

Державний заклад «Південноукраїнський національний педагогічний
університет імені К.Д. Ушинського»

В.В. Усов

**ТЕРМІЧНА ОБРОБКА СТАЛЕЙ, МІДНИХ, ПІДШИПНИКОВИХ ТА
АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ**

Методичні рекомендації та завдання до практичних занять для здобувачів
вищої освіти першого (бакалаврського) рівня зі спеціальності 014 Середня
освіта (Трудове навчання та технології)

Одеса 2025

Рецензенти:

В. Я. Гоцульський, доктор фізико-математичних наук, професор.

О.Р. Гохман, доктор фізико-математичних наук, професор.

Друкується за рішенням Державного закладу «Південноукраїнський національний педагогічний університет імені К. Д. Ушинського»

від «____» _____ 2025р., протокол № ____

В. В. Усов

УДК: 378.62-4

Термічна обробка сталей, мідних, підшипникових та алюмінієвих сплавів: Методичні рекомендації та завдання до практичних робіт. Одеса: Університет Ушинського, 2025. – 25 с.

ЗМІСТ

Вступ.....	
1. Термічна обробка сталей.....	
2. Структура та властивості мідних та підшипникових сплавів....	73
3. Структура та властивості алюмінієвих сплавів.....	80

ВСТУП

Мета даних методичних рекомендацій – надати допомогу здобувачам вищої освіти першого (бакалаврського) рівня зі спеціальності «014 Середня освіта (Трудове навчання та технології)» на практичних заняттях з теми «Термічна обробка вуглецевих сталей» з дисципліни «Виробництво та обробка конструкційних матеріалів». В даних методичних рекомендаціях містяться короткі теоретичні відомості, приклади рішення задач, завдання та задачі для самостійного розрахунку, порядок виконання роботи.

1. ТЕРМІЧНА ОБРОБКА ВУГЛЕЦЕВИХ СТАЛЕЙ.

МЕТА: вивчення впливу швидкості охолодження вуглецевих сталей із аустенітного стану на структуру і механічні властивості (твердість); вивчення впливу кількості вуглецю на твердість загартованої сталі.

1.1 КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Експлуатаційні властивості сталі залежать від її хімічного складу і структури. Основним способом, що дозволяє змінювати структуру, а, отже, і властивості є термічна обробка. До 40 % сталей, які використовуються в машинобудуванні для виготовлення деталей машин, проходять різні види термічної обробки. Під час термічної обробки сталі звичайно нагрівають до аустенітного стану. Необхідні структури формуються у процесі охолодження аустеніту.

Незначна ступінь переохолодження аустеніта або дуже повільне охолодження із аустенітного стану забезпечує утворення в сталі рівно вагових структур – структур відпаленої сталі (дивись роботу 5). Чим більше ступінь переохолодження аустеніта або чим більше швидкість його охолодження, тим при більш низьких температурах буде проходити перетворення аустеніта в нерівно вагові структури.

На рисунку 1.1 зображена діаграма ізотермічного перетворення аустеніта евтектоїдної сталі з нанесеними на неї кривих охолодження. З діаграми видно, що змінюючи швидкість охолодження нагрітих сталей з аустенітного стану, і змінюючи швидкість переохолодження, можна одержувати сталі з різними структурами і властивостями.

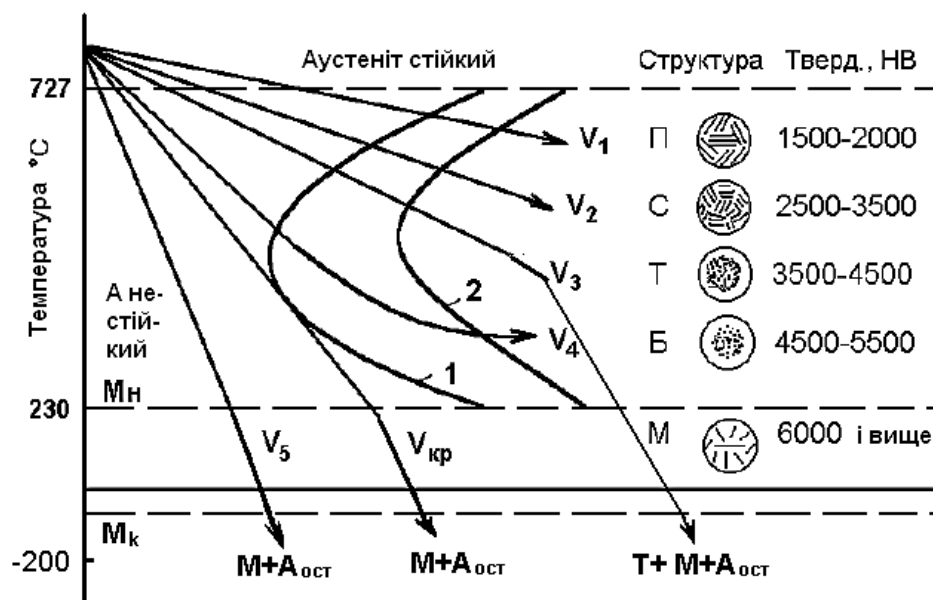


Рис. 1.1 – Діаграма ізотермічного перетворення аустеніту евтектоїдної сталі з кривими охолодження

Так при невеликих швидкостях охолодження (V_1 , V_2 , V_3) в інтервалі температур $720...550^{\circ}\text{C}$ з аустеніту утворюються пластинчаті (смугасті) ферито-цементитні суміші – перліт, сорбіт, тростит. Ці суміші відрізняються дисперсністю структури, а тому і механічними властивостями. У перліті відстань меж пластинами $d \approx 1$ мкм, НВ 1500...2000 МПа; у сорбіті $d \approx 0,3$ мкм, НВ 2500...3500 МПа; у трооститі $d \approx 0,1$ мкм, НВ 3500...4500 МПа. При більших швидкостях охолодження (V_4) утворюється бейніт (на ім'я вченого Э. Бейн, НВ 4500...5500 МПа) структура, що має вигляд різаної соломи (верхній бейніт при $\approx 450^{\circ}\text{C}$) чи голчата структура (нижній бейніт при більш низької температурі).

