною і застосовуються в авіаційній і космічній техніці.

Висока міцність армованого титану дозволяє застосувати його в умовах великих навантажень і підвищених температур, наприклад, для сопел газотурбінних двигунів і лопаток вентиляторів. Композиційні матеріали на основі нікелю і кобальту представляють найбільший інтерес для роботи в якості жароміцних матеріалів при підвищених температурах - для виготовлення деталей авіаційних газових турбін і інших енергетичних установок, як робочі і соплові лопатки, теплові екрани, жарові труби, стінки камер згорання та ін.

У сільськогосподарському машинобудуванні композиційні матеріали застосовуються для виготовлення різальних частин плугів, дискових косарок тощо.

Економічна доцільність застосування порошкових сплавів. Методи порошкової металургії дозволяють металургії в максимальній ступені економити трудові витрати і матеріальні ресурси при випуску виробів конструкційного призначення. У ряді випадків конструкційні матеріали за своїми унікальними властивостями не мають аналогів і дозволяють забезпечувати випуск якісно нової продукції.

Виробництво деталей методами порошкової металургії практично не має відходів. Собівартість виготовлення порошкових конструкційних деталей середньої складності в 2...3 рази нижче собівартості деталей з прокату або лиття. Продуктивність праці підвищується в 2...2,5 рази.

Запитання для самопідготовки та закріплення набутих знань:

1. Які матеріали називаються композиційними? Їх класифікація?
2. Методи виготовлення композиційних матеріалів.
3. Властивості волокнистих композиційних матеріалів
4. Температурний інтервал спікання різних композиційних матеріалів.
5. Властивості композиційних матеріалів та їх застосування?
6. Зносостійкі порошкові матеріали.
7. Конструкційні порошкові матеріали на основі заліза, їх маркування.
8. Економічна доцільність застосування порошкових сплавів.

Рекомендована література: [3, 4]

3. СТРУКТУРА, КОРОТКИЙ ЗМІСТ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ ТА МЕТОДИЧНІ ПОРАДИ ДО ЇХ ВИВЧЕННЯ

3.1 Лабораторна робота № 1

Тема: Методи дослідження властивостей і будови металів

Мета:

1. Ознайомитись з основними механічними властивостями металів. Освоїти методику вимірювання твердості.
2. Освоїти методику і практику макро- і мікроскопічного методу аналізу.

Короткі теоретичні відомості

Механічні властивості – це характеристики, які визначають поведінку матеріалів (металів) під дією зовнішніх механічних сил. До основних механічних властивостей відносяться: твердість, міцність, пластичність.

Твердість – це здатність матеріалу чинити опір вдавлюванню в нього твердого тіла (індентора). Найбільш поширені методи визначення твердості: по Брінеллю (HB), Роквеллу (HRB, HRC, HRA), Віккерсу (HV).

Для вивчення будови металів застосовують макро- та мікроскопічний метод аналізу.

Макроскопічний метод (макроаналіз) полягає у вивченні будови металів і сплавів неозброєним оком та за допомогою лупи зі збільшенням до 30-40 разів. Будова металів, вивчена за цим методом, називається макроструктурою. Макроаналіз дозволяє визначити: порушення суцільності металу: будову сплавів: хімічну неоднорідність розподілу деяких елементів у сплаві (ліквацію); неоднорідність сплаву, викликану термічною, хіміко-термічною або термомеханічною обробками; неоднорідність будови сплаву, викликану його наступною обробкою тиском, - фігури течії металу, волокнистість.

Макроаналіз за зломом. Під час вивчення вигляду злому можна встановити характер руйнування деталей (крихке, в'язке або від втомленості), структурну й хімічну неоднорідність, як наслідок термічної або хіміко-термічної обробки. В площині злому можна виявити дефекти, які сприяли його руйнуванню.

Крихкий злом може бути фарфороподібним (характерний для нормально загартованої інструментальної сталі), нафталіністим (перегрів при гартуванні), каменеподібним (крупнокристалічна структура), жердиноподібним (довгі кристали).

В'язкий злом має волокнисту будову. Форма зерен дуже скривлена, тому що перед руйнуванням відбувається пластична деформація.

Злом від втомленості завжди має дві зони руйнування попередню, ніби шліфовану з терасами і зону остаточного руйнування (доломування).

Макроаналіз за допомогою макрошліфів. На макрошліфах досліджують хімічну й структурну неоднорідність металу, волокнисту будову

деформованого металу, дендритну будову литва, якість зварювання, а також можна виявити дефекти, які порушують суцільність металу.

Мікроскопічний метод (мікроаналіз) полягає у вивченні структури металів за допомогою металографічного мікроскопа. Структуру, яку спостерігають у мікроскопі, називають мікроструктурою.

Основні завдання та методичні поради до їх виконання:

1. Визначити твердість матеріалів і дані занести в таблицю 1.1.
2. Вивчити заданий злам металу, дати йому повну характеристику і замалювати.
3. Дослідити макрошліфи заданих деталей, змалювати, вказати спосіб виготовлення (литвом, штампуванням, різанням і т.д.).
4. Розглянути на мікроскопі і мікрошліфі металів і замалювати схеми (зразки).

Таблиця 1.1 – Твердість матеріалів

№ п/п	Матеріал	Твердість		
		HRB	HRC	HB
1	Чавун			
2	Незагартована сталь			
3	Загартована сталь			
4	Алюміній			

Запитання для самопідготовки та закріплення набутих знань:

1. Що таке твердість, міцність, пластичність?
2. Для визначення твердості яких матеріалів слід застосовувати метод Брінелля або Роквелла.
3. Дати характеристики крихких зламів.
4. Яка технологія виготовлення макро- і мікрошліфів.
5. Що вивчають методами макро- і мікроаналізу.
6. Які фактори впливають на величину зерна при кристалізації.

Рекомендована література: [6, 8]

3.2 Лабораторна робота №2

Тема: Аналіз діаграми стану залізо-вуглець

Мета:

1. Вивчити фази і структури метастабільної діаграми стану залізо-вуглець, їх характеристики і властивості.
2. Розшифрувати лінії та області діаграми і зробити аналіз перетворень, які відбуваються при нагріванні і охолодженні сплавів.

Короткі теоретичні відомості

Діаграма стану залізо-вуглець у графічній формі показує залежність структури і властивостей сплавів від концентрації вуглецю і зміни температури. Структурними складовими залізобуглецевих сталей можуть бути: аустеніт, ферит, цементит, перліт, ледебурит.

Аналіз діаграми стану залізо-вуглець, зміст критичних точок та ліній дано в лекції №2, рисунок 14.

Основні завдання та методичні поради до їх виконання:

Намалювати діаграму залізо-вуглець. Описати перетворення, які відбуваються в сплавах при нагріванні та охолодженні за завданням викладача.

Наприклад: провести аналіз структурних перетворень при нагріванні та охолодженні доєвтектоїдної сталі.

Початкова структура Ф+П. При нагріванні до т. A_{c1} структура не змінюється. При температурі т. A_{c1} перліт перетворюється в аустеніт і це супроводжується подрібненням зерна. Замість кожного перлітного утворюється декілька більш дрібних аустенітних зерен. Феритне зерно не змінюється. При охолодженні аустеніт перетворюється в перліт. Величина зерна при цьому не змінюється. Відбулась часткова перекристалізація.

При нагріванні від т. A_{c1} до т. A_{c3} ферит перетворюється в аустеніт, незначно зростає зерно і отримується дрібнозерниста структура аустеніту. При охолодженні перетворення відбудуться в зворотньому порядку (виділення фериту від т. A_{r3} до т. A_{r1} , перетворення аустеніту в перліт в т. A_{r1}), але величина зерна не змінюється і отримується дрібнозерниста структура фериту і перліту. Відбулась повна перекристалізація.

При подальшому нагріванні значно вище т. A_{c3} зростає аустенітне зерно і при охолодженні отримується крупнозерниста структура, що знижує механічні властивості, особливо ударну в'язкість.

При температурі солідус почнеться плавлення аустеніту і при температурі ліквідус закінчиться. Вище температури ліквідус сплав буде в рідкому стані.

Запитання для самопідготовки та закріплення набутих знань:

1. Дати визначення понять: фаза, компонент, сплав.
2. Яке перетворення відбувається на лініях *PSK* і *ECF*?
3. Назвати лінії розчинності вуглецю у фериті, аустеніті.
4. Що таке ферит, аустеніт, перліт, ледебурит, цементит.
5. Яка кількість вуглецю знаходиться в аустеніті при температурі евтектоїдного перетворення?
6. До яких сплавів входять цементит первинний, вторинний, третинний?

Рекомендована література: [8]

3.3 Лабораторна робота №3

Тема: Вивчення структури і властивостей вуглецевих сталей у рівновазі

Мета:

1. Вивчити мікроструктуру вуглецевих сталей та її дефекти.
2. Виявити вплив вуглецю на твердість сталей.

Короткі теоретичні відомості

Сталі – це залізовуглецеві сплави, які мають до 2,14% вуглецю.

Сплави, в яких знаходиться до 0,02% вуглецю, називають технічно чистим залізом, від 0,02 до 0,8%С – доєвтектоїдними сталями і від 0,8 до 2,14%С – заєвтектоїдними сталями, а при 0,8С – евтектоїдна сталь.

Структурні складові сталей.

Ферит (Ф), має 0,006%С. М'яка, маломіцна, пластична складова сталей. Твердість 80НВ (800 МПа), $\sigma_{\text{тимч.}}$ 250 МПа, $\delta=50\%$. Під мікроскопом має вигляд світлих зерен неправильної форми.

Аустеніт (А). Пластичний, немагнітний (парамагнітний), існує при температурах, вищих за 727°C. В залізовуглецевих сплавах, в стані рівноваги при кімнатних температурах його нема.

Цементит (Ц), має постійну кількість вуглецю – 6,67%. Дуже твердий (1000 НВ, або 800 НВ), не пластичний.

Перліт (П), має постійну кількість вуглецю – 0,8%, твердість 180-230 НВ. Може бути пластинчастим, або зернистим.

Структура доєвтектоїдної сталі складається з фериту і перліту. При збільшенні кількості вуглецю в сталі кількість перліту зростає, а фериту зменшується, що приводить до підвищення твердості.

Структура заєвтектоїдної сталі складається з перліту і вторинного цементиту. Цементит розташовується на межах зерен перліту у вигляді світлої сітки, що призводить до підвищення крихкості.

Деякі дефекти мікроструктури сталей.

1. Велике зерно і “відманштеттова” структура можуть бути в литій сталі або в сталі, яку нагрівали до дуже високої температури, значно вище т. Ас₃. “Відманштеттова” структура відрізняється не тільки великим зерном, а й характерним розташуванням фериту доєвтектоїдної та вторинного цементиту заєвтектоїдної сталі. Ферит і цементит мають вигляд голок чи пластин. Така сталь має знижені механічні властивості, особливо ударну в'язкість.

2. У стрічкуватій структурі перліт, ферит або цементит розташовуються стрічками, шарами. Частіше такий дефект буває після обробки тиском, якщо температура обробки була недостатньою між т. Ас_{II} і Ас₃. Сталь з такою структурою має різні механічні властивості залежно від напрямку прикладення сили (вздовж або впоперек). Таку сталь гірше оброблювати різанням.

3. Поверхнєве зневуглецювання сталі виникає у випадку нагрівання сталей в атмосфері, яка містить багато кисню. На поверхні такої сталі буде менше вуглецю, а це знижує міцність, твердість та опір зношенню при терті.

Основні завдання та методичні поради до їх виконання:

1. Під мікроскопом вивчити мікрошліфи сталей (4 зразка) та візуально визначити площі, які займають в полі зору мікроскопа ферит, перліт, цементит вторинний (%). За кількістю фериту і перліту в доєвтектоїдній сталі, та перліту і цементиту в заєвтектоїдній, вказати клас за структурою, визначити кількість вуглецю в сталі, написати її марку і застосування.

$$\text{для евтектоїдної сталі } \%C = \frac{0,8 \cdot P_{\text{п}}}{100},$$

$$\text{для заевтектоїдної \%C} = \frac{0,8 \cdot P_{\text{п}}}{100} + \frac{6,67 \cdot P_{\text{ц}}}{100},$$

де, 0,8; 6,67 – відповідно кількість вуглецю в перліті та цементиті (у %);
 $P_{\text{п}}$ і $P_{\text{ц}}$ відповідно площі, які займають перліт та цементит вторинний.

2. Виміряти твердість зразків і побудувати графік залежності твердості від вмісту вуглецю (табл. 3.1 і рис. 3.1).

Таблиця 3.1 – Твердості зразків від вмісту вуглецю

Номер зразка	Кількість вуглецю	Структура	Твердість	
			HRB	HB
1				
2				
3				
4				

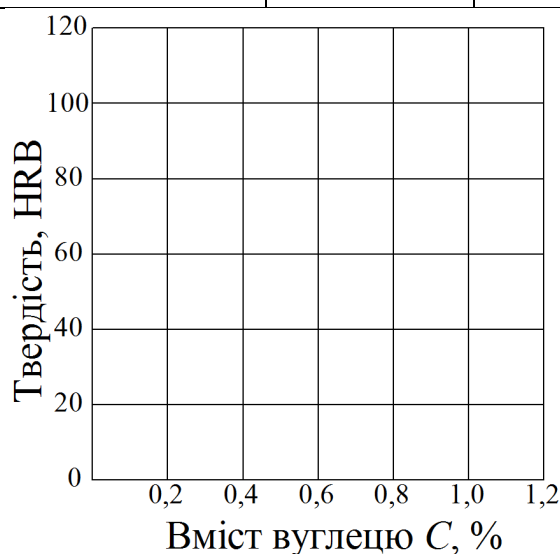


Рисунок 3.1 – Залежність твердості від вмісту вуглецю

4. Під мікроскопом (2 зразка) визначити вид дефекту, причину виникнення і їх вплив на властивості сталей.

Запитання для самопідготовки та закріплення набутих знань:

1. Що являє собою ферит, аустеніт, цементит, перліт?
2. Як впливають вуглець, марганець, сірка та інші постійні домішки на властивості сталі?
3. Класифікація сталей за якістю, структурою і призначенням.
4. Скільки вуглецю містять сталі 50, У10, Ст.3?
5. Яку структуру мають у рівновазі сталі 40, У12?
6. Яка сталь придатна для виготовлення вала, різця, пружини?
7. Дефекти в структурі сталі.

Рекомендована література: [8]

3.4 Лабораторна робота № 4

Тема: Вивчення структури і властивостей чавунів

Мета:

1. Вивчити структуру чавунів під мікроскопом.

2. Навчитись за структурою розподіляти чавуни на білі, сірі, ковкі й високоміцні.

3. Дослідити вплив структури металевої основи на механічні властивості чавунів.

Короткі теоретичні відомості

Чавуни – це залізовуглецеві сплави з вмістом вуглецю від 2,14% до 6,67%. Крім заліза й вуглецю, до складу входять у значних кількостях й інші елементи: кремній (1,0...3,5%), марганець (0,5...1,5%), сірка (близько 0,1%) та ін.

Залежно від швидкості охолодження й хімічного складу вуглець у чавунах може бути або в стані хімічної сполуки (цементит), або у вільному стані (графіт різної форми). У зв'язку з цим чавуни бувають білі й сірі.

Білий чавун у зломі має світлий відтінок, тому що в ньому весь вуглець перебуває у вигляді цементиту. Такий чавун дуже крихкий та твердий (600-800 НВ) важко піддається обробці різанням і в практиці застосовується рідко.

Сіримі називають чавуни, в яких вуглець повністю або частково знаходиться у вільному стані у вигляді графіту. Наявність графіту надає злому темного кольору (звідси й назва).

У свою чергу чавуни поділяються на звичайний сірий (з пластинчастими включеннями графіту), ковкий (з пластівчастими, лапчастими включеннями) та високоміцний (з кулястими включеннями графіту).

За структурою металевої основи чавуни поділяють на феритні, феритно-перлітні та перлітні. Залежно від форми графіту, його кількості, а також металевої основи чавуни можуть мати різні механічні властивості.

Високоміцний чавун одержують у результаті додавання до рідкого чавуну невеликих кількостей магнію або церію. У присутності цих елементів утворюються частки графіту кулястої форми. Така форма графіту виключає наявність гострих надрізів металевої основи, тому міцність цього чавуну зростає.

Ковкий чавун одержують із білого доєвтектичного методом графітизуючого відпалу.

Позначення марок і застосування чавунів дано в лекції №4.

Основні завдання та методичні поради до їх виконання:

1. Вивчити класифікацію і маркування чавунів.
2. Під мікроскопом дослідити мікрошліфи білих і сірих чавунів (без травлення і протравлених), визначити їх тип, структурні складові і застосування.
3. Виміряти твердість зразків (чотири).
4. Виявити вплив структури металевої основи на твердість і міцність чавунів.
5. Визначення мікроструктури чавунів. Замалювати схеми структур протравлених зразків, вказати клас за структурою металевої основи і формою графітних включень та приклади застосування.

6. Дослідження впливу, структури металевої основи на твердість і міцність чавуну (див. таблицю).

7. Згідно формули $\sigma_{\text{тимч.}} = (HB - 40)/6$ підрахувати міцність при розтягу сірих чавунів і написати марку.

8. Підсумки роботи записати в табл. 4.1. Пояснити залежність твердості від характеру структури.

Таблиця 4.1 – Вплив структури металевої основи на твердість і міцність чавунів.

№	Структура чавуну	Форма графіту	Діаметр відбитку (лунки)	Твердість		Міцність	Марка
				HB	HRC		
1	П+Л+Ц _п	-	-			-	-
2	Ф+Г	пластинчаста					
3	Ф+П+Г	пластинчаста					
4	П+Г	пластинчаста					

Запитання для самопідготовки та закріплення набутих знань:

1. Різниця між сталями та чавунами.
2. Які форми графіту можуть бути у чавунів?
3. Яка може бути структура металевої основи чавунів.
4. Які фактори впливають на формування структури чавунів?
5. На які механічні властивості і як впливає форма графіту та структура металевої основи чавунів?
6. Що позначають букви і числа в марках чавунів?
7. Для виготовлення яких деталей застосовують відповідно сірі, ковкі, високоміцні чавуни?
8. З якою метою проводять модифікування чавунів?
9. Методи одержання ковких і високоміцних чавунів.

Рекомендована література: [8].

3.5 Лабораторна робота № 5

Тема: Гартування вуглецевих і легованих сталей

Мета:

1. Ознайомитись з практикою гартування.
2. Дослідити вплив температури нагрівання і швидкості охолодження на структуру і властивості сталей.

