

Міністерство освіти і науки України
Державний вищий навчальний заклад
“Український державний хіміко-технологічний університет”

Методичні вказівки

з дисципліни “Технологія конструкційних матеріалів
і матеріалознавство” до виконання лабораторного практикуму з розділу
“Вивчення структури, властивостей та призначення міді та мідних сплавів
(латуні і бронзи)” для студентів усіх форм навчання

Затверджено на засіданні
кафедри матеріалознавства.
Протокол № 11 від 17.06.2015.

Дніпро ДВНЗ УДХТУ 2016

Методичні вказівки з дисципліни “Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство” до виконання лабораторного практикуму з розділу “Вивчення структури, властивостей та призначення міді та мідних сплавів (латуні і бронзи)” для студентів усіх форм навчання / Укл.: В.В. Трофименко, В.І. Овчаренко. – Дніпро: ДВНЗ УДХТУ, 2016. – 28 с.

Укладачі: В.В. Трофименко, канд. техн. наук
В.І. Овчаренко, канд. техн. наук

Відповідальний за випуск О.Б. Гірін, д-р техн. наук

Навчальне видання

Методичні вказівки з дисципліни “Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство” до виконання лабораторного практикуму з розділу “Вивчення структури, властивостей та призначення міді та мідних сплавів (латуні і бронзи)” для студентів усіх форм навчання.

Укладачі: ТРОФИМЕНКО ВІТАЛІЙ ВАСИЛЬОВИЧ
ОВЧАРЕНКО ВОЛОДИМИР ІВАНОВИЧ

Коректор Л.Я. Гоцуцова
Комп’ютерна верстка Л.Я. Гоцуцова

Підписано до друку 22.12.16. Формат 60×84/16. Папір ксерокс. Друк різнограф. Ум. друк. акр. 1,16. Обл.-вид. акр. 1,22. Тираж 100 прим. Зам. № 253. Свідоцтво ДК № 5026 від 16.12.2015.

ДВНЗ УДХТУ, 49005, м. Дніпро – 5, просп. Гагаріна, 8.

Редакційно-видавничий відділ

ВСТУП

Більшість кольорових металів, так само як і чорних (залізо, хром, марганець та сплави на основі заліза), кристалізуються у вигляді трьох типів кристалічних решіток – кубічної об'ємноцентрованої (ОЦК), кубічної гранецентрованої (ГЦК) та гексагональної щільноупакованої (ГЩ). Цим типам решіток притаманні специфічні властивості (компактність, щільне упакування, висока міцність металічного зв'язку тощо), які і визначають фізичні та механічні характеристики металів.

Мідь за обсягами світового виробництва посідає серед кольорових металів друге місце після алюмінію. Її широко використовують у чистому вигляді як *провідниковий* матеріал, а у вигляді сплавів – як *конструкційний*.

Чиста мідь – це в'язкий пластичний важкий рожево-червоний метал, густина якого становить $8,92 \text{ г/см}^3$, температура плавлення – 1083°C , твердість HB 35, має ГЦК кристалічну решітку. Мідь відзначається високою тепло- та електропровідністю, пластичністю та корозійною стійкістю на повітрі, у прісній та морській воді, а також у багатьох хімічних середовищах, але низьку стійкість проти сірчаних газів та аміаку.

У відпаленому стані для міді характерна низька міцність ($\sigma_b=220 \text{ МПа}$) та висока пластичність ($\delta=50\%$). Її легко обробляти тиском, паяти і зварювати, проте вона має невисокі ливарні властивості і погану оброблюваність різанням.

Мідь добре сприймає деформаційне зміцнення – наклеп, внаслідок якого поліпшуються її фізико-механічні властивості, наприклад: границя міцності зростає вдвоє, твердість – втриє, при цьому знижуються пластичність (у 1,5 рази) та електропровідність. Випускається у вигляді напівфабрикату: листа, прутка, смуги, труби та дроту.

За ступенем чистоти розрізняють 10 марок міді: М00 (99,99%Cu), М0 (99,95%Cu), М1 (99,9%Cu), М2 (99,8%Cu), М3 (99,7%Cu), М4 (99,6%Cu), М5 (99,5%Cu) та ін.