При охолодженні сталі зі швидкістю більше критичної із аустеніта утворюється структура мартенсит.

Мартенсит – це структура загартованої сталі. Мартенсит – це пересичений твердий розчин вуглецю в α -Fe. Він містить стільки вуглецю, скільки його було в аустеніті сталі. Мартенсит має тетрагональну кристалічну ґратку. Чим більше вуглецю в сталі, тим більше ступінь тетрагональності і тим більше твердість і міцність сталі. Твердість мартенситу HB 6000- 7000 МПа (HRC 62-66), а показники пластичності δ , ψ і ударна в'язкість KCU близькі до нуля. Перетворення аустеніту в мартенсит протікає в певному температурному інтервалі: починається при температурі M_H і закінчується при температурі M_K (ці температури називають мартенситними точками). Положення мартенситних точок залежить від вмісту вуглецю в сталі. Так, наприклад, точка M_K в заевтектоїдних сталях лежить у області негативних температур, що приводить до присутності в сталі після гарту залишкового (остаточного) аустеніту $A_{ост.} \approx 5-20 \%$. Наявність в структурі сталі $A_{ост.}$ зменшує твердість загартованої сталі. Усунути $A_{ост.}$ із структури можна за допомогою обробки холодом і відпуском.

Гартування вуглецевої сталі на мартенсит дуже часто забезпечується охолодженням у воді.

Якщо вуглецеву сталь охолоджувати із аустенітного стану на спокійному повітрі, то аустеніт перетвориться у сорбіт. Така термічна обробка зветься нормалізацією.

1.2 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. На діаграму ізотермічного розпаду переохолодженого аустеніту для сталі У8 (Рис. 1.2) нанесіть криві охолодження, які відповідають відпалу, нормалізації, гартуванню. Нанесіть також вектор критичної швидкості гартування.

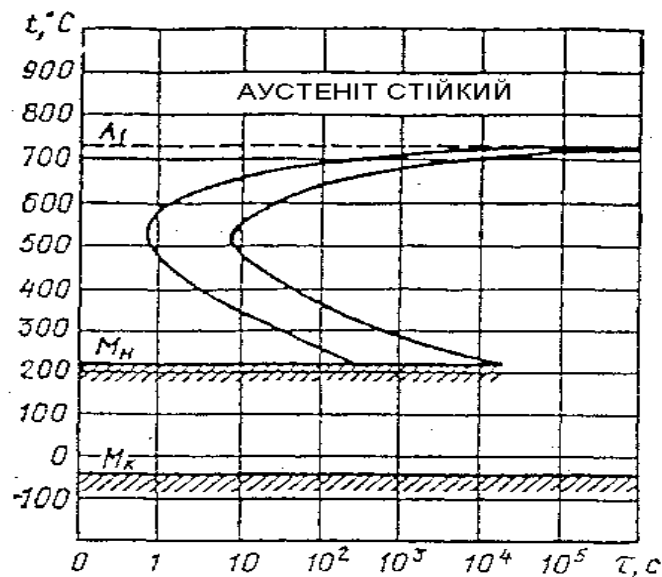


Рис. 1.2.

2. Розгляньте на рисунку 1.3 і схематично нарисуйте на вільних полях Рис. 1.3, а структури сталі У8 після відпалу, нормалізації, гартування. Вкажіть на вільних полях рис. 1.3,б структури, які утворюються при таких термічних обробках та їх твердості.

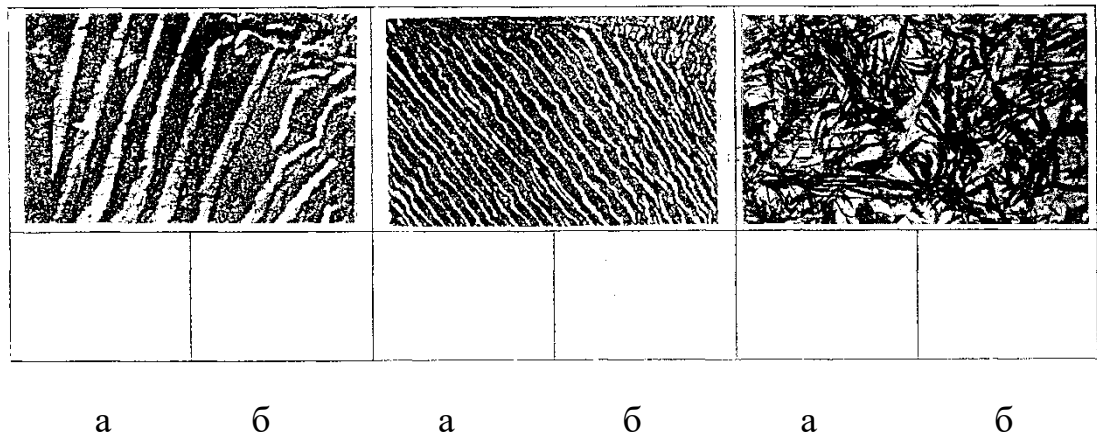


Рис. 1.3

3. Визначить вміст вуглецю у заданих сталях і заповніть таблицю (Рис. 1.4). Проаналізуйте вплив кількості вуглецю на твердість загартованої сталі. Побудуйте графік $HRC = f(\%C)$ (Рис. 1.5). Поясніть хід кривої.

Марка	%, С	HRC
Сталь 20		40
Сталь 30		48
Сталь 45		57
Сталь 60		59
У 8		60
У10		57
У12		55

Рис. 1.4.

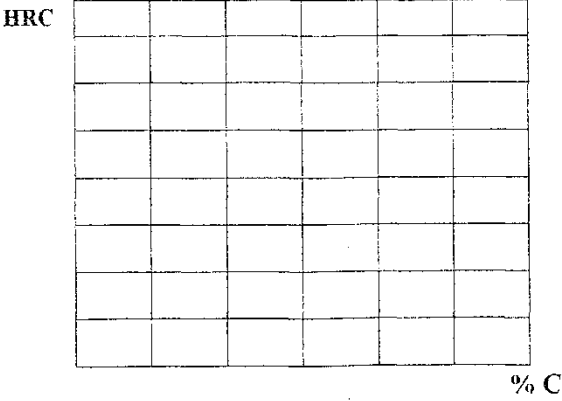


Рис. 1.5.