Короткі теоретичні відомості

Термічна обробка металів при якій підвищується твердість, міцність і зносостійкість називається гартування. Процес гартування складається з двох операцій (стадій): нагрівання до певних температур і охолодження із певною швидкістю.

Висока твердість при гартуванні може бути отримана лише за умов, коли аустеніт, при охолодженні із критичною швидкістю, перетвориться в мартенсит, який має високу твердість (55÷65 HRC). При охолодженні аустеніту

з швидкостями, меншими за критичну, можуть утворитись феритно-цементитні суміші: перліт, сорбіт, тростит, твердість яких значно менша, відповідно 15;30;40 HRC. Оптимальна температура нагрівання для доевтектоїдних сталей на $30\div 50^{\circ}\text{C}$ вище точки A_{c3} , де буде аустеніт, а заевтектоїдних – на $30\div 50^{\circ}\text{C}$ вище точки A_{c1} , де буде аустеніт і цементит вторинний. Після охолодження зі швидкістю, більшою за критичну, утворюються структури: мартенсит в доевтектоїдних і евтектоїдних та мартенсит, цементит вторинний і певна кількість залишкового аустеніту в заевтектоїдних.

Легуючі елементи впливають на положення критичних точок A_{c1} ; A_{c3} ; A_{cm} : марганець і нікель знижують, а решта підвищують, що необхідно враховувати при визначенні режимів гартування. А взагалі температура нагрівання вища ніж у вуглецевих з однаковою кількістю вуглецю.

Вуглець підвищує загартовуваність сталей, а легуючі елементи на твердість суттєво не впливають. Але практично всі легуючі елементи збільшують прогартовуваність сталей на більшу відстань від поверхні, що сприяє підвищенню об'ємної міцності виробів.

Швидкість охолодження при гартуванні залежить від охолоджуючої здатності середовища та розмірів виробів.

Основні завдання та методичні поради до їх виконання:

1. Виміряти твердість загартованих вуглецевих зразків сталі з різних температур при охолодженні у воді, і користуючись діаграмою стану FeC, визначити відповідні структури і за цими даними встановити оптимальні температури для кожної сталі (табл. 5.1).

Таблиця 5.1 – Оптимальна температура нагрівання сталей

Марка сталі	Характеристика	Первинна	Після гартування з температури, $^{\circ}\text{C}$		
			770	840	900
45	Твердість, HRB, (HRC)				
	Структура				
У10	Твердість, HRB, (HRC)				
	Структура				

2. Виміряти твердість сталей охолоджених у різних середовищах, визначити відповідні структури і встановити гартувальне середовище для певної категорії сталей (табл. 5.2).

Таблиця 5.2 – Визначення оптимальних середовищ для охолодження

Марка сталі	Оптимальна температура гартування	Середовище і швидкість охолодження					
		Вода, 600°C/с.		Масло, 150°C/с.		Повітря, 10°C/с.	
		HRC	Структура	HRC	Структура	HRC	Структура
У10							
9XC							
40X13							

3. Побудувати графіки залежності твердості кожної сталі від температури гартування та швидкості охолодження (рис. 5.1).

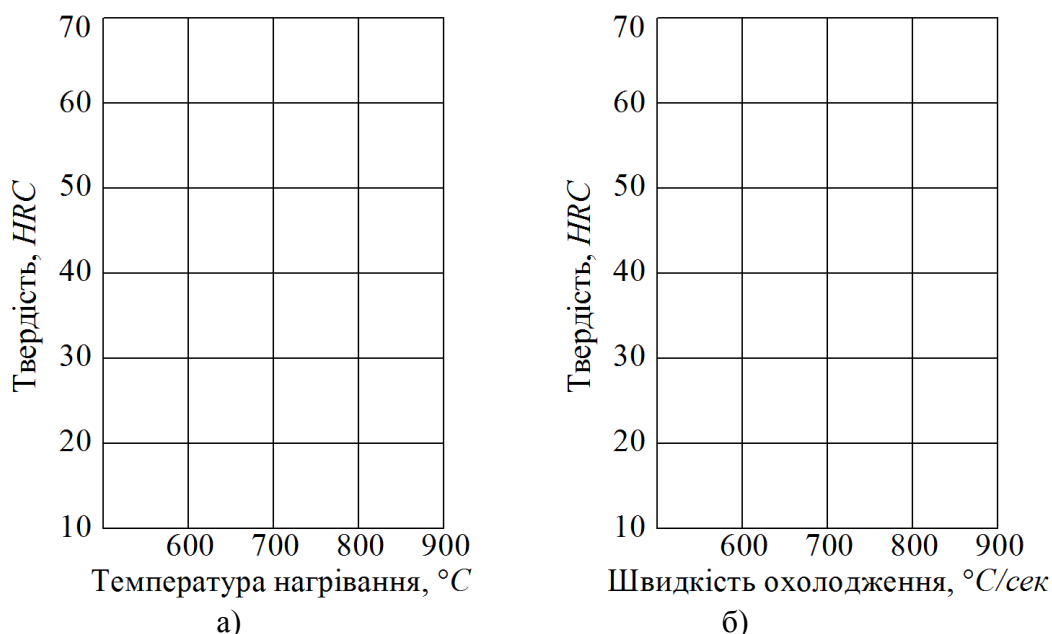


Рисунок 5.1 – Залежність твердості сталей від температури нагрівання (а) та швидкості охолодження (б).

4. Дати пояснення впливу температури гартування і швидкості охолодження на твердість кожної марки сталі.

Запитання для самопідготовки та закріплення набутих знань:

1. Що таке гартування і з яких процесів воно складається?
2. Що таке мартенсит, тростит, сорбіт?
3. Що таке критична швидкість охолодження при гартуванні.
4. У чому полягає повне гартування сталей 40 і У12? Яка буде структура?
5. Призначте середовище для охолодження сталей 50, У10, 9ХС?
6. Фактори, що впливають на кількість залишкового аустеніту в загартованій сталі.
7. Чому мартенсит може мати різну твердість, від чого це залежить?
8. Що таке загартовуваність і прогартовуваність і від чого вони залежать?
9. Яка з цих сталей буде мати більшу твердість після гартування: 20Х2Н3А, 40Г2С, У10?
10. Яка сталь має більшу прогартовуваність при правильному гартуванні 45ХГ2СА, 9ХС, У12А?

Рекомендована література: [8].

3.6 Лабораторна робота № 6

Тема: Відпускання загартованих сталей

Мета:

1. Ознайомитись з відпусканням загартованих сталей.
2. Дослідити вплив температури відпускання на твердість загартованих вуглецевих і легуваних сталей.
3. Оцінити теплостійкість інструментальних сплавів.

Короткі теоретичні відомості

Відпускання – це вид термічної обробки, який полягає в нагріванні зартованих сталей до температур, нижчих від температури у точці A_{c1} , витримуванні при цих температурах і охолодженні здебільшого на повітрі. Відпускання проводять для зменшення внутрішніх напружень і твердості, підвищення ударної в'язкості, а також отримання більш стійких структур.

Після гартування в доевтектоїдних і евтектоїдних сталях буде структура мартенситу, а в заевтектоїдних – мартенситу, вторинного цементиту (вторинних карбідів) і залишкового аустеніту. При температурах 150-200°C мартенсит частково збіднюється на вуглець у вигляді карбідів, напруження і крихкість зменшуються, а твердість практично не змінюється. Утворюється так званий мартенсит відпускання. При температурах 200-300°C залишковий аустеніт перетворюється в мартенсит відпускання. Це може привести, при значній його кількості до підвищення твердості і збільшення розмірів. При температурах 300-400°C відбувається повний розпад мартенситу на дрібнодисперсну феритно-цементитну (феритно-карбідну) суміш – тростит відпускання. Подальше нагрівання до 500-650°C приводить до збільшення розмірів часток карбідів і їх заокруглення, структура – сорбіт відпускання.

Легуючі елементи, особливо W, Mo, V, Cr, Co затримують дифузійні процеси в сталях і тим самим підвищують температуру точки A_{c1} і структурних перетворень при відпусканні. При цьому, висока твердість ріжучого, штампового інструменту, деяких деталей машин, зберігається до відносно високих температур. В швидкорізальних сталях, наприклад, залишковий аустеніт перетворюється в мартенсит при 520-570°C, а розпад мартенситу починається вище 650-670°C. Тож властивість сталей зберігати твердість з підвищенням температури називається *теплостійкістю*.

На практиці застосовують три види відпускання: низьке, середнє і високе.

При низькому відпусканні (150-250°C), утворюється структура мартенситу в доевтектоїдних і евтектоїдних сталях та мартенситу відпускання і вторинного цементиту (вторинних карбідів) в заевтектоїдних, твердість 58-65 HRC. Призначають для ріжучого, штампового і вимірювального інструменту, деталей машин, де необхідна висока твердість поверхні (зубчасті передачі, пальці, вісі, вали) з метою зменшення напружень і крихкості.

При середньому відпусканні (350÷450°C) утворюється структура троститу відпускання, твердість 40-45 HRC. Призначається переважно для ресор та пружин з метою надання міцності і пружності.

При високому відпусканні (500-650°C) утворюється структура сорбіту відпускання, твердість 25-35 HRC. Призначають для деталей машин, на які діють динамічні навантаження: стиск, розтяг, кручення, згин з метою надання міцності, витривалості та ударної в'язкості. Це такі деталі, як шатуни, важелі, вали, вісі, зубчасті передачі, а також штампи гарячої деформації.

Термічну обробку, яка складається з гартування та високого відпускання, називають термічним поліпшенням.

Обробка сталі холодом. Після гартування високовуглецевих, особливо легованих сталей, в структурі утворюється значна кількість залишкового аустеніту (до 25÷30%). Це приводить до зниження твердості, зносостійкості, а також до зміни розмірів внаслідок самодовільного перетворення аустеніту в мартенсит. Для усунення цих негативних явищ проводять обробку холодом, яка полягає в охолодженні загартованих сталей до температур нижче точки M_k (-30...-70°C). Для усунення напружень, після обробки холодом призначають низьке відпускання.

Основні завдання та методичні поради до їх виконання:

1. Виконати відпускання загартованих вуглецевих і легованих сталей при температурах 200, 400, 550, 800°C і виміряти твердість (табл. 6.2).

2. Записати структури, які повинні відповідати кожній температурі відпускання (табл. 6.2).

3. Побудувати графіки залежності твердості від температури відпускання (рис. 6.1).

4. Оцінити теплостійкість інструментальних сплавів.

Таблиця 6.1 – Режими гартування і відповідні структури сталей, які досліджувались (лабораторна № 3.5).

Марка сталі (сплаву)	Хімічний склад, %	Режим гартування (температура, нагрівання, середовище охолодження)	Структура загартованої сталі
45			
У10			
9ХС			
Р18			
ВК6			

Підсумки досліджень:

Таблиця 6.2 – Твердість і структури сталей після відпускання.

Марка сталі (сплаву)	Характеристика	Після гартування	Температура відпускання, °C			
			200	400	550	800
45	Твердість, HRC					
	Структура					
У10	Твердість, HRC					
	Структура					
9ХС	Твердість, HRC					
	Структура					
Р18	Твердість, HRC					
	Структура					
ВК6	Твердість, HRC					
	Структура					

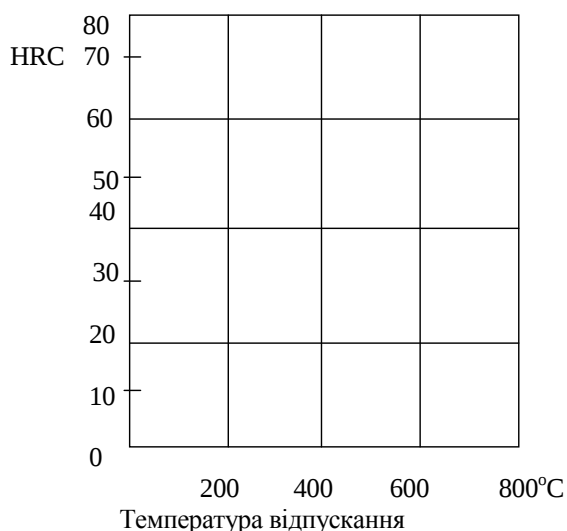


Рисунок 6.1 – Залежність твердості сталей від температури відпускання.

5. Вказати вплив температури відпускання на твердість загартованих сталей.
6. Вказати вплив легуючих елементів на відпускання сталей і пояснити особливості відпускання високолегованих швидкорізальних сталей.
7. Визначити теплостійкість інструментальних матеріалів (°C).
8. Визначити оптимальні режими відпускання для кожної сталі.

Запитання для самопідготовки та закріплення набутих знань:

1. Що таке відпускання і його мета?
2. Які основні перетворення відбуваються при нагріванні (відпусканні) загартованих сталей?
3. Для яких виробів слід призначати низьке, середнє і високе відпускання та їх режими?
4. Які структури утворюються після низького, середнього і високого відпускання?
5. Що таке термічне поліпшення?
6. Як впливають легуючі елементи на температуру і зміни структури при відпусканні?
7. Що таке теплостійкість сталей?

Рекомендована література: [8].

3.7 Лабораторна робота № 7

Тема: Поверхнєве зміцнення сталі

Мета:

1. Основні методи поверхневого зміцнення.
2. Вивчити структури після різних видів хіміко-термічної обробки сталей.

Короткі теоретичні відомості

Деталі машин, що працюють в умовах зношуваності поверхні (вали, вісі, зубчасті колеса, поршневі пальці, пальці гусеничних траків тощо) повинні мати

високу твердість та зносостійкість поверхні і в'язку середину. Для надання таких властивостей застосовують методи поверхневого та об'ємно-поверхневого зміцнення. Найбільш поширені методи: поверхнєве гартування і ХТО.

Поверхнєве гартування полягає в нагріванні певним джерелом енергії невеликого (кілька мм) поверхневого шару виробу і наступному охолодженні. Найбільш часто застосовують індукційне нагрівання СВЧ та полумєнєве.

ХТО полягає в дифузійному насиченні поверхневих шарів металів різними хімічними елементами (неметалами або металами) в поєднанні з термічною обробкою, внаслідок чого змінюється хімічний склад, структура і властивості поверхні. Основні види ХТО: цементація, азотування, нітроцементація та ціанування, борування, силіціювання, а також дифузійна металізація.

Основні завдання та методичні поради до їх виконання:

1. Дослідити мікроструктури сталей після цементації, азотування і дифузійного хромування.

2. Заміряти твердість (HRC) зразків після цементації, гартування і низького відпускання.

3. Схеми мікроструктур з вказанням матеріалу, виду ХТО, її призначення та режимів, а також приклади застосування.

4. Підсумки досліджень: визначення глибини цементації й характеру зміни твердості після комплексної обробки (цементація, гартування, низьке відпускання (табл. 7.1).

5. Підсумки роботи. Мікроструктури після ХТО з повним описом режимів (три зразки): марка сталі; вид ХТО, її мета; режим ХТО; застосування.

Таблиця 7.1 – Глибини цементації й характеру зміни твердості сталі

Марка сталі	Вид обробки	Твердість	Відстань від поверхні, мм					
			0	1	2	3	4	5
	Цементація, гартування, низьке відпускання	HRC						

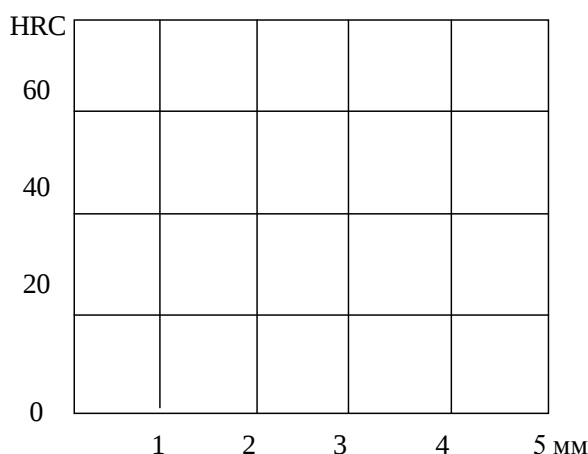


Рисунок 7.1 – Залежність зміни твердості від глибини цементації

Запитання для самопідготовки та закріплення набутих знань:

1. У яких випадках застосовується поверхнєве зміцнення?

2. Які існують способи поверхневого гартування?

3. У чому різниця між термічною й хіміко-термічною обробками?

4. Що таке цементация, азотування, нітроцементация?
5. Які фактори впливають на ефективність процесів ХТО?
6. З якою метою проводять дифузійне хромування, алітування?

Рекомендована література: [8].

3.8 Лабораторна робота № 8

Тема: Вивчення властивостей легованих сталей

Мета:

Визначати хімічний склад, структуру, властивості легованих сталей та їх призначення.

Короткі теоретичні відомості

Легованими називають сталі, до складу яких спеціально вводять легуючі елементи для зміни структури й властивостей. До легуючих елементів належать хром, нікель, молібден, вольфрам, ванадій, кобальт, титан, алюміній, бор, ніобій, мідь, марганець, кремній та ін.

Головна мета легування переважної більшості сталей – підвищення міцності за рахунок розчинення легуючих елементів у фериті та аустеніті, утворення карбідів та збільшення прогартовуваності. Крім того, легуючі елементи можуть підвищувати стійкість проти корозії, теплостійкість, жаростійкість (окалиностійкість), жароміцність та ін. Такі елементи як хром, марганець, молібден, вольфрам, ванадій, титан утворюють карбіди, а нікель, кремній, мідь, алюміній карбідів не утворюють. Марганець та нікель знижують критичні точки A_1 і A_3 , а решта – підвищують. Крім того, легуючі елементи зменшують критичну швидкість охолодження при гартуванні, що необхідно враховувати при призначенні режимів гартування (температури нагрівання та середовища для охолодження). При значній кількості легуючих елементів може суттєво змінитись структура, що приводить до утворення нових структурних класів в порівнянні з вуглецевими сталями.

Знання хімічного складу, структури і впливу легуючих елементів дозволяє об'єктивно оцінити експлуатаційні властивості сталей, їх раціональне застосування і призначити необхідну термічну обробку.

Позначення марок і застосування легованих сталей дано в лекції №8.

Основні завдання та методичні поради до їх виконання:

Розшифрувати хімічний склад заданих сталей, вказати мету легування, клас по структурі і призначенню, їх застосування і призначити метод зміцнення, вказавши кінцеву структуру (табл. 8.1).