Домішки (вісмут, свинець, водень, сурма) ускладнюють обробку тиском при високих температурах. Кисень і сірка додають міді холодноламкості. Усі домішки, та, особливо, фосфор, миш'як, сурма, знижують електропровідність міді. Тому для електропровідників використовують лише мідь марок М0 і М1.

Мідь у чистому вигляді через порівняно низькі механічні властивості, особливо, міцність, зносостійкість, погану рідкоплинність для виготовлення деталей машин не застосовують. У машинобудуванні використовують **сплави на основі міді** – латуні, бронзи і мідно-нікелеві сплави. Латуні і бронзи дістали практичне застосування в середній і важкій промисловості. Мідно-нікелеві сплави – нейзильбер (Cu-Zn-Ni), мельхіор (Cu-Ni-Fe-Mn), куніаль (Cu-Ni-Al) – використовують в ювелірній промисловості, для деталей точної механіки, в приладобудуванні, побутовій і медичній техніці.

Мідні сплави мають високі тепло- та електропровідність, корозійну стійкість у вологому середовищі, зносостійкість (навіть в умовах абразивного зношування), малий коефіцієнт тертя і добру припрацьовуваність у парах з

іншими твердими матеріалами. Мідні сплави вирізняються досить високою міцністю (σ_b до 900 МПа), а особливо пластичністю (δ до 55%; ψ до 75%). Більшість мідних сплавів добре обробляються тиском та різанням. Сплави на основі міді є надійними матеріалами для роботи за низьких температур: їх міцність та пластичність навіть зростають аж до -250°C , у той час, як сплави заліза в таких умовах стають дуже крихкими.

Недоліками мідних сплавів є відносно висока густина ($8,2\ldots 8,9 \text{ г/см}^3$) та низькі механічні властивості за підвищених температур.

За способом виготовлення виробів розрізняють *деформівні та ливарні* латуні та бронзи (додаток А).

Стандартні мідні сплави позначають за їх приналежністю до певної групи згідно з хімічним складом. У марці сплаву вказують літери групи сплавів (Л – латуні, Бр – бронзи) та легувальних елементів (А – Алюміній, Б – Берилій, Ж – Залізо, К – Кремній, Мц – Марганець, Н – Нікель, О – Олово, Ф – Фосфор, Ц – Цинк). Перше число у марках *деформівних латуней* вказує на вміст міді, а іншими числами позначають вміст основних легувальних елементів, наявність яких вказують літери після “Л”. У *ливарних латунях та бронзах* вміст усіх компонентів сплаву вказують відразу після літер.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

СТРУКТУРА, ВЛАСТИВОСТІ ТА ЗАСТОСУВАННЯ ЛАТУНЕЙ

Мета роботи: вивчити будову та класифікацію латуней, ознайомитись з їх властивостями та застосуванням; самостійно провести дослідження структури окремих латуней; встановити взаємозв'язок між складом, структурою та властивостями мідно-цинкових сплавів.

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

ЛАТУНЯМИ називають дво- або багатокomпонентні сплави міді, в яких основним легувальним компонентом є цинк. *Двокомпонентні латуні* системи Cu-Zn належать до простих, а *багатокomпонентні*, що крім цинку містять ще й інші елементи, – до спеціальних. Завдяки поєднанню добрих технологічних і непоганих механічних властивостей латуні найбільш поширені серед сплавів міді.

Структура та властивості латуней визначаються діаграмою стану Cu-Zn. Оскільки в промислових латунях масова частка цинку не перевищує 45%, то розглянемо лише ліву частину діаграми (рис. 1.1,а), яка складається з двох діаграм з перитектичним перетворенням.

Фази системи: рідкий розчин Р, тверді розчини α , β (або β') і γ (або γ').

α -фаза є твердим розчином заміщення цинку в міді з решіткою ГЦК характеризується граничною розчинністю цинку 39% при температурі 454°C ; за 900°C цей показник зменшується до 32,5%, а при кімнатній температурі становить 35%.