2. ВІДПУСК ЗАГАРТОВАНОЇ СТАЛІ

МЕТА: вивчення перетворень, які проходять при відпуску загартованої сталі; вивчення впливу температури відпуску на механічні властивості сталі.

2.1 КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Високі структурні і термічні напруження, а також підвищена твердість і крихкість сталі, загартованої на мартенсит, викликають необхідність проведення відпуску. При відпуску структура сталі від нерівноважної (метастабільної) структури мартенситу гарту все більше наближається до рівноважного стану.

Відпуском називається завершальна операція термічної обробки, що полягає в нагріві загартованої сталі до температури нижче за критичну A_{C1} , витримці при цій температурі і подальшому охолодженні. Швидкість охолодження не має значення, тому що всі перетворення відбуваються при нагріві до температур відпуску.

Вихідною структурою перед відпуском є мартенсит гарту M_T , або мартенсит і аустеніт остаточний ($M_T + A_{ост.}$). Залежно від температури розрізняють три різновиди відпуску: низький, середній і високий.

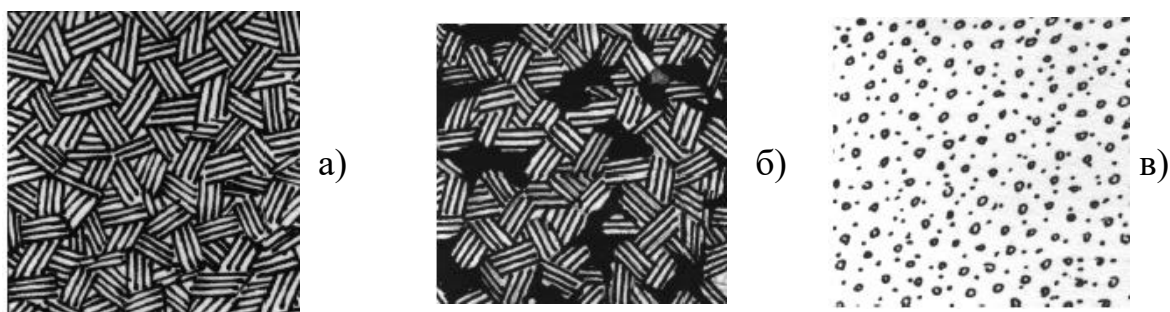
При низькому відпуску загартовану сталь нагрівають до температур 150-250°C. Під дією підвищеної температури атоми вуглецю набувають вищої рухливості і завдяки цьому частково виходять з мартенситу (перенасиченого твердого розчину в δ -залізі). Вони утворюють метастабільний карбід Fe_2C . При цьому внутрішні напруження в кристалічній ґратці заліза і її тетрагональність зменшуються, а, отже, знижується схильність до крихкості загартованої сталі. Карбіди, що утворюються, мають малі розміри і металографічно не виявляються. Суміш дисперсних карбідів і мартенситу з пониженим вмістом вуглецю називається

мартенситом відпуску M_v . При температурах вище 200°C залишковий аустеніт перетворюється на мартенсит відпуску M_v .

При середньому відпуску нагрів загартованої сталі проводять до температур $300\text{--}450^{\circ}\text{C}$. При цьому повністю завершується процес виділення вуглецю з пересиченого твердого розчину і мартенсит перетворюється на ферит. Карбід Fe_2C перетворюється в цементит Fe_3C . Утворюється структура, що складається з фериту, в якому рівномірно розподілені найдрібніші частинки цементиту, названа трооститом відпуску T_v .

При високому відпуску загартовану сталь нагрівають до температур $500\text{--}650^{\circ}\text{C}$. Такий нагрів приводить до коагуляції частинок цементиту - дрібні частинки зливаються в більші. Суміш фериту і цементиту грубішої будови, ніж троостит, називають сорбітом відпуску S_v . Термічну обробку, що включає гарт і високий відпуск, називають поліпшенням. Відпуск вище за 650°C вже не підвищує пластичність. Структура сталі після такого відпуску є достатньо грубою сумішшю фериту і цементиту, яка називається зернистим перлітом або перлітом відпуску.

Структури загартованої сталі 40 після низького (а), середнього (б) високого (в) відпуску зображені на рисунку 2.1.



мартенсит відпуску мартенсит + троостит відпуску сорбіт відпуску

Рис. 2.1 – Структури загартованої сталі 40 після відпуску

Слід зазначити, що, не дивлячись на однакову назву структур (троостит, сорбіт, перліт) після відпуску із структурами, одержаними безпосередньо при розпаді аустеніту і однакову фізичну природу (суміші

фериту і цементиту), структури після відпуску мають вищі механічні властивості, оскільки їх будова зерниста, а не пластинчаста.

Низькому відпуску піддають ріжучий і вимірювальний інструменти, а також деталі після поверхневого гарту і цементації. Структура M_v + карбіди забезпечують високу твердість сталі (у сталі із змістом вуглецю 0,7% - HRC 59...63).

Середній відпуск застосовується головним чином після гарту пружин і ресор. Середній відпуск зменшує внутрішні напруження більшою мірою, чим низький відпуск. Структура T_v призводить до значного зниження твердості (у евтектоїдної сталі HRC 45...50) і забезпечує високі межі пружності і витривалості.

Високий відпуск на 90-95% усуває внутрішні напруження. Гарт з високою відпусткою одночасно підвищує межу міцності (тимчасовий опір), межу текучості, відносне звуження і особливо ударну в'язкість. Структура S_v забезпечує зниження твердості (HRC 30...45). Застосовують для відповідальних деталей і інструментів, що працюють в умовах динамічного навантаження: валів, шатунів, молотових штампів і ін.