Таблиця 8.1 - Характеристика легованих сталей

№ п/п	Марка сталі	Хімічний склад	Мета легування	Клас сталі		Для яких виробів застосовується	Метод зміцнення (термічна або хіміко-термічна обробка)
				по стр-рі	за призн.		

Наприклад: сталь 20ХН2ТА. Склад 0,20%С, 1%Cr, 2%Ni, 0,10%Ti, А – високоякісна.

Мета легування: хром утворює карбіди, подрібнює зерно, підвищує міцність; нікель підвищує міцність і в'язкість; титан подрібнює зерно і гальмує його ріст при нагріванні.

Структура: доєвтектоїдна сталь (Евт.+Ф_{лег}): по призначенню: конструкційна, низьковуглецева, для цементації.

Застосування: зубчасті передачі, вісі, пальці.

Метод зміцнення: цементація, гартування і низьке відпускання.

Структура: мартенсит відпускання.

Запитання для самопідготовки та закріплення набутих знань:

1. Класифікація легованих сталей за структурою й призначенням.
2. Маркування легованих сталей.
3. Яку структуру мають сталі 18ХГТ, ХВГ, Р18, 10Х17, Г13Л в стані відпалу?
4. Яку із сталей необхідно вибрати для виготовлення медичного інструменту? 40ХН, 20ХН3А, 40Х13, Г13Л.
5. Назвати марку конструкційної сталі для цементації 45Х, 20ХНР, 9ХС, ХВ5.
6. Назвіть сталь, яка містить алюміній 20Х2Н4А, А20Г, 38ХМЮА.
7. Чим пояснюється висока зносостійкість сталі Г13Л?
8. Назвіть сплав з теплостійкістю до 1000°С: Р14Ф4, Т15К6, Р6М5.
9. З якою метою в нержавіючі сталі додають титан?
10. Назвіть сталь аустенітного класу: 10Х13, Х12М, Г13, ХВ5.

Рекомендована література: [8].

3.9 Лабораторна робота № 9

Тема: Вивчення будови і властивостей кольорових сплавів

Мета:

1. Вивчити мікроструктуру, властивості і застосування латуней, бронз, алюмінієвих та антифрикційних сплавів.
2. Вивчити вплив режимів гартування та штучного старіння на механічні властивості дуралюмініу.

Короткі теоретичні відомості

1. Сплави на основі міді: латуні і бронзи.

Латуні – це сплави на основі міді, в яких головним легуючим елементом є цинк. Вони бувають прості, які мають в своєму складі тільки мідь і цинк, та багатокомпонентні. Останні мають в своєму складі, крім цинку, різні хімічні елементи для підвищення міцності (алюміній, нікель), корозійної стійкості (олово, алюміній), антифрикційності (свинець, кремній), оброблюваності різанням (свинець) та ін. В техніці застосовують латуні з вмістом цинку до 45%. В

залежності від кількості цинку існують однофазні α – латуні (до 39% цинку), та двофазні $\alpha + \beta$ – латуні (39-45% цинку). По технологічному признаку латуні поділяються на такі, що оброблюються тиском та ливарні. Однофазні латуні мають високу пластичність і їх використовують для виготовлення тонкого дроту, тонкостінних трубок, наприклад, радіаторних, змійовиків, гільз, ювелірних виробів. Двофазні латуні мають більшу міцність але меншу пластичність, їх використовують для деталей машин, водяної арматури, різних заготовок.

Ливарні латуні більш леговані цинком і іншими елементами. У них менший інтервал кристалізації, а тому й кращі ливарні властивості.

Маркування латуней

Латуні маркуються літерою “Л”. Прості латуні: Л96, Л85, Л59, де число показує кількість міді у відсотках, а решта цинк. В багатокомпонентних латунях легуючі елементи позначаються початковою літерою назви цього елемента: А – алюміній, Б – берилій, Ж – залізо, К – кремній, Н – нікель, О – олово, С – свинець, Ф – фосфор.

Приклади:

1. Латуні, що оброблюються тиском: Л96, Л70, ЛАН65-3-2 (міді 65%, алюмінію 3%, нікелю 2%, решта цинк) – суднобудування, електричні машини, ЛА85-1 – для виготовлення атрибутів відзнак (замінник золота), ЛО70-1 – стійкість проти корозії в прісній та морській воді, ЛС64-2 – добре оброблюється різанням (автоматна), антифрикційні властивості.

2. Ливарні латуні. Маркуються по типу легованих сталей: ЛЦ14К3С3 (цинку 14%, кремнію 3%, свинцю 3%, решта мідь) – підшипники, втулки; ЛЦ30А3 – корозійностійкі деталі; ЛЦ25С2 – штуцери гідросистем.

Бронзи. Це теж сплави на основі міді. По хімічному складу вони поділяються на олов’яні, в яких основним легуючим елементом є олово, та безолов’яні, де легуючими елементами є алюміній, кремній, берилій, нікель, залізо. Бронзи в порівнянні з латунями мають кращі механічні, антифрикційні властивості і корозійну стійкість. По технологічному признаку поділяються на ті, що оброблюються тиском та ливарні. Найбільш відомі олов’яні бронзи. Вміст олова в них не перевищує 10-12%. Зі збільшенням кількості олова підвищується твердість та міцність і зменшується пластичність.

Олов’яні бронзи, що оброблюються тиском мають до 5% олова, а ливарні – більше 5%.

Безолов’яні бронзи часто перевищують по своїм властивостям олов’яні і до того ж дешевші.

Маркування і застосування бронз

Бронзи маркуються літерами Бр. Легуючі елементи позначаються тими ж літерами, що й в латунях.

1. Бронзи олов’яні, що оброблюються тиском БрОФ6-0,4; БрОЦ4-3; (олова 4%, цинку 3%, решта – мідь).

БрОЦС-4-4-4. Виготовляють пружини, зубчасті колеса, втулки, деталі машин.

2. Бронзи олов'яні ливарні: Бр010; Бр05Ц5С5; Бр010Ц2С5. Використовують для виготовлення підшипників, парової і водяної арматури, в художньому литті (статуетки, скульптури).

3. Бронзи безолов'яні, що оброблюються тиском: БрА5; БрАЖ9-4; БрКМц3-1. Виготовляють пружні деталі (мембрани, пружини) механізми годинників. БрАЖН10-4-4 – шестірні, втулки, черв'яки, блоки циліндрів в гідросистемах. БрБ2 – після термічної обробки (гартування і старіння) має міцність 1300-1400 МПа, а твердість 280-300 НВ. Виготовляють відповідальні пружини та мембрани, пружні контакти в електричних пристроях, а також безіскровий інструмент.

4. Бронзи безолов'яні ливарні. Мають високу міцність, антифрикційність, застосовуються для виготовлення деталей, які працюють у важких умовах: БрА11Ж6Мц2 – зубчасті колеса, втулки, клапани, БрС30; БрС30Н2 – важконавантажені підшипники.

2. Сплави на основі алюмінію. Алюміній має високу пластичність, корозійну стійкість, електропровідність, малу питому вагу, але малу міцність. Тому як конструкційний матеріал практично не застосовується. З технічного алюмінію виготовляють дріт, фольгу, конденсатори, деякий посуд, ємкості. Але головним чином використовують сплави алюмінія з міддю, магнієм, марганцем, кремнієм, цинком.

По технологічному признаку сплави поділяються на ті, що деформуються та ливарні. В свою чергу вони поділяються на такі що зміцнюються або не зміцнюються термічною обробкою. До сплавів, що деформуються і не зміцнюються термічною обробкою відносяться сплави алюміній-марганець (АМц) і алюміній магній (АМг). З них виготовляють бензинові баки, труби, рами, вітражі, перегородки в суднах та літакобудування.

До сплавів, що зміцнюються термічною обробкою, належать дуралюмін (Д1, Д16), авіаль (АВ), високоміцні (В95), сплави для поковок і штамповок (АК6, АК8). Термічна обробка полягає в гартуванні і наступному старінні: природньому (при 20°C на протязі 5-7 діб), або штучному (150-200°C). Після гартування твердість і міцність невеликі і сплави можна піддавати різним видам обробки (різанням, штампуванням). В процесі старіння твердість, міцність зростають майже вдвічі (до 75-80 HRB). Максимальну міцність надає природнє старіння.

Ливарні сплави мають в структурі евтектику, яка покращує ливарні властивості. Найбільш поширені сплави алюмінію з кремнієм – так звані сілуміни, які мають в складі 6-13% кремнію (АЛ2, АЛ4, АЛ9). Літера Л – означає ливарний. Сілуміни практично не зміцнюються термічною обробкою і застосовуються при невеликих навантаженнях. Виготовляють картери, блоки циліндрів, корпуси, кришки, флянці, труби. Ливарні сплави алюмінія з міддю (АЛ7, АЛ19) ефективно зміцнюються термічною обробкою.

Цифри в маркуванні алюмінієвих сплавах означають його номер і не несуть ніякої інформації про хімічний склад.

3. Антифрикційні сплави. Ці матеріали застосовуються для виготовлення підшипників ковзання (втулок, вкладишів) і повинні мати високу зносостійкість і малий коефіцієнт тертя, добру прироблюваність, утримувати на поверхні

мастила, достатню міцність. До них належать бабіти, олов'яні та свинцеві бронзи, порошкові сплави.

Бабіти – це сплави на олов'яній або свинцевій основі, в яких основним легуючим елементом є сурма, а також присутня мідь і інші елементи. Олов'яні бабіти: Б89, Б83. Б – бабіт, а число – вміст олова. Наприклад, Б83 – 83% олова, 11% - сурми і 6% міді. Структура бабітів складається з пластичної основи (твердий розчин міді і сурми в олові) та твердих включень хімічних сполук SnSb та Cu_3Sn . Більш дешевими є свинцеві, бабіти (Б6, Б16). Цифра теж вказує на вміст олова. Застосовують бабіти в вузлах тертя парових машин, потужних електродвигунів, підшипники колінчастих валів. Бабіти заливають в сталевий, чавунний, бронзовий корпус, або наносять на сталеву стрічку (для міцності).

Як антифрикційний матеріал застосовують також бронзи (БрОЦС5-5-5, БрО12, БрС30) і порошкові сплави: (ЖГр5, БрОГр9-3).

Основні завдання та методичні поради до їх виконання:

1. Дослідити мікроструктури кольорових сплавів.
2. Виміряти твердість дуралюміну після гартування та штучного старіння при температурах 100, 200 і 300°C протягом 30 хв (рис 9.1) та при температурі 200°C протягом 15 і 45 хв. (рис. 9.2).
3. Побудувати графіки залежності твердості дуралюміну від режимів термічної обробки.

Операція	Твердість, HRB
Гартування	
Старіння за 30 хв. при t°	
100	
200	
300	

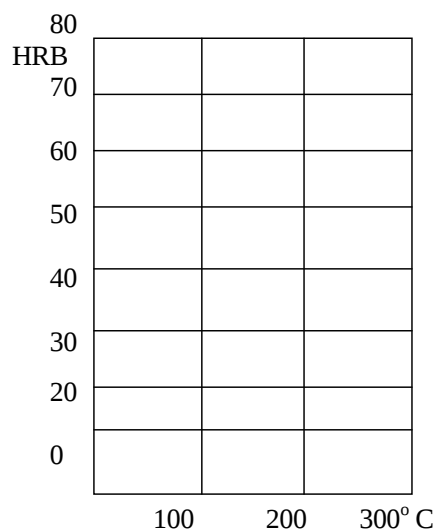


Рисунок 9.1 – Залежність твердість дуралюміну після гартування та штучного старіння протягом 30 хв (рис 9.1)

Операція	Твердість, HRB
Гартування	
Старіння за час, (хв.), $t=200^{\circ}\text{C}$	
15	
30	
45	

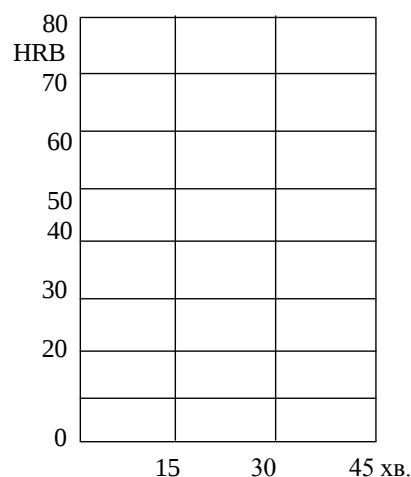


Рисунок 9.2 – Залежність твердість дуралюмінію після гартування та штучного старіння при температурі 200°C протягом 15 і 45 хв.

4. В висновках вказати оптимальні режими старіння.

Запитання для самопідготовки та закріплення набутих знань:

1. Які сплави називають латунями, бронзами?
2. Структура в сплавах Л80, Л59.
3. Для чого додають до латуні олово, нікель, залізо?
4. До якого класу сплавів (деформівних чи ливарних) належать АЛ19, Д16, АЛ4, АК6, АМг2, БрО10Ф1, Л86, ЛЦ30А3, БрА7.
5. Які сплави зміцнюються термічною обробкою АМц, Д16, Л86, БрБ2, АК6, АЛ4?
6. В чому полягає термічне зміцнення дуралюмінію.
7. Які властивості повинні мати антифрикційні сплави?
8. Характеристика сплавів Б89 і Б16.

4. СТРУКТУРА, КОРОТКИЙ ЗМІСТ ІНДИВІДУАЛЬНИХ, САМОСТІЙНИХ ТА КОНТРОЛЬНИХ РОБІТ ТА МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ЇХ ВИКОНАННЯ

4.1 Тематика індивідуальних робіт

Приклади завдань

Завдання 1.

Вплив холодної і гарячої деформації на структуру і механічні властивості металів. Підручник [3, стор. 81-87].

Завдання 2.

Технологічні методи впливу на формування структури литого металу. Підручник [3, стор. 24-35].

Завдання 3.

Раціональне застосування конструкційних сталей залежно від їх якості. Підручник [3, стор. 252-259].

Завдання 4.

Термомеханічна обробка сталі – як передова технологія підвищення довговічності деталей та зменшення їх металомісткості. Підручник [3, стор. 217-219].

Завдання 5.

Особливості застосування повного відпалу та нормалізації сталей. Підручник [3, стор. 194-200].

Завдання 6.

Основні засади по раціональному вибору сталей для деталей машин. Підручник [3, стор. 311-325].

Завдання 7.

Пластмаси та композиційні матеріали як заміник металів при виготовленні деталей машин та конструкцій. Підручник [3, стор. 422-427, 434-474]

4.2 Методичні вказівки до виконання індивідуальних робіт

Індивідуальні заняття здійснюються в процесі конконсультацій з навчальних питань, при ліквідації академ заборгованості, виконання індивідуальних завдань тощо.

Індивідуальна робота студентів передбачає:

- вивчення теоретичних основ курсу згідно тематичного змісту за конспектами лекцій та за літературою, що рекомендується;

- виконання індивідуальних завдань у вигляді реферату;
- самостійне опрацювання окремих розділів навчальної програми.

Для допомоги студентам у їх самостійній роботі викладачем проводяться консультації з питань курсу.

Тему індивідуальної роботи студенти вибирають за останньою цифрою залікової книжки.

Етапи роботи над індивідуальною роботою:

- 1) підготовчий (вибір теми, знайомство з літературою);
- 2) дослідницький (складання плану роботи, аналіз літератури);
- 3) логіко-синтетичний (систематизація матеріалу, редагування, остаточне оформлення роботи);
- 4) оціночний (представлення роботи за 10 днів до модульного контролю викладачу для оцінки; отримання допуску до контрольної роботи)

План індивідуальної роботи включає: вступ, 2-3 питання основної частини, висновки, список використаної літератури.

У вступі визначається актуальність теми, мета і задачі даної роботи; характеризується наявна або використана література.

В основній частині формулюються 2-3 питання плану, які повинні розкрити зміст проблеми, історію становлення і сучасний стандартний стан проблеми. Кожне питання повинно закінчуватися чітко сформульованими висновками.

У висновках треба підвести висновки. Важливо щоб вони мали особистісний характер.

Список літератури повинен включати не тільки підручники і посібники, але і монографії та джерела (не менше 2). Список літератури складається з 5-7 джерел. При цитуванні обов'язково вказати джерело і сторінку, на якій поміщено цитату.

Обсяг роботи 10-15 сторінок друкованого тексту А-4. шрифт – 14TimesNewRoman, інтервал полуторний. Поля 20-20-20-10.

Робота оцінюється за оцінками: А,В,С,Д,Е,ФХ

А,В - «відмінно» (5,0-4,5)

С,Д, - «добре» (4,0-3,5)

Д - «задовільно» (3,5-3,0)

Е - «задовільно» (3,0-2,5)

ФХ - «незадовільно» (<2,5)

Оцінка по індивідуальній роботі враховується при загальному оцінюванні СРС на екзамені.

4.3 Зміст самостійної роботи

Самостійна робота призначена не тільки для оволодіння даною дисципліною, а й для формування навиків самостійної роботи взагалі, в навчальній, науковій, професійній діяльності, вміння самостійно вирішити проблему, знаходити конструктивні рішення тощо.

Тема 1. Дефекти кристалічної будови. Точкові, вакансії. Анізотропія. Кристалізація металів. Поліморфні перетворення.

Методи дослідження структури металів. Основні властивості конструкційних матеріалів. Фізичні та хімічні властивості матеріалів. Щільність матеріалу. Хімічна стійкість. Корозійна стійкість. Механічні властивості матеріалів. Міцність і пластичність металу. Міцність неметалевих матеріалів. Твердість. Ударна в'язкість, витривалість та зносостійкість.

Тема 2. Конструкційні метали і сплави. Основні положення теорії сплавів. Сплави заліза з вуглецем. Основні поняття про сплави. Поняття про системи, фази, компоненти. Діаграма стану сплавів. Діаграма стану залізовуглецевих сплавів.

Компоненти і фази системи залізо – вуглець.

Тема 3. Вуглецеві сталі. Вплив постійних домішок на властивості сталі. Класифікація вуглецевих сталей. Сталі вуглецеві конструкційні звичайної якості. Сталі конструкційні вуглецеві якісні. Сталі вуглецеві інструментальні.

Тема 4. Чавуни. Білі чавуни. Графітизація чавунів. Вплив домішок і швидкості охолодження на структуру та властивості чавунів. Сірі чавуни (з пластинчастим графітом.) Ковкі чавуни. Високоміцні чавуни (з кулястим графітом).

Тема 5. Основи термічної і хіміко-термічної обробки металів. Теорія термічної обробки сталі. Перетворення, що відбуваються у сталях під час нагрівання та охолодження. Продукти розпаду аустеніту. Перліт, тростит, сорбіт, мартенсит.