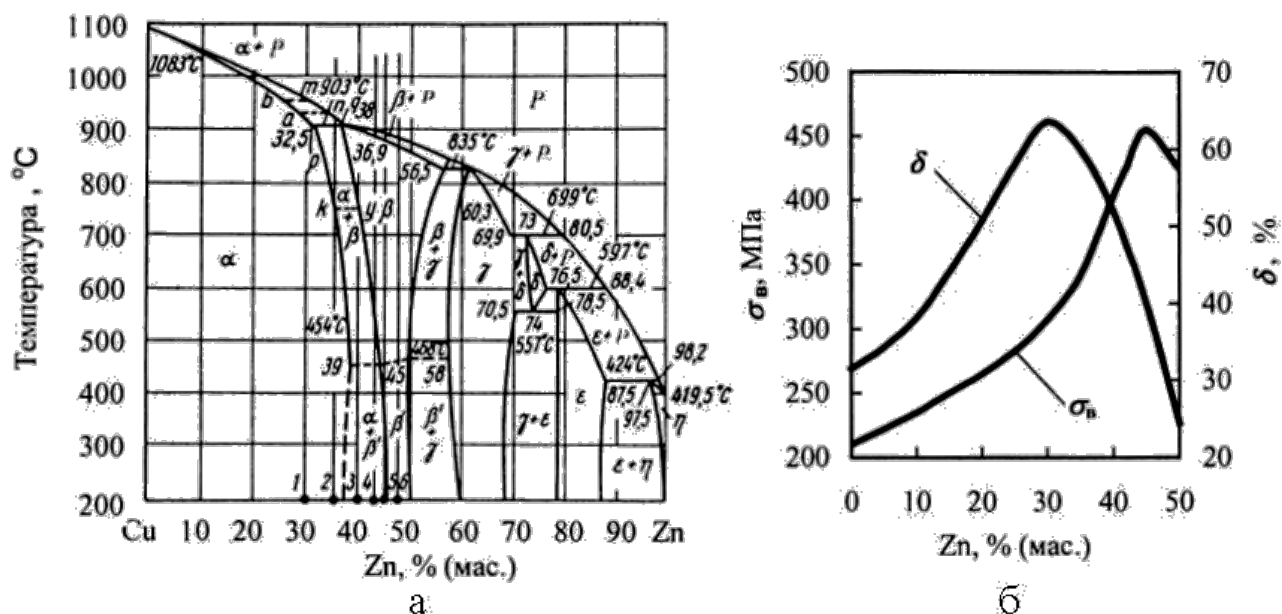


Рис. 1.1 Система мідь-цинк: а – діаграма стану Cu-Zn;
б – вплив цинку на властивості сплавів

β-фаза є твердим розчином на базі електронної сполуки CuZn з кристалічною решіткою ОЦК. При високих температурах β-фаза має неупорядковане розташування атомів міді і цинку у решітці сполуки CuZn і характеризується високою пластичністю. При температурах нижче 454°C β-фаза стає упорядкованою і позначається β'. Поява в структурі упорядкованої β'-фази призводить до падіння пластичності (при вмісті цинку понад 39%), а при повній зміні β-фази на β'-фазу – до зниження міцності, яке спостерігається в сплавах, що містять понад 47...50% цинку (рис. 1,б). Внаслідок цього широке практичне використання отримали сплави, які містять до 47% Zn.

Однофазні β-латуні з вмістом цинку ~ 50% використовуються як основа сплавів з ефектом пам'яті форми та надпружності.

γ-фаза є твердий розчин на базі хімічної сполуки Cu₅Zn₈ зі складною кристалічною будовою. γ'-твердий розчин відрізняється від γ-твердого розчину упорядкованим розташуванням атомів, яке зберігається до температури 270°C.

Розрізняють *подвійні* (з єдиним легуючим елементом – цинком) та *багатокомпонентні* (леговані спеціальні) латуні.

Подвійні латуні маркуються літерою Л та цифрами, що вказують на вміст міді. Наприклад, латунь Л80 містить 80% міді та 20% цинку. У спеціальних латунях, крім того, вказують основні легуючі елементи (А – алюміній, Ж – залізо, Мц – марганець, К – кремній, О – олово, С – свинець та ін.) та їх середній процентний вміст. Наприклад, латунь ЛЖМц-55-3-1 містить (у середньому) 55% Cu, 3% Fe, 1% Mn, решта – цинк. У марках ливарних латуней вказують кількість цинку, а вміст кожного легуючого елемента ставлять безпосередньо після літери, що відповідає його назві. Так, латунь ЛЦ40Мц3А містить 40% Zn, 3% Mn, 1% Al, решта – мідь.