2.2. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Розгляньте на рисунку 2.2 і схематично нарисуйте структури сталі У8 після низького, середнього та високого відпуску (на вільних полях рис. 2.2,а). Вкажіть, які структури утворюються при цьому (на вільних полях рис. 2.2,б).

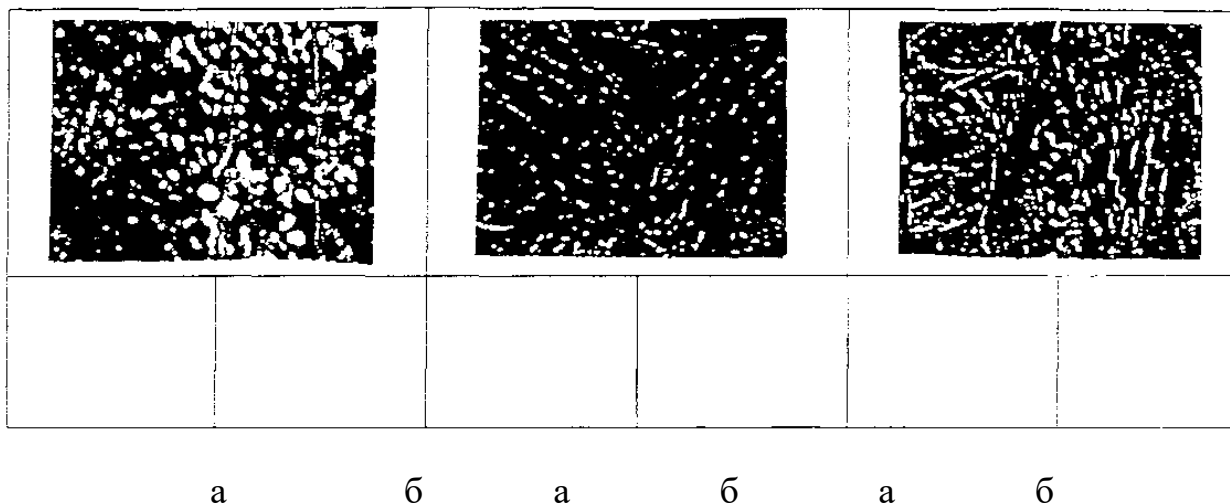


Рис. 2.2

2. Проаналізуйте графіки залежності механічних властивостей сталі У8 від температури відпуску (Рис. 2.3). Заповніть таблицю 2.1. Зробіть висновки.

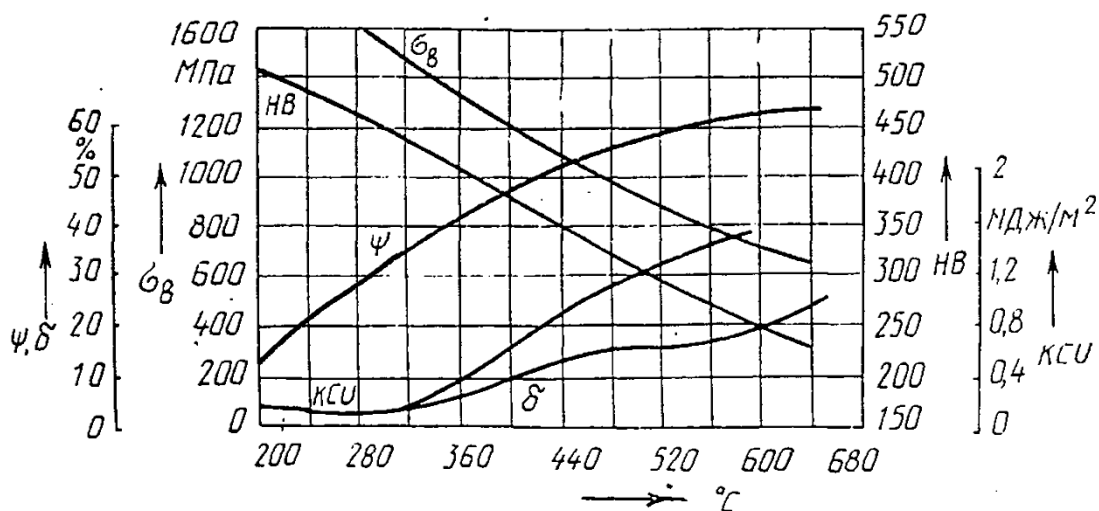


Рис. 2.3. Механічні властивості сталі У8 при різних температурах

Таблиця 2.1

Вид випуску	T°С	Структура	Властивості				
			НВ	σ_B , МПа	δ , %	ψ , %	КСУ, МДж/м ²

3. СТРУКТУРА ТА ВЛАСТИВОСТІ МІДНИХ ТА ПІДШИПНИКОВИХ СПЛАВІВ

МЕТА: вивчення структури, властивостей, маркування мідних та підшипникових сплавів.

3.1 КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Мідь – метал з гранецентрованою кубічною граткою. Густина міді 8940 кг/м³, температура плавлення 1083⁰С.

Мідь має високу тепло – та електропровідність, корозійну стійкість. Мідь знаходить широке застосування в електротехніці. Технічно чиста мідь маркірується: М00 (99,99 % Cu), М0 (99,95 % Cu), М2, М3 і М4 (99 % Cu).

Міцність (σ_B) міді зростає після холодної деформації (з 150...200 до 500 Мпа). Підвищення механічних властивостей міді досягається також лігування її Zn, Sn, Al, Mn, Fe, Si, Ni. Сплави міді діляться на латуні, бронзи і мідно-нікелеві сплави.

Латуні – це сплави міді з цинком, які містять до 49 % Zn. Латуні маркірується буквою Л, за якою слідує число, що показує вміст міді у відсотках, наприклад в латуні Л62 міститься 62 % мідь і 38 % цинку. Латуні бувають двійні і багатокомпонентні. Фазовий стан двійних латуней описується діаграмою стану Cu-Zn (Рис. 1.1). Однофазні α – латуні це

твердий розчин Zn в міді. Однофазні α – латуні Л96, Л90 (томпаки) мають колір золота, їх використовують для виготовлення деталей деформацією в холодному стані (ювелірних виробів, стрічок, гільз патронів, радіаторні трубки, дріт). Латуні Л80, Л70 (полутомпаки) застосовують для деталей електрообладнання.