Термічна обробка сталей. Відпал сталей. Дифузійний відпал. Рекристалізаційний відпал. Відпал другого роду: повний, неповний, на зернистий перліт, ізотермічний, нормалізаційний відпал (нормалізація).

Гартування сталі. Температура гартування. Час нагрівання. Охолодження при гартуванні. Прогартуваність сталі. Загартуваність сталей. Гартування в одному середовищі. Гартування в двох середовищах. Поверхнєве гартування сталі.

Тема 6. Відпускання сталі. Низькотемпературне відпускання. Середньотемпературне відпускання. Високотемпературний відпускання. Поліпшення.

Тема 7. Хіміко-термічна обробка сталі. Цементация сталі. Дифузійна металізація. Хромування. Силіціювання.

Тема 8. Леговані сталі. Вплив легувальних елементів на властивості сталей. Класифікація та маркування легованих сталей.

Тема 9. Конструкційні та інструментальні леговані сталі. Сталі для цементации, поліпшення та ресорно-пружинні. Термічна обробка легованих сталей. Сталі для штамів холодного і гарячого деформування. Особливості роботи цих штамів, принцип легування і термічної обробки.

Спеціальні сталі. Корозійностійкі сталі. Жаростійкі і жароміцні сталі.

Тема 10. Сплави на основі алюмінію. Сплави, що зміцнюються та не зміцнюються термічною обробкою, їх застосування.

Сплави на основі міді. Латуні прості і спеціальні (з особливими фізичними і технологічними властивостями).

Бронзи. Олов'яні бронзи. Бронзи для деформування та лиття. Безолов'яні бронзи. Економічна доцільність застосування безолов'яних бронз. Антифрикційні матеріали для підшипників ковзання, вимоги до них.

Бабіти на олов'яній та свинцевій основах. Маркування. Переваги і недоліки цих матеріалів.

Антифрикційні бронзи та алюмінієві сплави. Полімерні матеріали.

Тема 11. Термопластичні і терморективні полімери. Будова пластмас і технологія виробництва виробів із пластмас. Порівняльна характеристика пластмас з металами, переваги та недоліки.

Композиційні матеріали з металевою і неметалевою матрицею, їх властивості. Доцільність застосування композиційних матеріалів замість металів в різних умовах роботи.

Монолітні та пористі порошкові матеріали, застосування для деталей машин, фільтрів для рідин та газів. Антифрикційні пористі матеріали (з графітом та просочені мінеральними оливами).

4.4 Тематика контрольних робіт

ВАРІАНТ 1.

1. Дати визначення структурних складових сталей: ферита, аустеніта, цементита, перліта і характеристику їх властивостей.

2. Причини виникнення внутрішніх напруг при гартуванні. Як можна запобігти їх утворенню?

3. Вибрати леговану сталь для виготовлення різця по металу.

ВАРІАНТ 2.

1. Дати класифікацію сталей по способу виплавки, по структурі, якості і по призначенню.

2. Описати фізичну суть гартування сталей.

3. Вибрати леговану сталь для виготовлення ресори вантажного автомобіля.

ВАРІАНТ 3.

1. Як і чому саме впливає вуглець на механічні і технологічні властивості сталей?

2. Описати технологію поверхневого гартування при нагріванні струмами високої частоти (СВЧ).

3. Вибрати леговану сталь для виготовлення машинного мітчика.

ВАРІАНТ 4.

1. Сталі з підвищеною оброблюваністю різанням (автоматні сталі). Їх характеристика і застосування.

2. Описати технологію і призначення неповного відпалу.
3. Вибрати леговану сталь для виготовлення півосі автомобіля.

ВАРІАНТ 5.

1. Конструкційні сталі. Характеристика і застосування.
2. Описати технологію і призначення повного відпалу.
3. Вибрати леговану сталь для виготовлення фрези по металу.

ВАРІАНТ 6.

1. Шарикопідшипникові сталі. Вимоги до них, особливості властивостей.
2. Описати технологію і призначення нормалізації.
3. Вибрати леговану сталь для виготовлення зубчатого колеса.

ВАРІАНТ 7.

1. Сталі високої зносостійкості.
2. Технологія отримання високоміцного перлітного чавуну.
3. Вибрати леговану сталь для виготовлення молотового штампу.

ВАРІАНТ 8.

1. Корозійностійкі сталі. Хромисті корозійностійкі сталі, їх характеристика і застосування.
2. Технологія отримання високоміцного феритного чавуну.
3. Вибрати леговану сталь для виготовлення шатуна двигуна.

ВАРІАНТ 9.

1. Хромонікелеві корозійностійкі сталі, їх характеристика і застосування.
2. Технологія ступінчастого та ізотермічного гартування.
3. Вибрати леговану сталь для виготовлення свердла по металу.

ВАРІАНТ 10.

1. Жаростійкі сталі. Характеристика і застосування.
2. Інструмент із сталі У10 був перегрітий при гартуванні. Чим шкідливий перегрів і як можна його виправити?
3. Вибрати леговану сталь для виготовлення шліцьового валу.

ВАРІАНТ 11.

1. Жароміцні сталі. Характеристика і застосування.
2. Вказати режими і призначення низького, середнього і високого відпускання.
3. Вибрати леговану сталь для виготовлення пуансону холодного деформування.

ВАРІАНТ 12.

1. Сталі для роботи при низьких температурах (криогенні сталі). Характеристика і застосування.
2. Описати технологію термомеханічної обробки сталі. Вказати її переваги.
3. Вибрати леговану сталь для виготовлення пружини.

ВАРІАНТ 13.

1. Сталі і сплави для постійних магнітів (магнітно-тверді) характеристика і застосування.
2. Технологія обробки сталей холодом. В яких випадках вона застосовується?
3. Вибрати леговану сталь для виготовлення конічної шестірні.

ВАРІАНТ 14.

1. Магнітно-м'які сталі. Характеристика і застосування.
2. Вироби із сталі У10 після гартування і відпускання мають твердість меншу, ніж вимагається. Які відхилення від технології могли мати місце?
3. Вибрати леговану сталь для виготовлення зенкера.

ВАРІАНТ 15.

1. Вуглецеві інструментальні сталі. Характеристика властивостей, марки і застосування.
2. Пружина із сталі 60 після гартування і відпускання має твердість меншу, ніж вимагається. Які відхилення від технології могли мати місце?
3. Вибрати леговану сталь для виготовлення важеля автомобіля.

ВАРІАНТ 16.

1. Леговані інструментальні сталі (не теплостійкі). Характеристика властивостей, марка і застосування.
2. Описати технологію цементації в твердому карбюризаторі і її мету.
3. Вибрати леговану сталь для виготовлення матриця холодного деформування.

ВАРІАНТ 17.

1. Швидкорізальні інструментальні сталі. Характеристика властивостей, марки і застосування.
2. Описати технологію газової цементації і її мету.
3. Вибрати леговану сталь для виготовлення хрестовини кардана.

ВАРІАНТ 18.

1. Вплив графіту на механічні і технологічні властивості чавунів.
2. Азотування сталей і його мета. Описати технологію виготовлення деталей, які піддаються азотуванню.

3. Вибрати леговану сталь для виготовлення штампу гарячого штампування.

ВАРІАНТ 19.

1. Класифікація чавунів згідно форми графіту і структури металевої основи.
2. Описати технологію і мету нітроцементзації.
3. Вибрати леговану сталь для виготовлення шпинделя.

ВАРІАНТ 20.

1. Високоміцний чавун. Технологія отримання, маркування, застосування.
2. Що таке дифузійна металізація? Описати коротко головні процеси та їх мету.
3. Вибрати леговану сталь для виготовлення розвертки.

ВАРІАНТ 21.

1. Чавун з пластинчатим графітом. Технологія отримання, маркування і застосування.
2. Дефекти, які утворюються при термічній обробці сталі.
3. Вибрати леговану сталь для виготовлення поршневого пальця.

ВАРІАНТ 22.

1. Спеціальні чавуни. Марки чавунів, їх властивості і застосування.
2. Причини виникнення внутрішніх напруг при гартуванні. Як можна запобігти їх утворенню?
3. Вибрати леговану сталь для виготовлення прошивального пуансону.

ВАРІАНТ 23.

1. Алюмінієві сплави для деформації, які не зміцнюються термічною обробкою. Характеристика і застосування.
2. Описати фізичну суть гартування сталей.
3. Вибрати леговану сталь для виготовлення вал-шестірні.

ВАРІАНТ 24.

1. Алюмінієві сплави для деформації, які зміцнюються термічною обробкою. Характеристика і застосування.
2. Описати технологію поверхневого гартування при нагріванні струмами високої частоти (СВЧ).
3. Вибрати леговану сталь для виготовлення протяжки.

ВАРІАНТ 25.

1. Ливарні алюмінієві сплави Al-Si (силуміни). Характеристика і застосування.
2. Описати технологію і призначення неповного відпалу.

3. Вибрати леговану сталь для виготовлення розподільного валу.

ВАРІАНТ 26.

1. Ливарні алюмінієві сплави Al-Cu та Al-Mg. Характеристика і застосування.

2. Описати технологію і призначення повного відпалу.

3. Вибрати леговану сталь для виготовлення різьбового калібру.

ВАРІАНТ 27.

1. Латуні. Характеристика, властивості і застосування.

2. Описати технологію і призначення нормалізації.

3. Вибрати леговану сталь для виготовлення валу сошки керма.

ВАРІАНТ 28.

1. Бронзи. Характеристика, властивості і застосування.

2. Технологія отримання високоміцного перлітного чавуну.

3. Вибрати леговану сталь для виготовлення крупного штампу холодного деформування.

ВАРІАНТ 29.

1. Антифрикційні (підшипникові) сплави – бабіти. Характеристика, марки і застосування.

2. Технологія отримання високоміцного феритного чавуну.

3. Вибрати леговану сталь для виготовлення черв'яка.

ВАРІАНТ 30.

1. Антифрикційні сплави на основі алюмінію та цинку. Характеристика, марки і застосування.

2. Технологія ступінчастого та ізотермічного гартування.

3. Вибрати леговану сталь для виготовлення клапанної пружини.

4.5 Методичні вказівки до виконання контрольних робіт.

Вибір теми контрольної роботи здійснюється за останньою цифрою номеру залікової книжки. Робота виконується обсягом 10-15 сторінок друкованого тексту А-4, шрифт – 14 TimesNewRoman, інтервал полуторний.

В контрольній роботі обов'язково повинні бути:

1) план роботи (вступ, 2-3 питання, висновки);

2) перелік використаних джерел (не менше 5);

3) особистий підпис і дата виконання роботи. Контрольну роботу після її виконання треба здати на реєстрацію (ауд. 163). Викладач перевіряє роботу 10 днів. Зарахована робота є допуском до екзамену. Не зараховані роботи допрацьовуються студентом згідно зауважень викладача. За тиждень до

початку сесії контрольні роботи на рецензію викладачем не приймаються, а студент не допускається до екзамену.

Приклад виконання питання №3

Вибрати леговану сталь для виготовлення колінчастого валу.

1. Обґрунтувати вибір легованої сталі.
2. Розшифрувати хімічний склад і вказати, до якого класу по структурі вона відноситься.
3. Вказати мету легування.
4. Призначити режим термічної (хіміко-термічної) обробки для забезпечення необхідних властивостей: температуру гартування, середовище охолодження, вид і температуру відпускання.
5. Вказати кінцеву структуру і властивості.
6. Якщо застосовується хіміко-термічна обробка, то коротко описати її технологію.

Колінчастий вал працює в умовах знакозмінних навантажень (закручення, згин), а тому повинен мати міцність в поєднанні з в'язкістю, а шийки – високу твердість і зносостійкість поверхні. Такі властивості можна отримати в середньовуглецевій сталі після відповідної термічної обробки. Орієнтовно твердість середини повинна бути 25-35 HRC, а поверхні 56-60 HRC.

Для цієї деталі доцільно застосувати сталь 40ХГТ.

Хімічний склад: 0,40% вуглецю, близько одного відсотка хрому та кремнію, 0,10% титану. Така кількість вуглецю забезпечить достатню міцність і твердість при гартуванні, хром та марганець підвищують прогартованість, що забезпечить об'ємну міцність, а титан сприяє подрібненню зерна і стримує ріст його при нагріванні. Крім того, легуючі елементи зменшують критичну швидкість гартування, що дозволить охолоджувати вал при гартуванні повільніше і запобігти, цим самим, утворенню значних термічних напруг і деформації.

За структурою сталь доевтектоїдна.

Термічна обробка повинна бути об'ємно-поверхневою.

1. Гартування. Оскільки сталь заевтектоїдна, то її слід нагрівати вище t_{Ac3} на 50-60°C. При такій температурі сталь отримає структуру аустеніту. Охолодження в мінеральній оліві. Структура після гартування – мартенсит.

2. Для отримання об'ємної твердості 25-35 HRC необхідно призначити високе відпускання при температурі 550-600°C. Структура – сорбіт.

3. Для надання високої твердості поверхні шийок їх необхідно піддати поверхневою гартуванню з індукційним нагріванням СВЧ і наступному низькому відпусканню (200°C).

Після такої термічної обробки на поверхні шийок буде структура мартенситу відпускання (тв. 58-60 HRC), а в іншій частині вала – сорбіт (тв. 30-35 HRC), що й відповідає вимогам.

Зразок титульного аркушу контрольних робіт

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Кіровоградський національний технічний університет
Кафедра матеріалознавства та ливарного виробництва

Контрольна робота

з дисципліни:
Матеріалознавство

Варіант №

Виконав: ст. гр. АТ-15
Коваленко І.І
Перевірив:

Кіровоград 2015

5. ПИТАННЯ ДО ЕКЗАМЕНАЦІЙНОГО КОНТРОЛЮ ЗНАНЬ СТУДЕНТІВ ТА КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ ЇХ ЯКОСТІ

5.1 Тестовий контроль знань студентів

5.1.1 Приклади типових тестових питань.

1) Який вид зламу характерний для деталей типу вал, вал-шестірна?

- a) шиферний
- b) стовбурний
- c) нафталіністий
- d) фарфороподібний
- e) від втомленості

2) В якому випадку в доєвтектоїдних сталях може утворитись "стрічкувата" структура?

- a) при деформації нижче t_{Ac_1}
- b) при деформації між t_{Ac_1} і t_{Ac_3}
- c) при деформації трохи вище t_{Ac_3}
- d) при деформації значно вище t_{Ac_3}
- e) при деформації вище t_{Ac_m}

3) Який з наведених чавунів може працювати в умовах динамічних навантажень?

- a) СЧ10
- b) АЧС
- c) АЧВ
- d) КЧ35-8
- e) ВЧ80

4) Вказати марку високоякісної сталі:

- a) сталь 50
- b) сталь 40ХН
- c) сталь У10А
- d) сталь А20
- e) Ст. 5

5) Яка структура не може бути властива вуглецевим сталям?

- a) Ф+П
- b) П+Л+Ц_{II}
- c) П
- d) П+Ц_{II}
- e) Ф

6. В якому чавуні графіт має кулясту форму?

- a) АЧСЗ
- b) СЧ15
- c) КЧ35-10
- d) ВЧ60
- e) АЧК

7. Чим визначається якість сталі?

- a) кількістю вуглецю

- b) кількістю легуючих елементів
- c) кількістю шкідливих домішок
- d) твердістю і пластичністю
- e) технологічністю

8. При яких навантаженнях форма графіту мало впливає на міцність?

- a) при розтягу
- b) при скручуванні
- c) при згині
- d) при стисканні
- e) при ударах

9. Яка з наведених структур чавунів буде мати найбільшу твердість?

- a) $\Phi + \Pi + \Gamma p$
- b) $\Pi + \Gamma p$
- c) $\Phi + \Gamma p$
- d) $\Pi + \text{Л} + \text{Ц}_{\text{II}}$
- e) $\text{Л} + \text{Ц}_{\text{I}}$

10. Яка з наведених сталей має найкращу оброблюваність різанням?

- a) сталь 10
- b) сталь A20
- c) сталь 45Л
- d) сталь У10
- e) Ст. 3

11. Яку сталь слід використати для виготовлення ємкості холодним листовим штампуванням?

- a) сталь У10А
- b) сталь Ст5
- c) сталь 60
- d) сталь 08 КП
- e) сталь ХВГ

12. Яку форму графіту мають сірі звичайні чавуни?

- a) кулясту
- b) овальну
- c) пластинчасту
- d) пластівчасту
- e) лапату

13. Яка температура нагрівання буде оптимальною при гартуванні сталі 45?

- a) $A_{c3} + 40^{\circ}\text{C}$
- b) $A_{c3} + 100^{\circ}\text{C}$
- c) $A_{c1} + 40^{\circ}\text{C}$
- d) $A_{c1} - 40^{\circ}\text{C}$
- e) $A_{cm} + 40^{\circ}\text{C}$

14. Яка температура нагрівання буде оптимальною при гартуванні сталі У10?

- a) $A_{cm} + 40^{\circ}\text{C}$
- b) $A_{c3} + 40^{\circ}\text{C}$
- c) $A_{c1} + 40^{\circ}\text{C}$

- d) $A_{c1}-40^{\circ}\text{C}$
- e) $A_{cm}+100^{\circ}\text{C}$

15. Яку структуру буде мати сталь 45 після гартування і високого відпускання?

- a) перліт
- b) сорбіт
- c) тростит
- d) мартенсит
- e) перліт і тростит

16. Прогартуємість якої сталі буде найбільшою?

- a) Ст 3
- b) сталь 40Х2Н3А
- c) сталь 60ГС
- d) сталь У12А
- e) 20ХГТ

17. Вказати температуру відпалу I роду

- a) не вище т. A_{c1}
- b) між т. A_{c1} і A_{c3}
- c) вище т. A_{c3}
- d) між т. A_{c1} і A_{cm}
- e) вище т. A_{cm}

18. Вказати термічну обробку для пружини

- a) гартування + неповний відпал
- b) гартування + нормалізація
- c) гартування + низьке відпускання
- d) гартування + середнє відпускання
- e) гартування + високе відпускання

19. Яка термічна обробка проводиться після цементації

- a) гартування + низьке відпускання
- b) гартування + середнє відпускання
- c) гартування + високе відпускання
- d) гартування + неповний відпал
- e) нормалізація

20. Який спосіб слід застосувати для зміцнення поверхні вала і сталі 40?