Додавання третього хімічного елемента до подвійних латуней змінює їх

структуру та властивості (міцність, твердість, корозійну тривкість, технологічність). Найпоширенішими є сплави систем: Cu-Zn-Al, Cu-Zn-Mn, Cu-Zn-Si, Cu-Zn-Pb, Cu-Zn-Sn, Cu-Zn-Ni. Крім заліза та свинцю більшість легувальних елементів розчиняються у твердому розчині на основі міді.

Треті компоненти сплавів зміщують концентраційні і границі існування α -($\alpha+\beta'$)-зон. Легувальні елементи, крім Ni та Al, зменшують розчинність цинку в міді і викликають появу β' -фази за меншої частки цинку порівняно з подвійними сплавами. Завдяки такому складу потрібні та складніше леговані спеціальні латуні переважно є двофазними. Такі елементи, як Al, Si, Ni, Zn та Sn, надають латуням антикорозійних властивостей (особливо Sn).

До латуней, що деформуються, належать сплави (табл. Б.1, додаток Б), які містять 4-20% Zn (Л96, Л80), а також багатокомпонентні латуні, леговані алюмінієм, кремнієм, нікелем, свинцем (вміст легуючих елементів до 2%). Ці латуні обробляють пресуванням, куванням, прокаткою, волочінням, штампуванням. Типові представники цих сплавів ЛА77-2, ЛС59-1, ЛАЖ60-1-1.

До ливарних латуней належать сплави, що містять 14-38% Zn і леговані алюмінієм, кремнієм, свинцем, залізом (вміст легуючих елементів вищий 3%). Їх використовують для виготовлення фасонних виливків, підшипників, втулок, антифрикційних деталей, арматури, корозійностійких деталей у загальному і морському машинобудуванні. До ливарних латуней належать сплави ЛА67-2,5; ЛК80-3-3; ЛАЖМц66-6-3-2; ЛМцС58-2-2 (табл. Б.1, додаток Б).

На властивості латуней значно впливають домішки і додаткове легування. Найбільш шкідливими домішками є вісмут і свинець, які утворюють у сплавах легкоплавкі евтектики по межах зерен, що призводить до червоноламкості сплавів. Крім того вісмут, як крихкий метал, викликає явище холодноламкості в мідних сплавах.

1.1 МІКРОСТРУКТУРНИЙ АНАЛІЗ ПОДВІЙНИХ α І ($\alpha+\beta$)-ЛАТУНЕЙ У ЛИТОМУ І ВІДПАЛЕНОМУ СТАНІ

За структурою подвійні латуні розділяють на однофазні α та двофазні ($\alpha+\beta$)-латуні. При вмісті цинку до 39% латунь є однофазною. В литому стані однофазні латуні мають дендритну структуру, в якій центральні ділянки світлі, збагачені міддю, а периферійні – темні, збагачені цинком (рис. 1.2,а). Після деформації та відпалу відбувається вирівнювання хімічного складу α -твердого розчину і зерна набувають поліедричної форми.

У разі проходження процесу рекристалізації після деформації отримується типова поліедрична структура з великою кількістю двійників відпалу (рис. 1.2,б).

Сплави із 39...45% Zn мають двофазну структуру ($\alpha+\beta'$). В структурі двофазної латуні поряд з зернами α -твердого розчину містяться кристали β' -фази (рис. 1.2,в,г).

Для двофазних латуней характерна більш висока міцність, ніж для однофазних, але менша пластичність у зв'язку із наявністю β' -фази.