Латуні β і β' – це впорядкований і невпорядкований тверді розчини на основі електронного сполучення CuZn. Кристали β' -фази характеризуються підвищеною крихкістю. Тому двофазні ($\alpha + \beta'$) - латуні обробляють тиском при температурі вище 500⁰С. З двофазної латуні виготовляють листи, прутки і інші заготовки, з яких подальшою механічною обробкою виготовляють деталі.

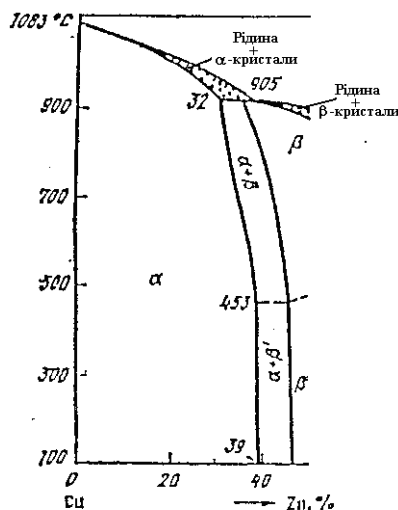


Рис. 3.1. Діаграма фазового стану двійних латуней Cu-Zn

Для поліпшення механічних і технологічних властивостей латуні легують. Якщо окрім міді і цинку є інші елементи, то їх позначають літерами: О – олово, С – свинець, Ж – залізо, Ф – фосфор, Мц – марганець, А – алюміній, Ц – цинк. В марках багатокомпонентних латуней після букв слідують числа через дефіс. Перше число показує кількість міді, інші – кількість відповідних легуючих елементів. Наприклад, сплав ЛАЖ60-1-1 містить 60 % мідь, 1 % алюмінію, 1 % заліза, решта (38 %) – цинк. Таки елементи, як Al, Si, Ni, Mn підвищують корозійну стійкість в морської воді,

тому латуні з оловом звуться «морськими латунями» – ЛО70-1, Л60-1, Л90-1. Таки елементи, як Fe, Al, Mn підвищують твердість і міцність латуні до 550 МПа. Латунь, що обробляється різанням, поліпшується присадкою до складу латуні свинцю, наприклад, латуні марки ЛС59-1, ЛС74-3, ЛС64-3 називають «автоматною латунню». Введення в латуні легуючих елементів (окрім Ni) рівноцінно підвищенню в них кількості Zn з відповідними коефіцієнтами Гійє (табл.1.1).

Таблиця 3.1

Коефіцієнти Гійє, що враховують еквівалент Zn при легуванні латуней

Легуючий елемент	Si	Al	Sn	Pb	Fe	Mn	Ni
Коефіцієнт Гійє	11	5	2	1	0,9	0,5	-1,4

Термічна обробка латуней – відпал при 600...700⁰С перед пластичним деформуванням. Латунь є хорошим матеріалом для конструкцій, що працюють при негативних температурах.

Бронзою називаються сплави міді з іншими елементами окрім цинку і нікелю. Zn і Ni вводять у бронзи як додаткові легуючи елементи. Бронзи маркуються літерами Бр, далі вказують легуючи елементи і їх кількість. Наприклад, марка БрОФ10-1 означає, що в бронзу входить 10 % олово, 1 % фосфору, решта – мідь. В залежності від легуючих елементів відрізняють олов'яні, алюмінієві, світові бронзи та інші.

Олов'яні (олов'янисті) бронзи містять до 12 % олова. Якщо олова до 6 %, структура бронзи α - твердий розчин олова в міді. Бронзи, що містять від 6 до 12 % олова, – двохфазні зі структурою α + евтектоїдна суміш (α + δ). δ -твердий розчин на базі електронного сполучення Cu₃₁Sn₈.

Для поліпшення ливарних властивостей в олов'янисті бронзи додають фосфор, який, крім того, підвищує твердість і зносостійкість. З олов'яної бронзи БрОФ10-1 відливають підшипники ковзання, виробляють дріт для пружин.

Для поліпшення обробки різанням, підвищення зносостійкості в бронзи вводять Pb і Zn. З бронзи БРОЦ5-5-5, БрОЗЦ7С5Н1, БрО4Ц4С17 виготовляють пароводяну арматуру, виробляють підшипники ковзання, антифрикційні втулки, вінці черв'ячних коліс, вкладиші підшипників. Олов'яна бронза має низьку об'ємну усадку (близько 0,8 %), тому використовуються в художньому литві.

Алюмінієві бронзи містять до 11 % Al. Якщо Al в бронзі до 7,4 %, структура α – твердий розчин Al в Cu. Якщо Al більше 7,4 %, то структура бронзи α евтектоїдна суміш ($\alpha + \gamma$). γ – це твердий розчин на базі сполучення $\text{Cu}_{31}\text{Al}_{19}$. α – бронзи (БрФ5, БрФ7) пластичні. Двохфазні бронзи звичайно легують. Таки елементи як Fe, Mn підвищують міцність, зносостійкість, а Mn, Ni підвищують корозійну стійкість, жаростійкість. Марки алюмінієвих бронз: БрАЖ9-4, БрАЖ9-4Л, БрАЖН10-4-4. З алюмінієвої бронзи виготовляють відносно дрібні, але високо відповідальні деталі типу шестерень, втулок, фланців литвом і обробкою тиском. З бронзи БрА5 штампуванням виготовляють медалі і дрібну розмінну монету.

Крем'яниста бронза БрКМц3-1, БрК4, застосовують як замітники олов'яної бронзи. Вони немагнітні і морозостійкі, перевершують олов'яну бронзу по корозійній стійкості і механічним властивостям, мають високі пружні властивості. Сплави добре зварюються і піддаються паянню. Завдяки високій стійкості до лужних середовищ і сухих газів, їх використовують для виробництва стічних труб, газо- і димопроводів.