- a) цементацію
- b) азотування
- c) нормалізацію
- d) відпал
- e) гартування СВЧ

21. Вказати антифрикційний матеріал для підшипників ковзання

- a) Л96
- b) АЛ4
- c) Б16
- d) Д16
- e) АКЧ

22. Які елементи надають сталям жаростійкість (окалиностійкість)?

- a) Cr, Al, Si
- b) Mn, Cu, Ni
- c) B, Co, Zn
- d) Si, Pb, V
- e) Mg, B, Ti

23. Вказати сплав на основі міді.

- a) Д6
- b) Б86
- c) Л16
- d) АМц
- e) АЛ4

24. Який хімічний елемент надає сталям стійкість проти корозії?

- a) Mn
- b) Pb
- c) Ti
- d) Cr
- e) Cu

25. Вибрати сталь для ресори

- a) 60Г2С
- b) У10
- c) 20ХН3А
- d) 20Х13
- e) Р18

26. Яка з наведених сталей буде мати високу стійкість проти корозії?

- a) Х12М
- b) 110Г13Л
- c) 20Х2Н4А
- d) 20Х17
- e) 9Х2С

27. Який сплав застосовують для виготовлення деталей методом лиття?

- a) АМг
- b) АМц
- c) АЛ4
- d) Д16
- e) АК6

28. Вибрати сталь для виготовлення вісі

- a) 9ХС
- b) 40Г2Ф
- c) Г13Л
- d) Р9К5
- e) Х12М

29. Вказати сталь, яку піддають цементації

- a) 9ХС
- b) ХВГ

- c) 45Г2
- d) 60С2
- e) 20ХНТ

30. Вказати бронзу, яка застосовується для безіскрового інструменту

- a) Бр06
- b) БрКЦ4-2
- c) БрА7
- d) Бр АЖН10-4-4
- e) БрБ2

5.1.2 Критерії оцінювання якості знань студента.

Підсумковий контроль проводиться по екзаменаційним тестам, в яких міститься 30 питань.

Критерії оцінювання:

за 18-23 правильні відповіді (60-74 бала) оцінка “задовільно”,

за 24-26 правильні відповіді (75-89 балів) - “добре”,

за 27-30 правильні відповіді (90-100 балів) – “відмінно”.

5.2 Контроль знань студентів за екзаменаційними білетами

5.2.1 Приклади типових екзаменаційних білетів

ЕКЗАМЕНАЦІЙНИЙ БІЛЕТ № 1

1. Вплив вуглецю і постійних домішок на властивості сталей. Вплив графіту і металевої основи на властивості чавунів.

2. Термомеханічна обробка сталей. Її суть, технологія та економічні показники.

3. Запропонувати сталь (40ХНР; 12Х2Н4А; ХВГ; Р6М5; 10Х17) для виготовлення відповідальної напіввісі твердість поверхні 58...62 HRC, серцевини – 25 HRC. Вказати хімічний склад, мету легування та призначити спосіб зміцнення, вказавши його режими і зміни структури.

4. Назвати матеріал, розшифрувати марки і вказати призначення. АЛ22; Л96; АК4; БрА7; Б83, Сормайт.

ЕКЗАМЕНАЦІЙНИЙ БІЛЕТ № 2

1. Технологія одержання сірих, ковких та високоміцних чавунів. Пояснити, яка між ними різниця, як це впливає і чому саме їх властивості.

2. Стійкість проти корозії, жароміцність та жаростійкість сталі. Принципи їх легування і застосування. Навести приклади марок сталей.

3. Запропонувати сталь (Х12М; 10Х13; 45ХГСА; Р9; ХВГ) для виготовлення вісі вантажного автомобіля твердість поверхні 58...62 HRC, а середини 25...30 HRC. Вказати хімічний склад, мету легування та призначити спосіб зміцнення, вказавши його режими і зміни структури.

4. Назвати матеріал, розшифрувати марки і вказати призначення. Б16; ЛО60-2; АМг, БрО-7; АЛ10; ВК6.

ЕКЗАМЕНАЦІЙНИЙ БІЛЕТ № 3

1. Вуглецеві сталі і чавуни. Класифікація, маркування та застосування. Порівняльні характеристики.

2. Вибір температур та охолоджуючих при гартуванні сталей. Обґрунтувати оптимальні режими.

3. Запропонувати сталь (45ХН2А; Р9; 10Х17; 20ХГМ; 9ХС) для виготовлення шліцьового валу твердість поверхні 58...62 HRC, серцевини 25...30 HRC. Вказати хімічний склад, мету легування та призначити спосіб зміцнення, вказавши його режими і зміни структури.

4. Назвати матеріал, розшифрувати марки і вказати призначення. Д1;ВК10; Б6; АМц; ЖГр-2; АЛ19.

ЕКЗАМЕНАЦІЙНИЙ БІЛЕТ № 4

1. Якість сталі. Фактори, що впливають на якість. Маркування сталей згідно якості. Вплив хімічного складу і швидкості охолодження на структуру і властивості чавунів.

2. Фізична суть, технологія і призначення цементації сталей. Види цементації.

3. Запропонувати сталь (65ГС; 20ХН3А; 40ХН3А; 40Х13; У10А) для виготовлення пружин які працюють в агресивному середовищі (лугах). Вказати хімічний склад, мету легування, призначити спосіб зміцнення, вказати його режими і зміни структури.

4. Назвати матеріал, розшифрувати марки і вказати призначення. АК4; БрОЦ4-2; Л96; ВК10; Д1; АЛ18.

ЕКЗАМЕНАЦІЙНИЙ БІЛЕТ № 5

1. Вуглецеві сталі і чавуни. Класифікація, маркування та застосування. Порівняльні характеристики.

2. Відпал I-го і II-го роду. Операції, її режими та призначення.

3. Запропонувати сталь (35ХГА; ШХ15; Р6М5; ХВГ; 20ХМН) для виготовлення розвертки. Вказати хімічний склад, мету легування та призначити спосіб зміцнення, вказавши його режими і зміни структури.

4. Назвати матеріал, розшифрувати марки і вказати призначення. Т6К10; АК8; Б16; ЛО76-1; АЛ2; БрО-9.

ЕКЗАМЕНАЦІЙНИЙ БІЛЕТ № 6

1. Технологія одержання сірих, ковких та високоміцних чавунів. Пояснити, яка між ними різниця, як це впливає і чому саме їх властивості.

2. Принцип вибору температур при гартуванні сталей (згідно діаграми стану). Обґрунтувати оптимальні режими.

3. Запропонувати сталь (Р6М5; 20ХНМ; 45ХГТ; 10Х17; Г13) для виготовлення зубчастого колеса твердість поверхні зубів 58...62 HRC, серцевини 25...30 HRC. Вказати хімічний склад, мету легування та призначити спосіб зміцнення, вказавши його режими і зміни структури.

4. Назвати матеріал, розшифрувати марки і вказати призначення. ЛН-64-2; Т6К10; Д16; Б83; АЛ9; БрО6.

ЕКЗАМЕНАЦІЙНИЙ БІЛЕТ № 7

1. Якість сталі. Фактори, що впливають на якість. Маркування сталей згідно якості. Вплив хімічного складу і швидкості охолодження на структуру і властивості чавунів.

2. Відпускання сталей. Його види, режими та призначення. Обробка сталей холодом.

3. Запропонувати сталь (Ст.3; ХВСГ; 40Х9С2; 45ХН; Р9) для виготовлення колінчастого валу твердість 25...30 HRC, а поверхні шийок 58...60 HRC. Вказати хімічний склад, мету легування та призначити спосіб зміцнення, вказавши його режими і зміни структури.

4. Назвати матеріал, розшифрувати марки і вказати призначення. Д16; БрБ2; ВК8; ЕХ3; Л59.

ЕКЗАМЕНАЦІЙНИЙ БІЛЕТ № 8

1. Вплив вуглецю і постійних домішок на властивості сталей. Вплив графіту і металевої основи на властивості чавунів.

2. Фізична суть та технологія гартування СВЧ. Економічні показники.

3. Запропонувати сталь (15ХС; 40ХН3А; 5ХНМ; 20Х17; ХВГ) для виготовлення штампу. Вказати хімічний склад, мету легування та призначити спосіб зміцнення, вказавши його режими і зміни структури.

4. Назвати матеріал, розшифрувати марки і вказати призначення. АМг; АЛ18; Д20; Л92; Б16; Т6К10.

ЕКЗАМЕНАЦІЙНИЙ БІЛЕТ № 9

1. Вуглецеві сталі і чавуни. Класифікація, маркування та застосування. Порівняльні характеристики.

2. Зносостійкі сталі і сплави. Принципи легування. Марки. Застосування.

3. Запропонувати сталь (ХВСГ; Г13; 10Х13; Р9К5; 40ХС для виготовлення різця по металу. Вказати хімічний склад, мету легування та призначити спосіб зміцнення, вказавши його режими і зміни структури.

4. Назвати матеріал, розшифрувати марки і вказати призначення. БрАЖН10-4-4; ВК8; ДСП; Л90; АК4; Д1.

ЕКЗАМЕНАЦІЙНИЙ БІЛЕТ № 10

1. Технологія одержання сірих, ковких та високоміцних чавунів. Пояснити, яка між ними різниця, як це впливає і чому саме їх властивості.

2. Принцип вибору температур при гартуванні сталей (згідно діаграми стану). Обґрунтувати правильні і неправильні режими.

3. Запропонувати сталь (Р6М5; 20ХНМ; 45ХГТ; 10Х17; Г13) для виготовлення зубчастого колеса діаметром 200мм, твердість поверхні зубів 58...62 HRC, серцевини 25...30 HRC. Вказати хімічний склад, мету легування та призначити спосіб зміцнення, вказавши його режими і зміни структури.

4. Назвати матеріал, розшифрувати марки і вказати призначення. ЛН-64-2; Т6К10; Д16; Б83; АЛ9; БрО6.

5.2.2 Критерії оцінювання якості знань студента за екзаменаційним білетом.

Екзаменаційний білет містить чотири завдання, кожне з яких оцінюється в балах за певною схемою. Загальна максимальна сума балів, яку може набрати студент, становить 5,00.

Завдання екзаменаційного білету передбачають визначення тієї чи іншої категорії, розкриття змісту, сутності явища чи процесу. Мета цих завдань - проконтролювати засвоєння студентами понятійного апарату дисципліни, здатність до переконливої аргументації щодо власної позиції. Залежно від того, на скільки відповідь задовольняє вказаним нижче критеріям, кількість набраних балів може зменшуватись.

При оцінюванні враховується:

Знання: суті, змісту поняття, структури та функції;

Вміння:

- пояснити суть матеріалознавства, його роль у машинобудуванні;
- аналізувати
- обґрунтовувати власні

Критерії оцінювання:

1) Оцінка «відмінно» (А, В) ставиться у разі виконання всіх перелічених вище вимог. Відповідне і акуратне оформлення роботи.

2) Оцінка «добре» (С, Д) виставляється у випадку, коли завдання в цілому виконано з використанням головних вимог, але студентом допущені незначні помилки в назвах, тощо. Оцінка «добре» може бути виставлена у випадку неакуратного виконання робіт і перекреслення, невідповідне оформлення основних доповідей.

3) Оцінка «задовільно» (Д, Е) виставляється в разі неповного висвітлення питань, недостатнього знання фактичного матеріалу, помилками в аналізі щодо істотних питань.

4) Оцінка «незадовільно» (FХ) виставляється у випадку коли: студент допускає грубі помилки у фактичному матеріалі; не вміє визначати, пояснити.

6 ЗАСТОСУВАННЯ НАЙБІЛЬШ ПОШИРЕНИХ МАРОК СТАЛЕЙ ТА ЧАВУНІВ ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ В ГАЛУЗЯХ МАШИНОБУДУВАННЯ

Вуглецеві сталі для мало- і середньо навантажених виробів з робочим перерізом до 25÷30мм.

Найменування	Марка сталей	Термічна обробка
Гарячекатаний рядовий прокат: балки, швелер, кутники, прутки, листи, труби, фасонний прокат, болти, гайки, гвинти, шайби, рідше – мало навантажені деталі машин (вісі, вали, важелі, зубчасті передачі та ін.).	Ст1, Ст2, Ст3, Ст4, Ст5, Ст6, Ст2 кп, Ст3пс.	Відпал Поліпшення Нормалізація
Капоти, кожухи, стрічки, трубки Патрубки, штуцери, вилки, болти, фланці	08кп, 10кп, 1015, 20, 25	Відпал Нормалізація
Тяги, серги, траверси, муфти, зірочки	30, 35	Нормалізація, термічне поліпшення
Шатуни, важелі, тяги, вісі, вали, шпинделі	40, 45, 50	Нормалізація, або поліпшення
Лемеші, польові дошки, лапи культиватора, диски зчеплення	50, 55	Нормалізація або поліпшення

З поверхневим зміцненням для роботи в умовах тертя і зношування

Вісі, пальці, кулачкові валики, втулки, шестерні, зірочки, шліцові вали.	10, 15, 20, 25	Цементация, гартування, низьке відпускання
Пальці, колінчасті вали, розподільні вали, шестерні, черв'яки, кулачки, вісі	40, 45, 50	Нормалізація + гарт. СВЧ + низ. Відпускання
Ресори, пружини, що працюють в звичайних умовах з товщиною до 10...12мм.	60, 65, 70, 75	Гартування, середнє відпускання

Леговані сталі для середньо- і важконавантажених деталей машин і обладнання

1. Маловуглецеві з поверхневим зміцненням (цементация або нітроцементация, гартування і низьке відпускання).

Найменування	Марка сталей	Максимальний робочий переріз
Зубчасті колеса, шестерні, вал-шестерні, черв'яки, вали, сошки керма,	15Х, 15ХФ, 15ХМ	35 мм.

гвинти управління керма, пальці, вали гладкі та шліцові, копіри, кулачки, шпинделі	20Х, 20Г, 18ХГТ	
	20ХГР, 25ХГМ, 12ХН3А, 20ХГНТР	60-80
	12Х2Н4А, 20Х2Н4А	100-120

2. Середньовуглецеві сталі з поверхневим зміцненням (поліпшення, гарт. СВЧ або азотування).

Вали, шпинделі, кулачки, колінчасті вали, розподільні вали, черв'яки, пальці, хрестовини кардана, вісі, копіри, зубчасті колеса, пінолі	35Х, 40Х, 40ХФА	25÷30
	35ХГСА, 40ХГР	50÷70
	40ХН, 45ХН, 45Г2, 38ХМЮА, 40ХМНА	50÷70
	35ХН3А, 40Х2Н2МА	80÷100

3. Середньовуглецеві з об'ємним зміцненням (термічне поліпшення).

Шатуни, важелі, тяги, ступиці, вісі, вали, муфти, карданні вали, коромисла клапанів, прутки, поршні, рейки, шліцові вали, установочні гвинти	40Х, 45ХГ, 40Г, 40ХН, 45ХН,	25÷30
	50ХН, 45Г2, 35ХГСА	50÷70

4. Ресорно-пружинні сталі (гартування і середнє відпускання).

1. Пружини та ресори, що працюють в звичайних умовах, пружини кільця, шайби гравера	60Г, 65Г	до 12-15 мм
2. Пружини і ресори відповідального призначення та важко навантаженні	55С2, СОС2, 70С3А, 70С2ХА	до 20 мм

3. Дуже відповідальні і важконавантажені ресори та пружини	60C2ХА, 60C2ВА 60C2ХФА, 60C2Н2А	до 40-50 мм
4. Відповідальні пружини та ресори, які піддаються багаторазовим змінам навантажень на протязі довгого часу (клапанні пружини, ресори легкових автомобілів, пружини секційних кілець)	50ХГА, 50ХФА, 50ХГФА, 55ХГР	до 40 мм

ІНСТРУМЕНТАЛЬНІ СТАЛІ

Найменування	Марки сталей
1. Вуглецеві сталі низької (до 250°С) теплостійкості малої прогартуваності (гартування і низьке відпускання).	
Деревообробний інструмент зубила, викрутки, молотки, сокири.	У7, У8
Фрези, свердла, пилки, ножівки, напилки, пуансони холодного деформування	У9, У10, У11, У12, У13
2. Леговані сталі низької (до 250°С) теплостійкості підвищеної прогартуваності (гартування і низьке відпускання).	
Свердла, розвертки зенкери, плашки, мітчики, ножівки, штампи, пуансони, матриці холодного деформування, калібри, шаблони	ХГ, ХВГ, 9ХС, ХВСГ
3. Швидкорізальні сталі підвищеної (до 600-650°С) теплостійкості (гартування і триразове відпускання при 550-570°С).	
Різці, фрези, мітчики, плашки, зенкери, розвертки, Свердла, довб'яки, пилки	Р9, Р6М5, Р8М3, Р12Ф3, Р6М5К5
4. Леговані сталі для штамів холодного деформування високої точності і підвищених розмірів (гартування і низьке відпускання).	7Г2ВМ, Х6ВФ, Х12М, Х12Ф1
5. Леговані сталі для штамів гарячого деформування (гартування і високе відпускання)	
Молотові штампи, пресові вставки	5ХНМ, 5ХНВ, 5ХНТ
Прес-форми лиття під тиском, молотові і пресові Вставки	4Х5В2ФС, 4Х5МФС

ЧАВУНИ

Найменування	Марки чавунів
СІРІ ЧАВУНИ	
Для деталей маловідповідального призначення с/г машин, тракторів, автомобілів, колони, плити, корпуси Станини, поршні, циліндри, блоки циліндрів, деталі компресорів	СЧ10, СЧ15, СЧ20 СЧ25, СЧ30, СЧ35

ВИСОКОМІЦНІ ЧАВУНИ

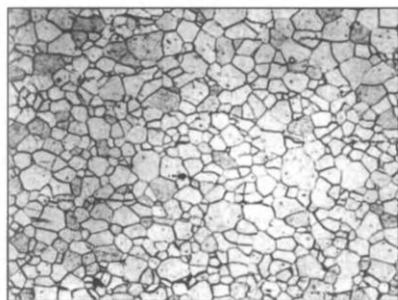
Для деталей які працюють при динамічних навантаженнях (картери редуктора, ступиці, скоби, хомутики, гайки, фланці, муфти, педалі, кронштейни), поршневі кільця, колінчасті і розподільні вали, картери, ступиці, гальмівні барабани, корпуси, маховики.	ВЧ40, ВЧ50, ВЧ60, ВЧ70, ВЧ80, ВЧ100
---	--