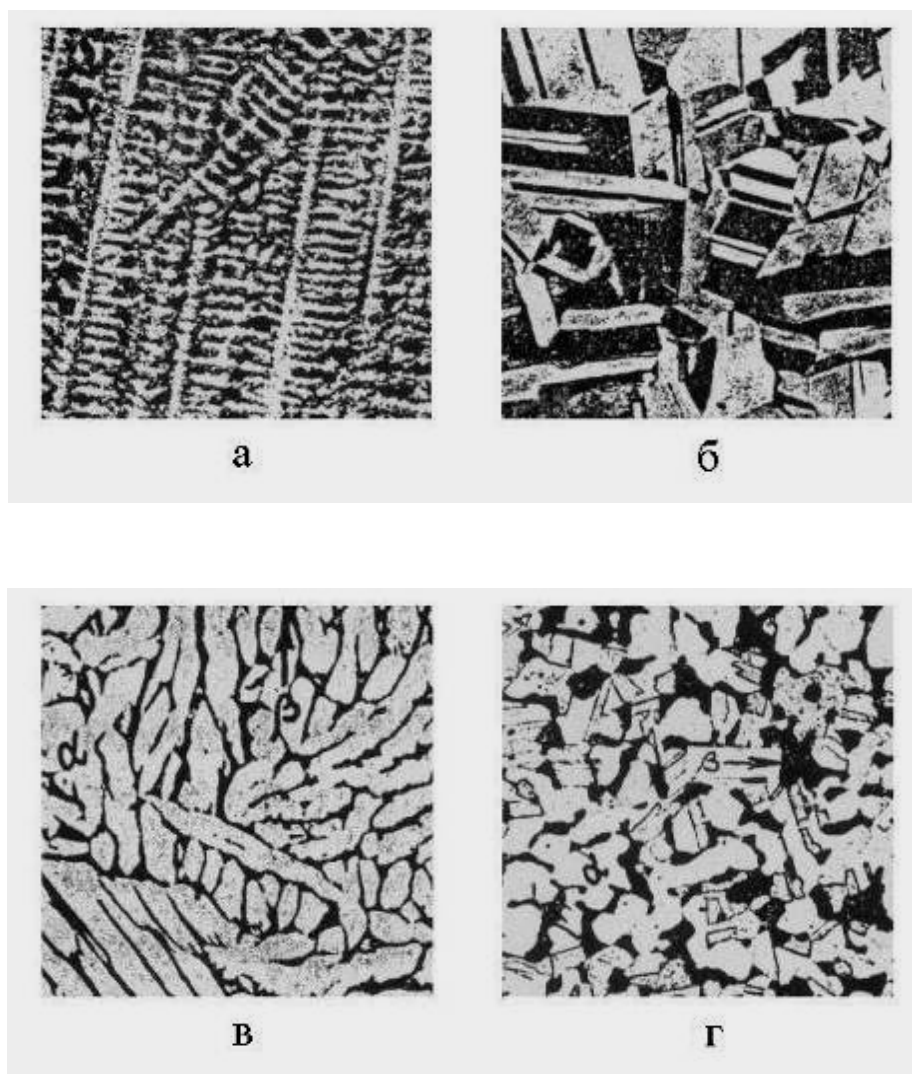


Рис. 1.2 Мікроструктура латуней: а – лита α -латунь з 30% Zn (типу Л70), $\times 250$, б – α -латунь після деформації та відпалу, $\times 75$, в – лита $(\alpha+\beta)$ -латунь з 40% Zn (типу Л62), $\times 150$, г – латунь Л62 після деформації та відпалу, $\times 100$

Присутність у двофазних латунях крихкої β' -фази ускладнює її деформацію в холодному стані, тому їх пластично деформують лише при високих температурах, коли β' -фаза перетворюється у більш пластичну β -фазу із відсутнім упорядкуванням у кристалічній решітці (β -невпорядкований твердий розчин на основі CuZn).

Однофазні латуні виробляють в основному у вигляді холоднокатаних напівфабрикатів: полос, стрічок, дроту, листів, з яких виготовляють шайби, труби, ущільнюючі кільця тощо.

Двофазні латуні виробляють у вигляді гарячекатаних напівфабрикатів: листів, дроту, труб. Вони застосовуються для виготовлення втулок, фланців, штуцерів тощо.