Свинцеві бронзи містять до 33 % Pb і мають структуру механічної суміші Cu + Pb. Їх легують Sn, Ni, які підвищують зносостійкість. БрС30, БрОС8-12, БрСН60-45 використовують як високоякісний антифрикційний матеріал для виробництва підшипників ковзання. В порівнянні з олов'яною бронзою мають нижчі механічні і технологічні властивості.

Берилієві бронзи містять до 1,8...2,5 % Be. БрБ2, є високоякісним пружинним матеріалом. Розчинність берилію в міді з пониженням температури значно зменшується. Це явище використовують для отримання

високих пружності і міцності виробів методом дисперсійного твердіння. Готові вироби з берилієвої бронзи піддають гарту від 800⁰С, завдяки чому фіксується при кімнатній температурі пересичені твердий розчин берилію в міді. Потім проводять штучне старіння при температурі 300...350⁰С. При цьому відбувається виділення дисперсних частинок, структура α + CuBe, зростають міцність і пружність. Після старіння межа міцності досягає 1100...1200 МПа.

Мідно-нікелеві сплави маркують літерами МН і числом, що показує сумарний вміст (Ni + Co). Наприклад, МН19 – сплав, в якому 19 % (Ni + Co), решта 81 % Cu. Головні мідно-нікелеві сплави такі.

Нікелін — сплав міді з нікелем (25—35% Ni) з домішками марганцю, заліза і цинку. Характеризується великим електричним опором, застосовується в реостатах.

Мельхіор – МН19, МНЖМц30-0,8-1. Їх структура α – твердий розчин Ni, Co, Fe, Mn в Cu. З мельхіору виготовляють високоякісні деталі морських човнів, ювелірні вироби, посуд, термоелементи, точні резистори і так далі.

Нейзильбер МНЦ15-20 ((Ni + Co) 15 %, Zn 20 %, решта Cu). Нейзильбер — (від нім. neusilber — «нове срібло») сплав міді з 5-35 % нікелю і 13-45 % цинку. Характеризується корозійною стійкістю, підвищеною міцністю і пружністю після деформації, задовільною пластичністю в гарячому і холодному стані. Застосовується в промисловості для виготовлення деталей точних приладів, медичних інструментів, парової і водяної арматури, а також медалей і ювелірних виробів.

Копель МНМц43-0,5. Копель — сплав, що складається з наступних елементів: Ni (43—44%); Fe (2—3%); решта Cu. Володіє високою термоелектрорушійною силою в парі з багатьма металами і застосовується для виготовлення електродів термопар.

Константан МНМц40-1,5. Константан — сплав, що складається з наступних елементів: Ni (39—41%); Mn (1—2%); решта Cu. Сплав має високий питомий електричний опір (близько 0,5 мкОм·м), мінімальне

значення термічного коефіцієнта електричного опору, високу термоелектрорушійну силу в парі з хромелем, а також з міддю. Йде на виготовлення, реостатів і електронагрівальних елементів з робочою температурою до 400—500 °С, вимірювальних приладів низького класу точності.

Бабіти – сплави системи Sn-Sb-Cu. Бабіти – це антифрикційні сплави на основі олова або свинцю, призначені для використання у вигляді шару, залитого по корпусу вкладишу підшипника. У якості присадок можуть бути використані сурма, мідь, нікель, миш'як, кадмій, телур, кальцій, натрій, магній. Температура плавлення – 300...440°С. Перший підшипниковий сплав був розроблений англійцем Беббітом у 1839 році. Маркуються літерою Б, за якою йде число, яке показує кількість головного компонента – Sn (решта Sb і Cu). Наприклад, Б88, Б16. Структура бабітів має два компонента: м'який і твердий. М'який компонент – це α – твердий розчин сурми в олові. Твердий компонент – це кристали твердого розчину на основі хімічної сполуки SnSb (β – фаза). На мікрофотографії м'яка фаза виглядає темною (темне поле), а тверда фаза – світлі кристали квадратної форми SnSb (β), кристали у вигляді зірочок або здовжених голок (сполука Cu_2Sb).

3.2 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Заповніть таблицю 3.2. Варіант завдання вказаний у таблиці 3.3.

Таблиця 3.2

Марка сплаву					
Назва сплаву					
Хімічний склад					
% Zn или E _{Zn} в латуні					
Структура					

2. Підрахуйте еквіваленти цинку в заданих у відповідному варіанті (таблиця 1.2) легованих латунях за формулою:

$$E_{Zn} = \frac{\%Zn + 11 \cdot \%Si + 5 \cdot \%Al + 2 \cdot \%Sn + \%Pb + 0.9 \cdot \%Fe + 0.5 \cdot \%Mn - 1.4 \cdot \%Ni}{\%Cu + \%Zn + 11 \cdot \%Si + 5 \cdot \%Al + 2 \cdot \%Sn + \%Pb + 0.9 \cdot \%Fe + 0.5 \cdot \%Mn - 1.4 \cdot \%Ni} \cdot 100\%$$

3. Розгляньте і схематично нарисуйте структуру підшипникового сплаву бабіту Б83 (Рис. 1.2). Вкажіть на рисунку структурні складові.



Рис. 1.2 – Структура бабіту Б83

Таблиця 3.3

Ва рі- ант	Марка сплаву				
1	Л96	ЛО70-1	МН19	МНМц43-0,5	БрК4
2	Л90	ЛЖМц59-1-1	МНЖМц30-0,8-1	МНМц40-1,5	БрФ5
3	ЛКС80-3-3	Бр.ОФ10-1	МНЦ15-20	БрСН60-45	БН
4	ЛК80-3Л	Бр.ОФ6,5-0,15	МНЖМц30-0,8-1	БрОС8-12	Б83С
5	ЛС74-3	Бр.С30	МН19	БрС30	Б88