АНТИФРИКЦІЙНІ ЧАВУНИ

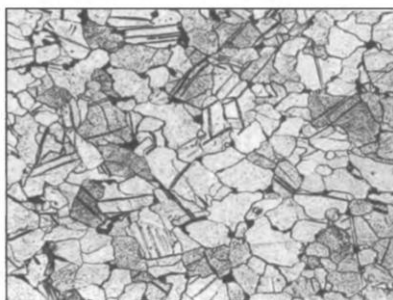
Підшипники ковзання, втулки, деталі які працюють при терті об інші металеві деталі	АЧС1...АЧС6 АЧК1, АЧК2, АВЧ1, АВЧ2, АЧВ1, АЧВ2
--	---

7. ТИПОВІ СТРУКТУРИ ОСНОВНИХ СТАНІВ МЕТАЛІВ ТА СПЛАВІВ

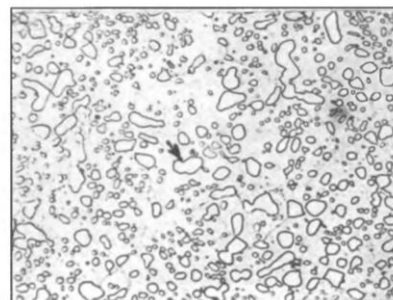
Структура залізовуглецевих сплавів



Дрібнозернистий ферит x100



Дрібнозернистий аустеніт x100

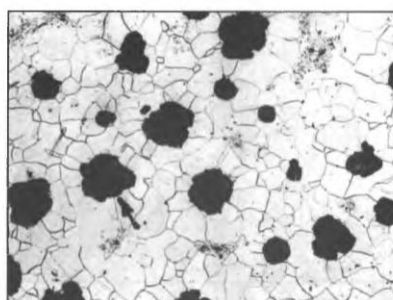


Глобулярний цементит x1000

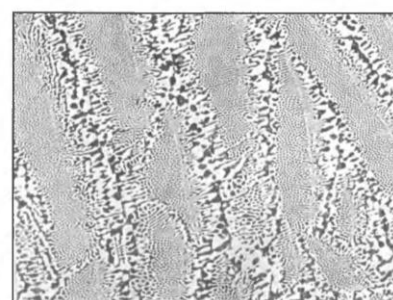
Структурні складові залізовуглецевих сплавів



Пластинчатий графіт



Кулястий графіт
x100



Ледебурит



Перліт x100



Мартенсит x100



Верхній бейніт
(голчастий ферит) x 1000

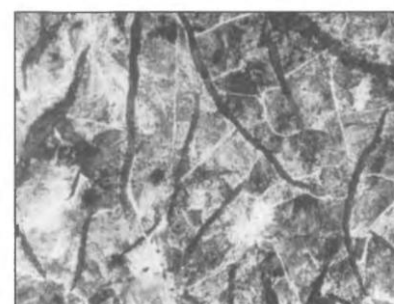
Типи металевих основ в сірих чавунах



Феритна основа і;
слабкорозгалужений
евтектичний графіт x100

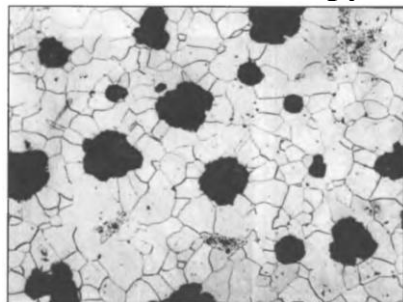


феритоперлітна x100;

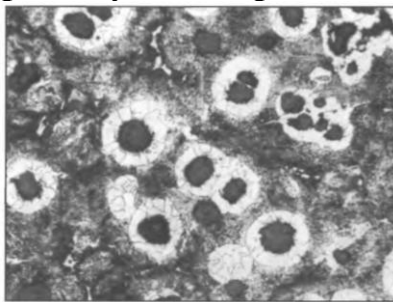


перлітоцементитна x100

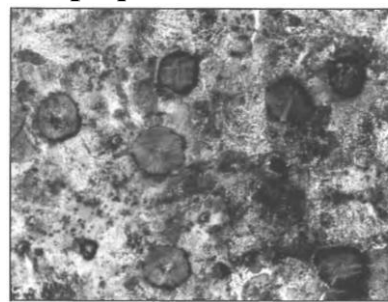
Структура чавуна с шароподібним графітом



На феритній основі x100;

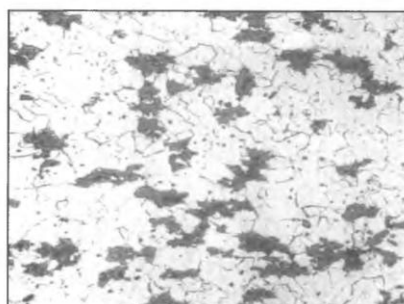


на феритно-перлітній основі x500;

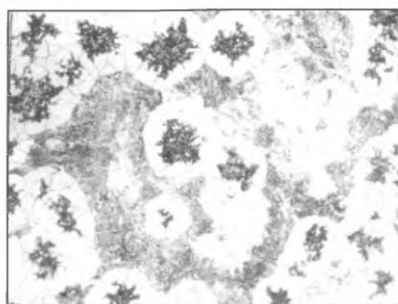


на перлітній основі x100

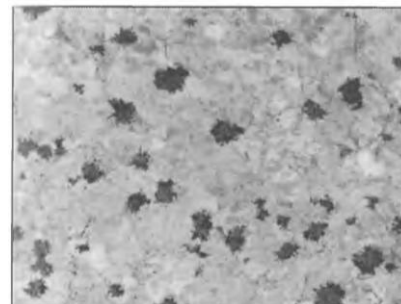
Структура ковкого чавуна



феритна основа x100;



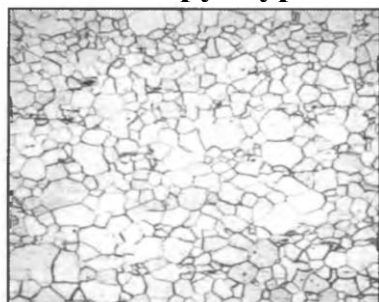
феритно-перлітна основа x100;



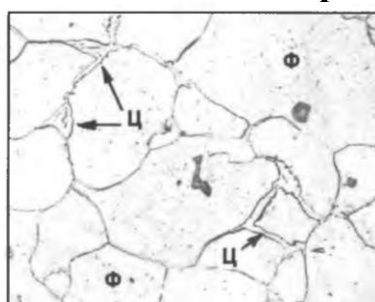
перлітна основі x100

Структура сталей

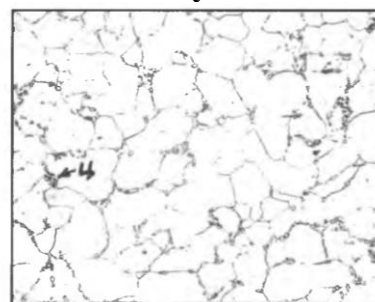
Структура доєвтектоїдних сталей з різним вмістом вуглецю



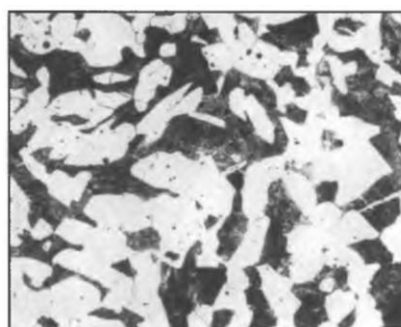
Ферит (0,03%C) x100;



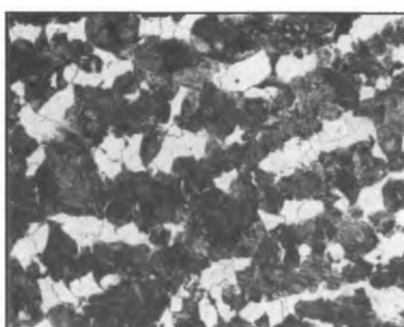
ферит і цементит вільний
(0,05%C) x100;



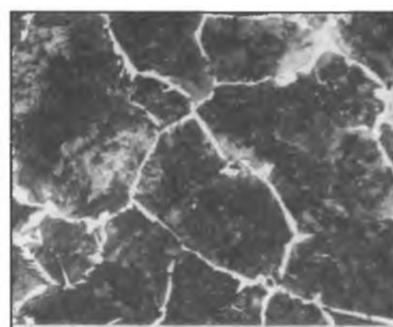
ферит і цементит вторинний
(0,07%C) x100.



0,35%C, 45 % перліту x100;

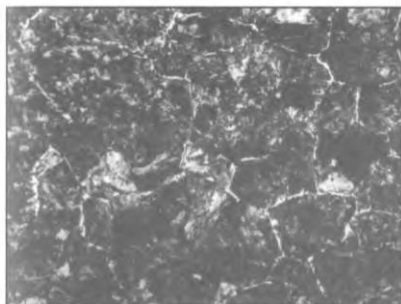


0,5%C, 65 % перліту x100;



0,7%C, 95 % перліту; x100

Евтектоїдні сталі



0,75%С x100;



0,81%С x500;



0,86%С x2000;

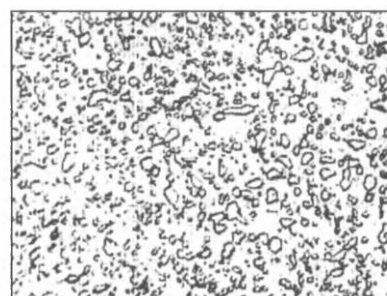
Заевтектоїдні сталі



Перліт і перервна сітка цементиту,
1,2%С x1000;



Перліт і суцільна сітка цементиту,
1,8%С x1000

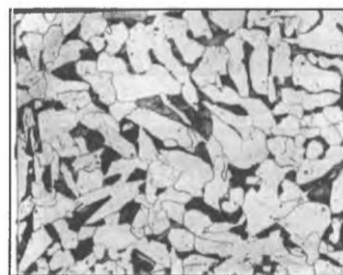


Зернистий перліт
(ферит і глобулярний цементит)
1,5%С x100

Види термічної обробки

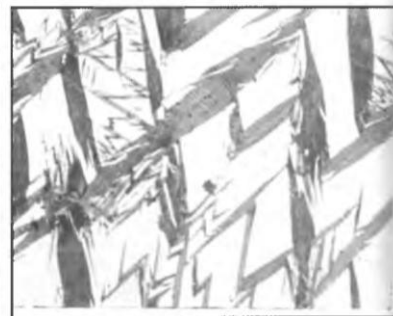
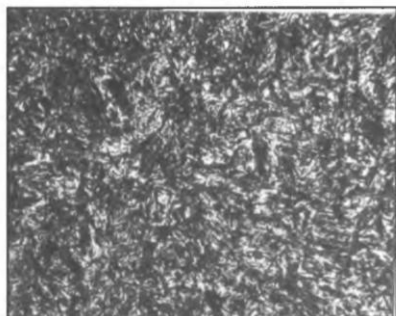


Лита сталь 20 до відпалу x100;

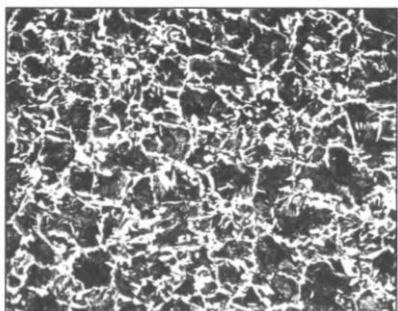


Сталь 20 після відпалу x100;

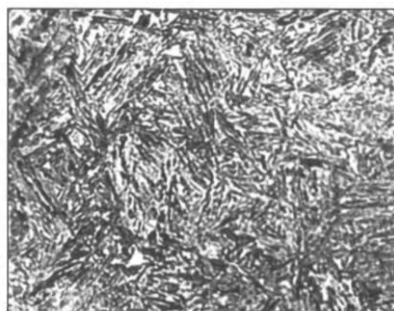
Структура сталі загартованої на мартенсит



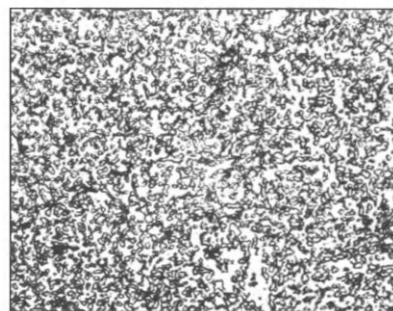
Дрібногільчатий мартенсит x100; Середньогільчатий мартенсит x100; Великогільчатий мартенсит x100;

Термічна обробка конструкційної сталі ГАРТ+Відпускання (500...650)

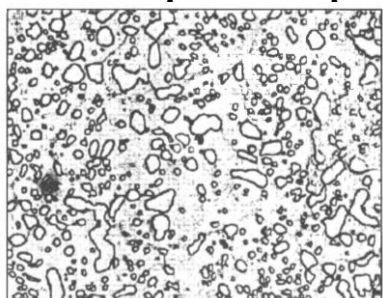
До гартування, х100;



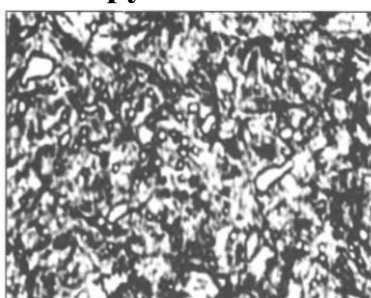
Після гартування, х100;



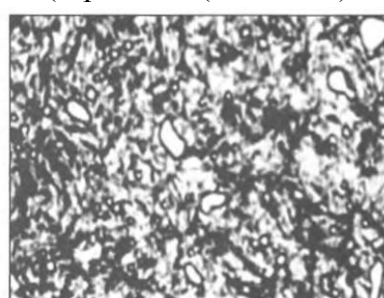
Після високого відпускання, х100;

Термічна обробка інструментальної сталі (гарт+Н.В. (150...250))

До гартування, х500;



Після гартування, х500;



Після низького відпускання, х500;

ЛІТЕРАТУРА

Основна

1. Попович В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. Львів. 2000р.
2. Попович В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство / В. Попович, В. Голубець. – Суми. 2002р.
3. Лахтин Ю.М. Материаловедение / Ю.М.Лахтин, В.П.Леоньева.- М.: Машиностроение, 1980.- 493с.
4. Гуляев А.П. Металловедение / А. П. Гуляев. - М.: Металлургия, 1986.- 544с.
5. Арзамасова Б.Н. Материаловедение / Под ред. Б.Н. Арзамасова. М. МГТУ. 2002 г.
6. Сологуб М.А. Технологія конструкційних матеріалів. Навчальний посібник для вузів – К.: Вища школа, 2002. 379.
7. Дальський А.М. Технологія конструкційних матеріалів 1990 352 с.
8. Матеріалознавство. Методичні вказівки до курсу та лабораторних робіт з елементами кредитно-модульної системи організації навчального процесу / А.В. Галико, В.М. Кропівний, Б.Є. Надворний Кіровоград. КНТУ. 2006 –60с.

Допоміжна

1. Кузін О.А., Яцюк Р.А. Металознавство та термічна обробка металів. Підручник.- Львів, Афіша, 2002. 304 с.
2. Металознавство: Підручник /О.М.Бялік, В.С.Черненко та ін. – 2-ге вид., перер. і доп. – К. ІВЦ "Політехніка", 2002. 384 с.
3. Беріпінштейн М. Механические свойства металлов / М. Беріпінштейн, В. Займовский. - М.: Металлургия, 1979. - 495с.
4. Геллер Ю.А. Материаловедение / Ю.А. Геллер, А.Г. Рахштадт.- М.: Металлургия, 1975. - 447с.
5. Геллер Ю.А. Инструментальные стали / Ю.А.Геллер.- М.: Металлургия, 1968. - 568с.
6. Колачев Б.А. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов / Б. А. Колачев, В.А.Ливанов, В.И.Елагин.- М.: Металлургия, 1981. -416с.
7. Куцова В.З. Алюміній та сплави на його основі / В.З. Куцова, Н.Е. Погребна та ін.- Дніпропетровськ: Пороги, 2004. - 108с.
8. Мальцев М.В. Металлография промышленных цветных металлов и сплавов / М. В. Мальцев - М.: Металлургия, 1970. - 326с.
9. Материаловедение под ред. Б. Н. Арзамасові- М.: Бауманское высшее техпическое училище, 2001. - 412с.
10. Наконечна Г. Українська науково - технічна термінологія / Г. Наконечна. - Л., 1999.
11. Сидоркин И.И. Основы материаловедения / И.И. Сидоркин, Г.Ф.Косолапов, В.И. Макаров.- М.: Машиностроение, 1976.-436с.

ГЛОСАРІЙ

А

Абсорбція - поглинання газоподібних або розчинених речовин (абсорбатів) рідким або твердим тілом (абсорбентом), що відбувається у всьому його об'ємі.

Автоматна сталь - сталь, при обробленні якої на металорізальних верстатах - автоматах утворюється стружка, що легко відділяється; маркуються автоматні сталі літерою «А» і двома цифрами, які показують вміст вуглецю в сотих частках відсотка: А12, А20, А30, А20Г.

Адгезія - виникнення зв'язку між поверхневими шарами двох різнорідних (твердих або рідких) тіл, приведених у зіткнення.

Адсорбція - поглинання речовин (адсорбатів) з газів або рідин, що відбувається на поверхні твердих тіл (адсорбентів).

Азотований шар - поверхневий шар металу (виробу), у якому в результаті азотування підвищено вміст азоту.

Азотування - хіміко-термічне обробка, суть якого полягає в дифузійному насиченні поверхневого шару металу (виробу) азотом.

Активне середовище - тверде, рідке, газоподібне або плазмове середовище, яке використовується при хіміко-термічному обробленні, і яке реагує з металом (виробом) в даних умовах.

Алітування - хіміко-термічне обробка, що полягає в дифузійному насиченні поверхневого шару металу (виробу) алюмінієм.

Алотропічне перетворення (поліморфне перетворення) - перетворення в твердому стані однієї алотропічної форми хімічної речовини в іншу.

Алюмінієві сплави - сплави на основі алюмінію.

Анізотропія - відмінність властивостей за різними кристалографічними напрямками в кристалах, яка пояснюється різною щільністю пакування атомів.

Атом - найменша частинка речовини, яка є носієм його хімічних властивостей та має нейтральний заряд і складається з позитивно зарядженого атомного ядра й негативно заряджених електронів.

Атом впровадження - атом домішки або легуючого елементу, що розташований між вузлами кристалічної ґратки.

Атом міжвузловий, атом дислокований - атом основного металу, розташований між вузлами кристалічної ґратки.