1.2 МІКРОСТРУКТУРНИЙ АНАЛІЗ БАГАТОКОМПОНЕНТНИХ (СПЕЦІАЛЬНИХ) ЛАТУНЕЙ

Алюміній розчиняється в α -твердому розчині і розширяє концентраційні границі його існування. На практиці застосовують латуні з вмістом Al близько 4%. За структурою вони є однофазними, що добре обробляються тиском як у холодному, так і в гарячому станах. Мікроструктура таких латуней подібна до структури простих однофазних. Алюміній підвищує міцність латуней за рахунок збільшення ступеня легуваності твердого розчину. Корозійна стійкість алюмінієвих латуней зростає завдяки утворенню на поверхні плівки Al_2O_3 . Проте недоліком сплавів є грубозернистість. Для подрібнення зерна їх додатково легують залізом у кількості близько 2%. Серед алюмінієвих латуней найширше застосовують ЛА77-2. Часто ЛА85-0,5 є основним заміником золота у виробництві відзнак, фурнітури та художніх виробів.

Кремній зближує концентраційні границі існування α -твердого розчину. У двофазній області поряд з α -фазою утворюється сполука Cu_5Si (рис. 1.3).

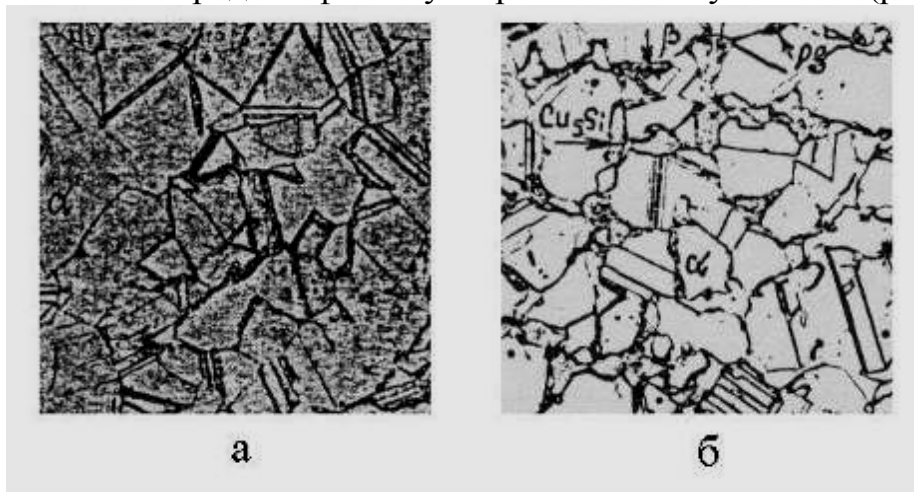


Рис. 1.3 Мікроструктура латуней: а – кремниста латунь ЛК80-3 після деформування та відпалу, $\times 150$; б – кремнисто-свинцева латунь ЛКС65-1,5-3 після деформування та відпалу, $\times 300$

Для поліпшення здатності оброблятися різанням кремнієві латуні легують **свинцем** у кількості близько 3%. Структура такої латуні складається із світлих зерен α -твердого розчину, на границях зерен якого розташовується темна β' -фаза та сірі включення Cu_5Si (рис. 1.3,б). Нерозчинні включення свинцю можна побачити як темні краплінки на границях та всередині зерна. Кремнієві латуні є антикорозійними, добре обробляються тиском як у холодному, так і в гарячому станах, добре зварюються зі сталлю, мають добру рідкоплинність, практично не втрачають міцності та ударної в'язкості до $-183^\circ C$. Використовують кремнієві латуні у суднобудуванні, для виготовлення труб, арматури, яка працює у лужному середовищі та морській воді тощо.

Нікель збільшує розчинність цинку в міді, тому в двофазній латуні зменшується кількість β' -фази, а за достатньої концентрації Ni двофазна за вмістом Zn латунь перетворюється на однофазну. Переважно використовують

однофазні нікелеві латуні. Вони добре обробляються тиском у холодному і в гарячому станах, мають високі міцність та в'язкість, добре працюють у парах тертя зі сталлю та в корозійних середовищах. Застосовують нікелеві латуні для виготовлення манометричних та конденсаторних трубок, у суднобудуванні як заміник олов'яно-фосфористої бронзи та мельхіору тощо. Найпоширеніша нікелева латунь ЛН65-5.