6	ЛО70-1	Бр.КН1-3	ЛАНКМц75-2-2,5-0,5-0,5	БрКМц3-1	БрФ7
7	ЛН65-5	Бр.Б2	ЛМцОС58-2-2-2	БК2Ш	БрФ5
8	ЛЖМц59-1-1	Бр.Мц5	ЛМцЖ55-3-1	БК2	БрОФ10-1
9	ЛАН59-3-2	Бр.АМц9-2	Бр.БНТ1,7	БКА	БрОЗЦ7С5Н1
10	ЛАЖМц66-6-3-2	Бр.АЖН10-4-4	БС 6	БрО4Ц4С17	Б 88
11	Бр.АЖН10-4-4	ЛАЖ60-1-1	БрАЖМц10-3-1,5	БН	МНМц40-1,5
12	Бр.АЖ 9-4	БРОЦС5-5-5	ЛА77-2	МН19	Б16
13	БрАЖ9-4Л	ЛЖМц59-1-1	ЛАН59-3-2	МНЖМц30-0,8-1	Б83С
14	Бр. АЖ9-4	Бр.А5	Л63	МНМц40-1,5	Б83
15	Бр. А7	Б83С	БрАЖН10-4-4	Л68	Б 88
16	Л80	Бр. ОЦС5-5-5	ЛАЖМц66-6-3-2	МНЦ15-20	Б16
17	ЛЖМц59-1-1	Бр. ОЦСН3-7-5-1	МНМц43-0,5	БрФ7	Б83
18	Л70	ЛЖМц59-1-1	Бр. С30	МНМц40-1,5	БКА
19	ЛАН59-3-2	ЛК80-3Л	БРОЦС5-5-	МНМц43-0,5	БН
20	ЛН65-5	БрАЖ9-4Л	Бр.БНТ1,7	МНЖМц30-0,8-1	Б16

4. СТРУКТУРА ТА ВЛАСТИВОСТІ АЛЮМІНІЙОВИХ СПЛАВІВ

МЕТА: вивчення маркування, структури, термічної обробки та властивостей алюмінієвих сплавів.

4.1 КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Алюміній – легкий метал з густиною 2700 кг/м^3 і температурою плавлення 660°C . Має гранецентровану кубічну гратку. Володіє високою тепло – і електропровідністю. Хімічно активний, але щільна плівка оксиду алюмінію Al_2O_3 оберігає його від корозії.

Механічні властивості: межа міцності 150 МПа, відносне подовження 50 %, модуль пружності 7000 МПа.

Принцип маркування алюмінієвих сплавів. На початку указується тип сплаву: А – технічний алюміній; Д – сплави типу дюралюмін; АК – ковкі алюмінієві сплави; В – високоміцні сплави; АЛ – ливарні сплави.

Сплави алюмінію з іншими елементами мають структуру α - твердого розчину; α + надлишкові фази; евтектику. В залежності від структури сплави алюмінію бувають ливарні і такі, що деформуються. Ливарні сплави містять в структурі евтектику. Сплави, що деформуються, бувають однофазні (α) і двофазні (α + надлишкові фази). Однофазні сплави, що деформуються, не зміцнюються термічною обробкою. Двофазні сплави зміцнюються термічною обробкою. До останніх належать дуралюміни, ковкі сплави, високоміцні сплави.

Дуралюміни – це складні сплави систем алюміній – мідь – магній або алюміній – мідь – магній – цинк. Вони мають знижену корозійну стійкість, для підвищення якої вводиться марганець. Марки дуралюміну Д1, Д16, Д18, Д19. Їх зміст: 2,2...5,2 % Cu; 0,15...2,7 % Mg; 0,5...1,0 % Mn.

Ковкі сплави (авіалі) – це сплави системи Al – Mg – Si. Марки авіалів АК6, АК8. Вони містять 0,4...0,9 % Mg; 0,5...1,2 % Si.

Високоміцні сплави системи Al – Zn – Mg – Cu містять 5...8 % Zn; 1,2...3,2 % Mg; 1,4...2,8 % Cu і маркуються: В94, В95, В96.

Ливарні сплави – це сплави з елементами, які утворюють легкоплавкі евтектики. Це сплави систем Al – Si, Al – Cu, Al – Mg, Al – Cu – Mn, Al – Cu – Mn – Mg та інші. Сплави системи Al – Si звуться силуміни. Сплав марки АЛ2 (10...13 % Si) – двійний силумін. Для підвищення механічних властивостей силуміни модифікують Na або Ca. Модифікування силумінів впливає на температуру евтектичного перетворення і на склад евтектики (Рис. 2.1, суцільні лінії – до модифікування, пунктирні – після).

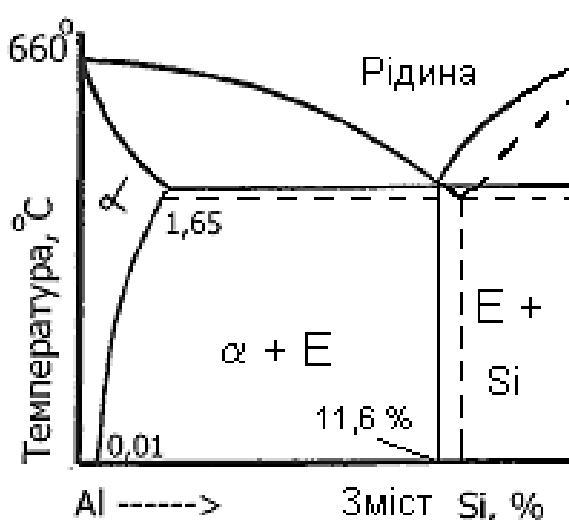


Рис. 4.1 – Фазова діаграма Al-Si.

Для подальшого підвищення механічних і технологічних властивостей силуміни легують Mg, Cu, Mn. Марки таких силумінів АЛ9, АЛ4, АЛ6 та інші.

Сплави, в яких спостерігається змінна розчинність компонентів в алюмінію, піддають зміцнювальній термічній обробці – гартуванню з подальшим старінням.

Старіння або дисперсне твердіння – це процес розпаду нестабільного пересиченого твердого розчину, одержаного гарту. Старіння буває природним і штучним. При старінні міцність сплаву збільшується за рахунок виділення в розчині атомів міді, надмірних по зрівнянню з їх рівноважною концентрацією до початку гарту. Ці виділені атоми міді утворюють опір переміщенню дислокацій при накладенні зовнішнього напруження.