Аустеніт - твердий розчин вуглецю і легуючих елементів у γ – залізі (символ А чи $Fe\gamma$ (С)); є однією зі структурних складових залізовуглецевих сплавів; аустеніт пластичний, більш міцний, ніж ферит; хімічний склад аустеніту впливає на температурний інтервал проміжного перетворення; він є стійким у вуглецевих сталях і чавунах при температурах, які вищі за 723°C.

Аустенітна сталь – високолегована (Mn , Ni , Cu) сталь, що має після нормалізації структуру аустеніту.

Аустенітний чавун - високолегований чавун з (металевою) аустенітною структурою (основою).

Б

Бабіт - антифрикційний сплав на основі олова чи свинцю з домішками сурми, міді та інших елементів, має порівняно низьку температуру плавлення, високу пластичність і хорошу припрацьовуваність.

Бал зерна, номер зерна - умовний індекс стандартної шкали мікроструктур, що характеризує величину зерна.

Бейніт, голчастий тростит – структурна складова сталі, яка складається з високодисперсної суміші кристалів α - розчину та карбідів; утворюється в результаті проміжного перетворення; в вуглецевих сталях бейніт утворюється під час ізотермічного гартування в результаті розпаду аустеніту в інтервалі температур, що нижчі ніж інтервал температур перлітного (дифузійного), але вищі за інтервал температур мартенситного (бездифузійного) перетворення, а в деяких легованих сталях бейніт може бути отриманий при охолодженні на повітрі.

Білий чавун - чавун з матово-білим кольором поверхні зламу, що містить вуглець у зв'язаному стані - у вигляді карбіду заліза Fe_3C .

Блоки мозаїки - ділянки монокристалу чи зерен полікристалу, кристалічні ґратки яких розорієнтовані на кут, що не перевищує 3° . Поверхня розподілу між блоками мозаїк є мало кутовою та складається із стінок крайових дислокацій; від розмірів блоків мозаїк суттєво залежать фізичні та механічні властивості матеріалу.

Борид - хімічна сполука бору з одним або декількома елементами, зазвичай, із металами.

Борохромування - хіміко-термічне обробка, що полягає в комбінованому дифузійному насиченні поверхневого шару металу (виробу) хромом і бором.

Борування - хіміко-термічне обробка, що полягає в дифузійному насиченні поверхневого шару металу (виробу) бором.

Бронза - сплав міді з різними хімічними елементами (оловом, алюмінієм, берилієм, кремнієм та ін.), за винятком цинку і нікелю.

В

Вакансія - точковий дефект, що утворюється в результаті виходу атома з вузла кристалічної ґратки.

Високе відпускання - відпуск сталі при температурі, яка перевищує $500^\circ C$.

Високовуглецева сталь - вуглецева сталь із вмістом вуглецю більшим за 0,6%.

Високолегована сталь - сталь, що містить більше ніж 10% легуючих елементів.

Високоміцний чавун - чавун, у якому графіт має кулясту форму, завдяки чому забезпечуються високий рівень механічних властивостей; для підвищення механічних властивостей він нерідко термічно обробляється; отримують його при модифікуванні розплаву звичайних сірих чавунів магнієм, церієм або рідкоземельними металами перед заливкою у ливарні форми.

Високотемпературний мартенсит, пакетний мартенсит, рейковий мартенсит - мартенсит, кристали якого мають форму однаково орієнтованих тонких пластин, приєднаних одна до одної і розділених малокутовими межами.

Високочастотне гартування – поверхнєве гартування сталі із застосуванням нагрівання струмами високої частоти; проводять на виробках із вуглецевої сталі з 0,3 - 0,5 % С, а також із хромонікелевих і хромистих сталей.

Відманштеттова структура – нерівноважна структура сталі, що складається з великих зерен перліту та орієнтованих кристалів фериту чи цементиту, що мають форму тонких пластин або голок; утворюється при прискореному охолодженні литої чи дуже перегрітої сталі, що підлягає обробці тиском; негативно впливає на ударну в'язкість.

Відпал - термічне обробка, що полягає у нагріванні металу (виробу) до певної температури, витримці й подальшому охолодженню, яке проводиться з метою отримання структури, найбільш близької до рівноважної.

Відпал II роду - відпал, при якому нагрівання відбувається до температур, що перевищують температури фазових перетворень.

Відпал I роду, низький відпал - відпал, при якому метал нагрівають до температур, нижчих за температуру фазових перетворень (A_1) з метою усунення або зменшення напружень, що виникли під час попередньої технологічної операції.

Відпал рекристалізаційний - відпал зміцненого пластичною деформацією (наклепаного) металу при температурі рівній або вищій за температуру порогу рекристалізації.

Відпускання – 1) операція термічної обробки загартованого сплаву (сталі), при якій відбувається одно - або багаторазове нагрівання до температур, що не перевищують температури фазових перетворень A_{c1} , витримка й охолодження, при якому відбувається розпад нерівноважних структурних складових; 2) процес зменшення щільності дефектів кристалічної ґратки при нагріванні гартованого металу; при відпуску твердість і міцність металу знижується, а пластичність зростає.

Відпускання високе - проводять в загартованій сталі при 550...680°C; структура, що утворюється в сталі - сорбіт (перліт) відпуску, створює найкраще співвідношення міцності й в'язкості.

Відпускання низьке, (низькотемпературне відпескання) - виконується при нагріванні до температур, що нижчі за 250°C; використовується для зняття гартувальних напружень у виробках, які повинні мати високу поверхневу твердість. Мартенсит гартування переходить у відпущений мартенсит.

Відпускання середнє - виконується при 400...500°C (застосовується таким чином, щоб не викликати незворотньої відпускнуї крихкості); надає високу пружність, достатню міцність і прийнятну в'язкість; структура сталі після середнього відпуску - тростит або тростомартенсит.

Вільна енергія - частина повної енергії, яка може зворотно змінювати свою величину при зміні температури, поліморфних перетвореннях і змінах стану.

Включення графіту - частинки графіту різної форми (пластинчасті, пластівчасті, кулясті) у структурі залізовуглецевих сплавів, які є полікрystalами і сформувалися з рідкого розчину при твердінні чавуну чи при спеціальному термічному обробленні.

Властивості - ознаки, які визначаються сукупністю характеристик, що відображають внутрішню будову матеріалу у визначених умовах і способі випробувань матеріалу (виробу).

Внутрішнє тертя - прояв непружності в металах і сплавах, яка виявляється у розсіянні енергії механічних коливань.

Внутрішня енергія - енергія системи, що залежить від її внутрішнього стану в разі відсутності дії зовнішніх сил та полів (енергія хаотичного теплового руху всіх мікрочасток, енергія взаємодії цих часток, внутрішньоядерна енергія та ін.).

Волокнистий злам - злам, що характеризується наявністю волокон, зумовлених пластичною деформацією зерен у процесі руйнування.

Втома – процес поступового підвищення щільності дефектів металу (виробу) під дією змінних напружень, що спричиняє зміну властивостей і руйнування.

Втомна міцність - здатність матеріалів і конструкцій чинити опір дії повторним (циклічним) навантаженням (здатність чинити опір утомі); вона суттєво залежить від корозійного впливу навколишнього середовища.

Вторинний мартенсит - мартенсит, що утворюється із залишкового аустеніту.

Вуглецева сталь - сталь, що не містить легуючих елементів.

В'язкість (твердого тіла) - властивість твердих тіл незворотно поглинати енергію при їх пластичній деформації аж до руйнування.

Г

Гартування – 1) процес термічної обробки, що полягає в нагріванні металів або сплавів до температур, що перевищують температури фазових перетворень, та різкому охолодженні з метою отримання не рівноважних структур; 2) спосіб зміцнення металу (виробу).

Гартування (сталі) - термічна обробка, що полягає в аустенітизації та подальшому охолодженні в умовах, що забезпечують повне або часткове перетворення аустеніту в мартенсит.

Гаряча тріщина - тріщина, що виникає при високих температурах.

Гвинтова дислокація – лінійна дислокація, відносно якої виникають максимальні напруги при розвороті однієї частини кристалу відносно іншої.

Гексагональна щільно - упакована гратка - кристалічна гратка, в якій атоми розташовані у вузлах і центрі шестигранних основ призми та три атоми в середній площині призми, що є елементарним осередком.

Гетерогенність структури - неоднорідність структури металів і сплавів, певні частинки якої розрізняються за фізичними і хімічними властивостями й відділені одні від одних поверхнею розділу; поняття гетерогенної структури включає в себе макро- і мікронеоднорідність у розподіленні елементів структури; керуючи гетерогенною структурою і створюючи необхідну неоднорідність, можна отримувати матеріали із заданими властивостями, наприклад, композиційні матеріали.

Глибина азотування - відстань від поверхні азотованого металу (виробу) до умовної межі, що визначається заданим параметром, який характеризує шар, збагачений азотом.

Глибина гартування, товщина загартованого шару - відстань від поверхні загартованого виробу до зони, яка визначається конкретним значенням твердості або мікроструктурою гартування.

Гомогенність структури - однорідність структури металів і сплавів.

Гранецентрована кубічна ґратка - кристалічна ґратка, в якій атоми розташовані у вузлах кубічного осередку і в центрі кожної її грані.

Границя зерна - поверхня розділення суміжних зерен з великим кутом кристалографічного розорієнтування.

Границя розчинності - максимально можливий вміст розчиненого елементу в розчиннику за даних умов.

Графіт - одна з поліморфних модифікацій вуглецю з гексагональними кристалічними ґратками; фаза залізовуглецевих сплавів.

Графітизація - процес виділення вуглецю у вигляді графіту.

Д

Дендрит - кристаліт деревоподібної форми, що складається із стовбура (вісь першого порядку), від якого йдуть гілки (осі другого і наступних порядків).

Дендритна структура - структура, що складається з кристалів деревоподібної форми (дендритів).

Деструкція - поява пошкоджень в металі (виробі) на ранніх стадіях механічних та інших дій.

Дефект кристалічної ґратки металів - недосконалість кристалічної будови - порушення періодичного розташування атомів у кристалічній ґратці.

Дефект упаковки - дефект кристалічної ґратки, що полягає в порушенні чергування щільноупакованих шарів і має двійникову природу.

Деформація – 1) величина (залишкове подовження), що характеризує процес деформації металу (виробу); 2) процес зміни розмірів і форми зразка (тіла) без зміни його маси.

Дислокація - лінійна недосконалість кристалічної будови всередині кристала; основні види дислокацій - крайові та гвинтові..

Дисперсна структура - структура речовини, до якої входять найдрібніші частинки однієї чи кількох фаз (чим дрібніші частинки, тим вища дисперсність структури).

Дисперсна фаза - фаза, що існує в сплаві у вигляді дрібних частинок.

Дифузія - процес переходу речовини з однієї частини системи в іншу, що приводить до встановлення рівноважної концентрації усередині фаз.

Діаграма ізотермічного перетворення, C - подібні криві - криві, побудовані в координатах температура - час; визначають для кожного значення температури час початку і кінця перетворення переохолодженої фази в ізотермічних умовах.

Діаграма стану - графічна залежність, що показує зміни фазового складу сплавів залежно від змін температури і концентрації компонентів при кристалізації і подальшому охолодженні; діаграма стану визначає зміни фазового складу сплавів в умовах, близьких до рівноваги.

Діаграма стану залізо-вуглець - діаграма, яка описує фазовий стан залізобуглецевих сплавів у залежності від складу і температури, в умовах змін, які близькі до рівноваги.

Діамагнетизм - явище виникнення в речовині намагніченості в напрямі, протилежному зовнішньому магнітному полю.

Діелектрик - тверде тіло з низькою електропровідністю, концентрація електронів провідності в якому мала при всіх температурах.

Довговічність - здатність металу (виробу) перед остаточним руйнуванням витримувати багатократні навантаження при певному рівні напружень.

Доевтектоїдна сталь - вуглецева сталь, що містить менше ніж 0,8% C.

Дюралюміній - алюмінієвий сплав, що містить 2,2...5,2% Cu; 0,2...2,7% Mg; 0,2...1% Mn, який добре деформується у стані після гартування, та зміцнюється при наступному природному або штучному старінні.

E

Евтектика - механічна суміш двох або декількох кристалічних фаз, що утворюється з розплаву при евтектичній температурі.

Евтектична структура - структура, що є евтектикою, яка утворюється при кристалізації сплаву евтектичного складу та є механічною сумішшю кристалів двох типів.

Евтектоїд - механічна суміш фаз, що утворюється з твердого розчину в результаті його розпаду при евтектоїдній температурі.

Евтектоїдна сталь - вуглецева сталь, що містить 0,8% C; рівноважна структура евтектоїдної сталі називається перлітом.

Евтектоїдна структура - структура, що є евтектоїдом і утворюється при розпаді твердого розчину сплаву евтектоїдного складу та є механічною сумішшю кристалів двох типів.

Енергія активації - енергія, необхідна для переходу фізико-хімічної системи з одного стану в інший, шляхом подолання потенційного бар'єру, що їх розділяє.

Ентропія - функція стану термодинамічної системи, що характеризує напрям протікання процесу теплообміну між системою і зовнішнім середовищем, а також напрям протікання мимовільних процесів у замкнутій системі.

Ж

Жароміцна сталь - сталь, здатна зберігати високі механічні властивості при високих температурах.

Жароміцність - здатність матеріалів (переважно металевих сплавів) при високих температурах витримувати без руйнування механічні навантаження.

Жаростійкість - здатність металів і сплавів при високих температурах чинити опір хімічній взаємодії з газами.

З

Загартовуваність - здатність металу набувати максимальної твердості при гартуванні; основним фактором, що впливає на загартованість є вміст вуглецю в сталі.

Заевтектоїдна сталь - вуглецева сталь, що містить від 0,8 до 2,03% С.

Залишковий аустеніт - аустеніт, що не зазнав перетворення при гартуванні; кількість його підвищується з підвищенням вмісту вуглецю, підвищенні температури нагрівання під гартування, та дією окремих легуючих елементів.

Зародок - центр кристалізації нової (або попередньої, що перекристалізувалася) фази, яка має власну будову, склад і властивості.

Звичайний сірий чавун - чавун, у якому вуглець у значній мірі або ж цілком знаходиться у вільному стані у формі пластин (розеток).

Злам - поверхня, що утворюється при руйнуванні зразка або виробу.

Зміцнення - процес підвищення опірності матеріалу (виробу) пластичній деформації або руйнуванню.

Знеуглецювання – 1) операція хіміко-термічної обробки, що полягає в дифузійному видаленні з поверхневого шару металу (виробу) вуглецю; 2) процес зменшення вмісту вуглецю в поверхневому шарі металу (виробу).

Знеміцнювання - зменшення міцності матеріалу.

Зношення - зміна розмірів, форми, маси або стану поверхні матеріалу (виробу) при терті.

Зносостійкість - здатність матеріалу чинити опір зношенню.

І

Ізотермічне гартування - гартування, що включає аустенітизацію сталі; здійснюється охолодженням сталі у середовищі з температурою, що є вищою за M_p (початок мартенситного перетворення) (у розплавах солей), з ізотермічним витриманням у ньому до повного або неповного перетворення аустеніту з наступним охолодженням на повітрі; кінцева структура – бейніт або бейніт і карбіди, іноді мартенсит і залишковий аустеніт.

Ізотропія – рівнозначність властивостей матеріалу (середовища) по всіх напрямках.

Інструментальна сталь – сталь, призначена для виготовлення інструменту або його робочих частин.

Інтерметалід, інтерметалева сполука - металева сполука, що характеризується певним стехіометричним співвідношенням і власною кристалічною решіткою.

К

Карбід - хімічна сполука вуглецю з одним або декількома елементами.

Карбюризатор - середовище, здатне забезпечити науглецювання (цементацію) металу (виробу) в певних умовах.

Коагуляція - укрупнення частинок в дисперсних системах (наближає структуру сплаву до рівноважної).

Ковалентний зв'язок - атомний зв'язок у неметалах, що зумовлений електромагнітним тяжінням валентних електронів найближчих сусідніх атомів і характеризується вираженою спрямованістю.

Ковзаюча дислокація - дислокація, що переміщається в площині ковзання під дією дотичних сил.

Ковкий чавун - чавун, що одержується в результаті відпалу білого чавуну і містить в структурі пластівчастий графіт.

Когерентність - узгодженість (близькість орієнтування) кристалічних решіток на межі двох фаз по окремих кристалографічних площинах та напрямках.

Коерцитивна сила - напруженість магнітного поля, необхідна для повного розмагнічування заздалегідь намагніченого феромагнетика.

Коефіцієнт дифузії - величина, що дорівнює кількості речовини, яка продифундувала через поверхню площею 1 см^2 протягом однієї секунди, і, що характеризує швидкість переміщення дифундуювального елементу.

Коефіцієнт лінійного розширення - величина, що характеризує зміну довжини твердого тіла при зміні температури на один градус.

Коефіцієнт Пуассона - величина, що дорівнює абсолютному значенню відношення відносної поперечної деформації до відносної подовжньої деформації прямого стрижня при його подовжньому розтягуванні або стисненні у області дії закону Гука.

Коефіцієнт теплового розширення - величина, що характеризує зміну об'єму (лінійних розмірів) твердого тіла при зміні температури на один градус.

Композиційні матеріали - матеріали, що мають штучне походження і складаються з двох або більше хімічно різних речовин, істотно відмінних за властивостями й розділених вираженою міжкомпонентною межею.

Компонент (сплаву) - хімічний елемент, що утворює однокомпонентну систему або входить до складу сплаву (багатокомпонентної системи), або хімічна сполука, якщо вона не дисоціює при заданих умовах.

Конструкційна сталь - сталь, що використовується для виготовлення деталей машин, будівельних конструкцій тощо і яка володіє високою міцністю, надійністю і довговічністю.

Корозія - руйнування матеріалів внаслідок їх хімічної або електрохімічної взаємодії з корозійним середовищем.

Крайова дислокація (дислокація з вектором Бюргерса) - дефект кристалічної будови, що є межею неповної атомної площини.

Кристалізація - процес утворення кристалів з рідкого, газоподібного і твердого станів.

Кристаліти - те ж саме, що й зерно (кристалічне).

Кристалічна ґратка, просторові ґратки – розташування атомів (іонів), що характеризується періодичною повторюваністю в просторі, паралельних кристалографічних площин, яке властиве твердим кристалічним тілам.

Кристалічна структура – будова кристалічної ґратки.

Кристалічний злам – поверхня руйнування, утворена кристалітами у вигляді блискучих плоских ділянок - фасеток сколювання.

Кристалографічна площа - площа в кристалічній решітці, що позначається за допомогою кристалографічних індексів.