Олово в одно- та двофазних латунях розчиняється в α -фазі разом з цинком. Однофазна латунь ЛО70-1 корозійностійка в морській воді; з неї виготовляють пресовані труби та тягнуті профілі. Двофазна латунь ЛО62-1 є корозійностійкою та зносостійкою в морській воді та кислотах, тому вона знайшла застосування для виготовлення труб у суднобудуванні та елементів конструкцій теплотехнічної апаратури.

Свинець не розчиняється в твердому розчині й існує у вигляді виділень на границях зерен, що полегшують обробку різанням завдяки одержанню ламкої стружки. Свинцеві латуні є антифрикційними матеріалами. Свинець додають до латуней, які мають двофазну структуру. Розташовуючись переважно на границях зерен, свинець підвищує здатність латуні оброблятися тиском у гарячому стані. Найпоширенішими промисловими свинцевими латунями є ЛС64-2, ЛС63-3 та ЛС59-1 (автоматна). Мікроструктура латуні ЛС59-1 складається з α - та β -фаз з точковими включеннями свинцю (рис. 1.4,а,б).

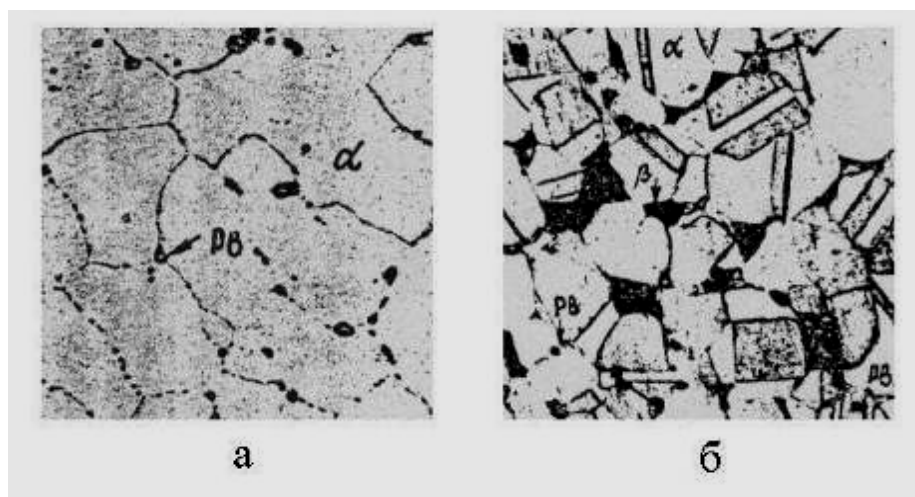


Рис. 1.4 Мікроструктура латуней: а – лита свинцева латунь ЛС63-3, x250;
б – лита свинцева латунь ЛС59-1 після відпалу, x250

Марганець, розчиняючись у твердому розчині, покращує механічні властивості латуней та надає їм високої корозійної тривкості в морській воді. На практиці знайшли застосування деформівні та ливарні двофазні марганцеві латуні ЛМц58-2, ЛМцН55-3-1, ЛЦ38Мц2С2 тощо. Мікроструктура латуні ЛЦ38Мц2С2, яка показана на рис. 1.5, складається з α -твердого розчину, невеликої кількості β' -фази та включень свинцю. Такі латуні використовують для виготовлення елементів конструкцій суден та деталей малопотужних електричних приладів.

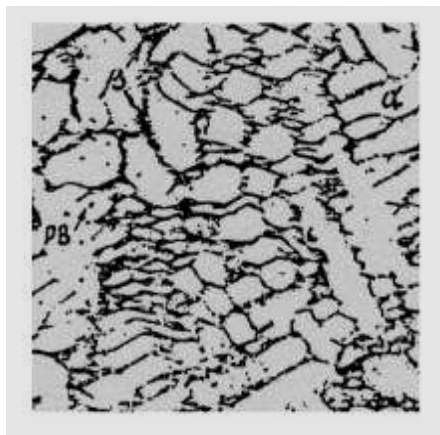


Рис. 1.5 Мікроструктура марганцево-свинцевої латуні ЛЦ58Мц2С2, х150

Залізо у невеликій кількості подрібнює зерна та поліпшує технологічні властивості латуней: здатність куватися, штампуватися та прокатуватися в гарячому стані. Також воно підвищує їх корозійну тривкість за атмосферних умов та в морській воді. Найпоширенішою маркою промислової ливарної латуні, що містить залізо, є ЛЦ40Мц3Ж. Її мікроструктура складається із зерен β -фази, з якої з пониженням температури виділяється α -фаза (рис. 1.6).