Природне старіння відбувається при кімнатній температурі. Закінчується на протязі 7 діб. Штучне старіння відбувається при підвищених температурах. При старінні сплавів системи Al-Cu з пересиченого твердого α - розчину Cu в Al виділяються атоми Cu, які групуються в ґратці Al у вигляді субмікроскопічних зон. Ці зони звуться зонами Гінґе – Престона (Г-П). Поява таких зон в структурі приводить до збільшення дефектів кристалічної будови і в наслідок цього – до підвищення міцності і твердості.

4.2 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Розгляньте криви зміни σ_B загартованого дуралюмінію в залежності від температури і часу старіння (Рис. 4.2). Поясніть хід кривих. Якому процесу відповідають максимуми на кривих?

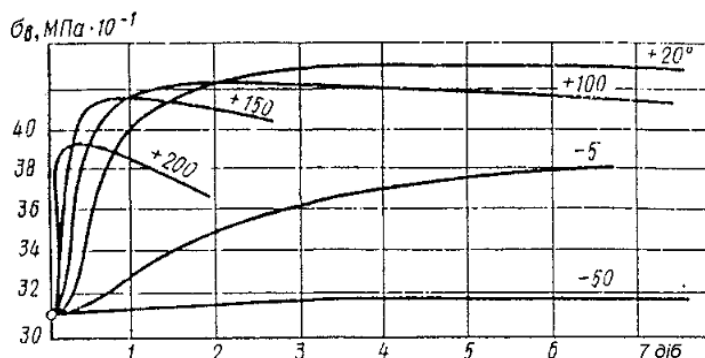


Рис. 4.2

Таблиця 4.1

Марка сплаву			
Назва сплаву			
Структура			
Термічна обробка			

2. Охарактеризуйте задані у відповідному варіанті (табл. 4.2) марки АІ – сплавів, заповнивши таблицю 2.1.

Таблиця 4.2

Варіант	Марка сплаву			Варіант	Марка сплаву		
1	АМг6	Д19	АЛ1	11	АД31	В93	АЛ25
2	АК8	Д1	АЛ9	12	АД33	В65	АЛ30
3	АК6	Д16	АЛ4	13	АВ	В95	АЛ7
4	АМг1	Д18	АЛ6	14	АК6	В96	АЛ1
5	АМг6	Д19	АЛ2	15	АК8	В93	АЛ19
6	АД31	В94	АЛ8	16	АД31	В94	АЛ24

7	АДЗЗ	В95	АЛ9	17	<u>АДЗЗ</u>	ВАД23	АЛ8
8	АВ	В96	АЛ4	18	<u>АВ</u>	В92	АЛ2
9	АМг1	Д20	АЛ5	19	<u>АК6</u>	В93	АЛ9
10	АМг6	В92	АЛ3	20	АК8	В95	АЛ4

3. На фазову діаграму системи Al-Si (Рис. 4.3) нанесіть сплав з 13 % Si (силумін АЛ2). Проаналізуйте і зробіть висновки, як впливає модифікування силумінів на температуру евтектичного перетворення на склад евтектики. Яку структуру має силумін АЛ2 до і після модифікування:

- а) структура АЛ2 до модифікування _____
- б) структура АЛ2 після модифікування _____

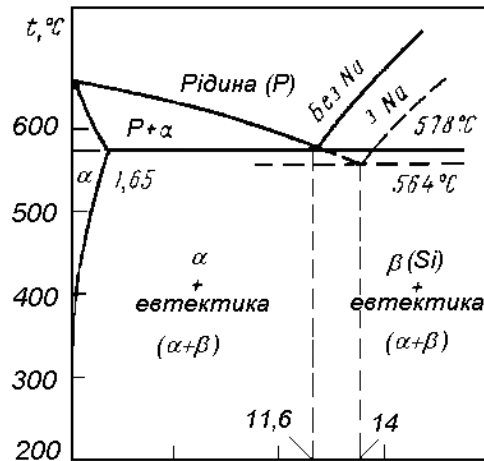


Рис. 4.3 – Модифікування силуміну

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Усов В.В. Матеріалознавство та технології: Навчальний посібник для самостійного вивчення дисципліни. Одеса: Університет Ушинського. 2019. 227 с.
<http://dspace.pdpu.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/5252/1/Usov%2C%20Valentyn%20Valentynovych.pdf>
2. Афтанділянц Є. Г., Зазимко О. В., Лопатько К. Г. Матеріалознавство: Підручник. Херсон: Олді-плюс. Київ: Видавництво Ліра- К. 2013. 612 с.
http://library.kpi.kharkov.ua/files/new_postupleniya/aftandilmater.pdf
3. Бочар І. Й. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів (лабораторний практикум). Тернопіль: ТДПУ. 2002. 76 с.
<https://studfile.net/preview/5252583/>
4. Василенко І. І., Широков В. В., Василенко Ю. І. Конструкційні та електротехнічні матеріали. Навчальний посібник. Львів: «Магнолія-2006». 242 с. http://library.kpi.kharkov.ua/files/new_postupleniya/vasilenkok.pdf
5. Косенко В. А. Технологія конструкційних матеріалів та матеріалознавство. Київ: Видавництво Університет «Україна». 2012. 252 с.
6. Курська Т. М., Чернобай Г. О., Єрмоменко С. Б. Матеріалознавство та технологія матеріалів. Конспект лекцій. Х.: УЦЗУ. 2008. 136 с.
7. Леонт'єв В. О., Бевз С. В., Видмиш В. А. Електротехнічні матеріали : навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ. 2013. 122 с.
8. Опальчук А. С., Котречко О. О., Роговський Л. Л. Лабораторний практикум з технології конструкційних матеріалів і матеріалознавства. Навчальний посібник. За ред. А.С. Опальчука. Київ: Вища освіта. 2006. 287 с.
https://nubip.edu.ua/sites/default/files/u132/navchal_posibnik_tkm_15.pdf