Кристалографія - наука про кристали і кристалічний стан речовини.

Критична швидкість гартування - мінімальна швидкість охолодження, необхідна для переохолодження аустеніту, що забезпечить перетворення аустеніту на мартенсит.

Критичний діаметр - максимальний діаметр циліндричного прутка, який прогартується наскрізь.

Крихкість - здатність твердих тіл руйнуватися при механічних діях без макроскопічно визначеної залишкової деформації.

Л

Латунь - сплав міді з цинком (до 45%), часто з домішками алюмінію, заліза, марганцю, нікелю, свинцю та інших елементів (у сумі до 10%).

Легована сталь (чавун) - сталь (чавун), що містить легуючі елементи.

Легування - введення до складу металевих сплавів спеціальних елементів у кількості, що перевищує 1%) для зміни будови сплавів, надання їм певних фізичних, хімічних чи механічних властивостей.

Легуючий елемент - елемент, що вводиться у сплав для отримання заданих властивостей.

Ледебурит - структура, що складається з суміші кристалів аустеніту і цементиту й утворюється при евтектичному перетворенні білого чавуну.

Ліквация - неоднорідність хімічного складу за об'ємом зливку, виливки, деталі, зерна, яка виникає при кристалізації металу.

Ліквідус - лінія на діаграмі стану, вище за яку всі сплави знаходяться в рідкому стані; відповідає температурі подвійної рівноваги рідкої і кристалічної фаз.

М

Макронапруження, напруження I роду, зональні напруження - внутрішні напруження, що діють у різних частинах виробу і виникають за рахунок градієнту температур у перетині деталі; при термічному обробленні є найбільш небезпечними; залежать як від зовнішніх факторів, так і від властивостей металу.

Макроскопічне дослідження, макроскопічний аналіз - метод дослідження будови металу шляхом огляду його поверхні неозброєним оком або під лупою зі збільшенням до 30 разів.

Макроструктура - будова металу або сплаву, що виявляється при макроскопічному дослідженні.

Макрошліф, макротемплет - металевий зразок з плоскою шліфованою поверхнею, призначений для виявлення макроструктури.

Мартенсит - метастабільний твердий розчин, що утворюється в результаті бездифузійного (мартенситного) перетворення аустеніту.

Мартенсит відпускання - мартенсит, в якому пройшли процеси перерозділення вуглецю та виникнення центрів кристалізації карбідів.

Мартенситна область - інтервал температур, у межах якого відбувається мартенситне перетворення; інтервал температур від M_n до M_k .

Мартенситна сталь - сталь, що має після нормалізації структуру мартенситу.

Мартенситне перетворення - бездифузійне перетворення аустеніту в мартенсит, що відбувається шляхом зсуву.

Метал - речовина, основні фізичні властивості якої визначаються наявністю на зовнішньому енергетичному рівні незначної кількості електронів провідності; володіє високими електро - і теплопровідністю, здатністю до пластичної деформації.

Металевий зв'язок - зв'язок, зумовлений взаємодією електронів провідності та іонів ґрат металу.

Металографічний аналіз, металографічне дослідження - метод дослідження мікро - і макроструктури металів і сплавів.

Металознавство - наука, що вивчає зв'язок між складом, будовою і властивостями металів та сплавів, а також їх зміну при різних зовнішніх діях.

Метастабільна фаза - проміжна, відносно стійка фаза, яка може перейти в більш стійку під дією зовнішніх параметрів системи або самостійно.

Механічне випробовування - випробовування, що полягає у визначенні механічних властивостей матеріалів.

Механічні властивості - властивості, що характеризують роботу здатність матеріалу під дією зовнішніх механічних навантажень.

Міжзеренна корозія, міжкристалітна корозія - корозія по межах кристалітів (зерен) металу (сплаву).

Мікроскопічне дослідження, мікроскопічний аналіз - метод дослідження малих об'єктів за допомогою мікроскопа.

Мікроструктура - будова металу (сплаву) у вигляді зерен з визначеними формою й орієнтуванням і (або) у вигляді однієї або декількох фаз; виявляється при збільшенні більше ніж у 30 разів.

Мікротвердість - твердість дуже малих (мікроскопічних) об'ємів матеріалів, як правило, окремих фаз або структурних складових, що виявляється спеціальними методами.

Мікрошліф - зразок металу, що має шліфовану і поліровану гладку поверхню.

Модифікатор - елемент, що спеціально вводиться в розплав з метою впливу на процес кристалізації.

Модифікування - введення в рідкі метали і сплави спеціальних речовин (модифікаторів) з метою впливу на процес кристалізації; впливає на властивості металів та сплавів за рахунок зміни розмірів та форми зерен .

Мозаїчна структура - структура кристаліту, що складається з дрібних ділянок - блоків мозаїк.

Монокристал – 1) одиночний кристал, що має єдину кристалічну решітку; 2) сукупність атомів (іонів), розташованих у певній послідовності, що повторюється періодично в просторі, і що має правильну геометричну форму та огранку.

H

Нагартовування, наклепування - обробка, що приводить до зміцнення металу в результаті холодної пластичної деформації.

Нагрівання - процес поглинання енергії, у результаті якого відбувається підвищення температури металу (виробу).

Надійність - здатність виробу виконувати задані функції, зберігаючи свої експлуатаційні показники в заданих межах.

Наклеп - зміцнення металевих матеріалів під дією холодної пластичної деформації за рахунок підвищення щільності дислокацій.

Напруження (механічне) - фізична величина, що чисельно дорівнює силі, яка діє на одиницю площі перерізу.

Неметалеві матеріали - матеріали органічного й неорганічного походження, до них належить пластмаса, деревина, гума, скло, клеї, герметики, лакофарбові покриття та ін.

Неметалеve включення - неметалева частинка (оксид, сульфід, силікат та ін.) у структурі металів і сплавів.

Неповне гартування - гартування сталі, при якому нагрівання відбувається до температур, що вищі за температуру A_{c1} , але нижчі, від температури A_{c3} чи $A_{ст}$.

Низький відпал - відпал сталі чи чавуну з нагріванням до температури, що є нижчою за A_{c1} ; метою низького відпалу є зменшення внутрішніх напружень при задовільній структурі металу.

Низьковуглецева сталь - вуглецева сталь, кількість вуглецю в якій умовно прийнято меншою за 0,25%.

Низьколегована сталь - легована сталь, у якій сумарний вміст легуючих елементів умовно прийнято меншим за 2,5%.

Нітрид - хімічна сполука азоту з одним або декількома елементами.

Нормалізація - термічна обробка сплавів заліза, що складається з повної аустенітизації і охолодження на відкритому повітрі.

Нормалізована сталь - сталь, яка пройшла операцію нормалізації.

O

Об'ємноцентрована кубічна гратка - кристалічна гратка, що належить до кубічної системи і складається з елементарних кристалічних осередків, які містять атоми не тільки у вершинах, а й у центрі об'єма куба.

Об'ємна термічна обробка - термічна обробка виробу в усьому його об'ємі.

Обробка холодом - термічне обробка, яке виконується після гартування з метою перетворення залишкового аустеніту в мартенсит, що полягає в охолодженні сталі (сплаву) до низьких негативних температур і необхідній витримці.

Окалиностійкість - здатність металу (сплаву) чинити опір утворенню на його поверхні окалини.

Окислення - процес взаємодії кисню з металом (виробом), що спричиняє виникнення оксидів.

Оксидування - технологічне окислення поверхневого шару металевих виробів з метою захисту від корозії, шляхом утворення на поверхні захисних оксидних плівок.

Основа - матрична фаза або основна структурна складова сплаву.

Охолодження - процес відведення енергії, у результаті якого відбувається зниження температури металу (виробу).

II

Параметр кристалічної ґратки - відстань між двома сусідніми атомами по ребру кристалічної ґратки; величина параметру кристалічної ґратки вимірюється в ангстремах.

Первинний цементит - цементит, що виділяється при кристалізації із рідини у сплавах системи залізо - вуглець.

Перегрівання - брак, що утворюється при нагріванні металу (виробу) до температури, що значно перевищує температуру A_{c3} , при якій під час витримки відбуваються процеси збиральної рекристалізації та утворення крупнозернистої структури; перегрівання може бути усунено наступними термічними обробками - повним відпалом або нормалізацією.

Переохолодження - охолодження речовини до температур, що є нижчими за температури рівноважного стану фаз.

Пересичений твердий розчин - твердий розчин, в якому розчинені атоми знаходяться в кількості, що перевищує їх вміст у рівноважному стані за даних умов.

Перехідний метал - метал, атоми якого мають частково заповнені електронами d - і f - оболонки.

Перліт - структурна складова евтектоїдної сталі, яка є сумішшю фериту і цементиту, що утворюється при евтектоїдному перетворенні з аустеніту, вміст вуглецю в якому складає 0,8%.

Перлітна область - інтервал температур, у межах якого відбувається утворення структур шляхом дифузії атомів заліза та вуглецю.

Перлітне перетворення - перетворення аустеніту в перліт.

Пластинчаста структура - структура, що складається з мікрочасток (фаз), які мають у двох вимірюваннях розміри, що значно перевищують розмір у третьому вимірюванні (товщину).

Пластичність - властивість твердих тіл, не руйнуючись, змінювати під дією зовнішніх сил свої розміри і форму.

Поверхнева енергія - надлишок вільної енергії поверхневого шару на межі розділу фаз у порівнянні з відповідною об'ємною енергією самих фаз.

Поверхнєве зміцнення – 1) обробка, що зміцнює поверхневий шар металу (виробу); 2) процес підвищення міцності поверхневого шару металу (виробу).

Повне гартування - гартування сплавів заліза, при якому нагрівання металу (виробу) відбувається до температур, що перевищують $A_{с3}$, що викликає повну перекристалізацію.

Повний відпал - відпал сплавів заліза, при якому відбувається повна аустенітизація, що приходить при нагріванні до температур, що перевищують $A_{с3}$ з наступним повільним охолодженням разом з піччю.

Поліморфне перетворення - *див.* алотропічне перетворення.

Пора - один з видів об'ємних дефектів кристалічної будови - несучільність металу (виробу), що формується в об'ємі компактного матеріалу в результаті усадки, або скупчення газів.

Пористість - несучільність матеріалу у вигляді пор, що характеризується відношенням виміряного об'єму пор до повного об'єму пористого тіла.

Природне старіння - процес старіння, що відбувається при кімнатній температурі.

Прогартовуваність - здатність сталі чи іншого сплаву сприймати гартування на визначену глибину.

Рекристалізаційний відпал - нагрівання холоднодеформованого металу вище температури рекристалізації з метою утворення рівноважної структури і зняття наклепу.

Рекристалізація - процеси, що відбуваються при нагріванні деформованого металу та приводять до зниження його енергії.

Релаксаційний відпал - *див.* відпал для зняття напружень.

Розкислення - вилучення з розплавлених металів (головним чином сталей, а також деяких інших сплавів) розчиненого в них кисню шляхом додавання розкислювачів.

Розкислювачі – хімічні елементи, що мають більше споріднення до кисню, ніж залізо.

Розчин - однорідна система двох або більше речовин.

Руйнування - процес виникнення, розвитку і накопичення пошкоджень матеріалу (наприклад, пор і тріщин), що порушує його суцільність і розділяє його на частини.

С

С - подібні криві - *див.* діаграма ізотермічного перетворення.

Самодифузія - переміщення атомів металу у власних ґратках під дією теплового або інших видів збудження.

Сегрегація - неоднорідність хімічного складу матеріалу, яка виникає при кристалізації або термообробці в твердому стані.

Середньовуглецева сталь - сталь, що містить 0,3...0,5% С.

Серцевина - внутрішня частина виробу.

Сірий чавун - чавун, у якому вуглець у значній мірі або повністю знаходиться у вільному стані у формі графіту.

Солідус - лінія на діаграмі стану, що відповідає температурам, при охолодженні нижче за які всі сплави знаходяться у твердому стані.

Сольвус - лінія обмеженої розчинності у твердому стані на діаграмі стану.

Сплави - складні речовини, що складаються з декількох металів або металів з неметалами.

Стабілізатори - речовини (нафталін, сажа, антрацен), що сповільнюють атмосферне старіння пластмас під дією світла, теплоти, кисню й озону.

Сталь - сплав заліза з вуглецем (до 2,14%) та іншими елементами.

Старіння – 1) операція термічної обробки, що проводиться після гартування без поліморфного перетворення, що полягає у витримці металу (виробу) при кімнатній або підвищеній температурах і забезпечує дисперсійне зміцнення (тверднення).

Структура - внутрішня будова матеріалу (металу, сплаву), що вивчається неозброєним оком чи за допомогою спеціальних приладів (оптичних, електронних, рентгенівських та ін.).

Ступінчасте гартування - гартування, при якому охолодження переривається на деякий час за допомогою витримки металу (виробу) при певній температурі.

Субзерно - область зерна (кристаліту) довільної форми, вільна від дислокацій і відокремлена від інших областей малокутовими межами.

Субструктура - структура окремих зерен металів і сплавів, що є сукупністю субзерен.

Сульфідкування - хіміко-термічне обробка, що полягає в дифузійному насиченні поверхневого шару металу (виробу) сіркою.

Сфероїдальний графіт - *див.* куляста форма графітних включень.

Т

Твердий розчин - однофазний твердий стан сплаву, у якому кристалічна ґратка розчинника є основою, в котрій знаходяться атоми одного або більше розчинених елементів.

Твердий розчин впровадження - твердий розчин, у якому атоми розчинених елементів знаходяться в міжвузлях кристалічної ґратки розчинника.

Твердий розчин заміщення - твердий розчин, у якому атоми розчинених елементів заміщують атоми розчинника в кристалічній ґратці.

Твердість - це здатність матеріалу чинити опір вдавлюванню в нього більш твердого тіла (індентора).

Твердомір – прилад для вимірювання твердості матеріалів.

Текстура - переважна орієнтація зерен у полікристалі або молекул у твердих тілах (аморфних, полімерах).

Температура M_k , температура кінця мартенситного перетворення - температура, при якій повністю закінчується перетворення аустеніту в мартенсит.

Температура M_p , температура початку мартенситного перетворення - температура, при якій аустеніт починає перетворюватися на мартенсит.

Температура рекристалізації - температура, при якій починають розвиватися процеси рекристалізації.

Теплоємність - кількість теплоти, що поглинається тілом (металом), при підвищенні його температури на один градус.

Теплопровідність - здатність тіла передавати теплову енергію від однієї його точки до іншої, якщо між ними виникає різниця температур.

Термічна обробка (термообробка) - теплова дія на метал (виріб), що спричинює зміну його структури і властивостей.

Термічні напруження - напруження, що виникають у металі (виробі) в результаті зміни температури.

Термомеханічна обробка - обробка, що полягає в термічній і деформаційній дії на метал (виріб) у такому поєднанні, коли пластична деформація впливає на формування структури при фазових перетвореннях, які відбуваються під час термічної дії.

Травлення - хімічна чи електрохімічна обробка поверхні твердих матеріалів.

Травлення шліфів - хімічна обробка (зазвичай розчинами кислот) поверхонь металографічних шліфів з метою диференційованого витравлювання структурних складових.

У

Ударна в'язкість - питома робота руйнування зразка при ударному вигині.

Ударне випробовування - випробовування, що відбувається шляхом дії на зразок ударного навантаження.

Усадочні раковини - дефекти (пустоти) в зливках і зливках, що утворюються в результаті зменшення об'єму металу при охолодженні та переході з рідкого стану в твердий.

Ф

Фаза - однорідна частина гетерогенної системи, що має власну будову, та відокремлена від інших частин системи поверхнею розподілу, при переході через яку змінюються властивості, а інколи і хімічний склад.

Фазове перетворення - перетворення в сплавах, у результаті якого утворюються і ростуть зародки нової фази, стійкої за даних умов.

Ферит - твердий розчин одного або декількох елементів у α - або δ -залізі, що має об'ємноцентровану кубічну решітку.

Феритна сталь - сталь, основа якої має структуру фериту.

Х

Хіміко-термічна обробка - термічна обробка, при якій у результаті дифузії відбувається зміна хімічного складу основного металу в поверхневому

шарі виробу або в усьому його об'ємі, що відбувається, як правило, в штучно створених контрольованих середовищах.

Холодна деформація - процес зміни форми тіла під дією зовнішніх сил при температурах, що нижчі за температурний поріг рекристалізації.

Холодна тріщина - тріщина, що виникає в матеріалі при низьких температурах.

Холодноламкість - здатність матеріалу крихко руйнуватися при низьких температурах, що посилюється зі зниженням температури (або підвищенням вмісту фосфору в сталі).

Ц

Цементация - *див.* науглецьовування.

Цементит, карбід заліза - хімічна сполука заліза з вуглецем Fe_3C , яка є найбільш твердою фазою залізовуглецевих сплавів.

Ч

Чавун - сплав заліза з вуглецем (містить більше ніж 2,14%С), для якого характерним є високі ливарні властивості.

Червоноламкість - різке зниження пластичності сплавів при температурі гарячої обробки тиском у результаті розплавлення сульфідної евтектики та окислювання меж зерен.

Червоностійкість - здатність інструментальної швидкорізальної сталі зберігати високу твердість (структуру мартенситу) при нагріванні до температури 550...600°C.

Ш

Швидкорізальна сталь - сталь, що відрізняється підвищеною теплостійкістю, призначена для виготовлення різального інструменту, що працює, як правило, при високих швидкостях різання.

Штучне старіння (операція) - старіння, що відбувається при температурі, яка вища за кімнатну.

Щ

Щільність дислокацій - сумарна довжина дислокацій, віднесена до одиниці об'єму.

Щільноупакована площина - площина в кристалічній решітці, що має максимальну кількість атомів на одиницю площі.

Навчальне видання

**Галико Анатолій Васильович
Кузик Олександр Володимирович
Кропівний Володимир Миколайович
Кропівна Альона Володимирівна
Молокост Людмила Анатоліївна**

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

Навчальний посібник: навчально-методичний комплекс
для студентів денної і заочної форм навчання

Технічний редактор: Кропівний В.М., Кузик О.В.

Комп'ютерний набір та верстка: Кузик О.В.

Формат 60x84 1/16. Ум. друк. арк. 9,8
Облік. видав. арк. 7,72. Тираж 300. Зам. 98.

Видавець і виготовлювач СПД ФО Лисенко В.Ф.
25029, м. Кіровоград, вул. Пацаєва, 14, к. 1, кв. 101. Тел. (0522)322-326
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК №3904 від 22.10.2010.