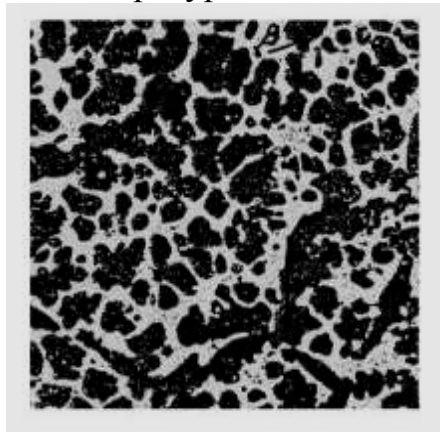


Рис. 1.6 Мікроструктура залізо-марганцевистої латуні ЛЦ40Мц3Ж, х250

Латуні мають вищу корозійну тривкість, ніж мідь. Проте їм властиве знецинкування та корозійне (“сезонне”) розтріскування в присутності вологи, кисню, аміаку та інших газів. Достатньо стійкими до знецинкування є латуні з малим вмістом цинку (Л90, Л85 тощо), але цей процес пришвидшується з підвищенням температури агресивного середовища та збільшенням швидкості його руху.

Явище знецинкування найчастіше спостерігають як корозійне пошкодження труб. Латунь втрачає цинк з внутрішнього боку виробу. Внаслідок того утворюється уражений губчастий шар червоної міді, який легко відділяється від здорового основного металу. Особливо небезпечними є випадки, коли ураження через знецинкування призводять до утворення в стінках трубки наскрізних пористих прошарків. За найменшого зусилля вони випадають з стінки трубки, утворюючи отвори, що є причиною руйнування

елемента конструкції. Втрати цинку в сплавах з дрібними зернами більші, ніж у грубозернистих.

Недоліком більшості спеціальних латуней, що містять понад 20% Zn, є також схильність до корозійного розтріскування. Найчастіше воно виникає в наклепаних тонкостінних штампованих виробах, що працюють в умовах корозії під напруженням. Схильність до розтріскування зростає зі збільшенням міцності латуні. Корозійну стійкість латуней підвищують, застосовуючи різноманітні покриття (хромування, нікелювання тощо).

Високоміцним латуням властива погана зварюваність. Вона зумовлена зростанням схильності до утворення тріщин під час нагрівання внаслідок зменшення кількості пластичної α -фази.

1.3 ОБЛАДНАННЯ, МАТЕРІАЛИ ТА ІНСТРУМЕНТИ

Робота виконується на металографічному мікроскопі МИМ7. Добірка мікрошліфів містить подвійні та багатокомпонентні латуні у різному структурному стані. Атлас макро- і мікроструктур кольорових металів і сплавів.

1.4 ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Отримайте набір протравлених мікрошліфів латуней відомого хімічного складу.
2. Розгляньте мікроструктури зразків за збільшенням у 100...500 разів та схематично їх зобразіть.
3. Використовуючи діаграму стану Cu-Zn і атлас мікроструктур розгляньте характер фазових перетворень у сплавах, які мають практичне застосування.
4. За маркою сплаву розшифруйте його хімічний склад, класифікуйте за структурою та призначенням, охарактеризуйте властивості.
5. Вкажіть можливі галузі застосування досліджуваних сплавів.

1.5 ЗМІСТ І ВИМОГИ ДО ЗВІТУ

У звіті необхідно:

1. Вказати порядковий номер і назву лабораторної роботи.
2. Сформулювати мету роботи.
3. Сформулювати основні поняття про будову та принципи класифікації латуней.
4. Подати схематичні рисунки мікроструктур зразків досліджуваних сплавів з позначенням структурних та фазових складових.
5. Кожний рисунок супроводжувати підписом та коментарем, в якому вказати хімічний склад, класифікувати сплав за структурою та призначенням, охарактеризувати його будову та застосування.

1.6 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Дайте визначення сплавам на основі міді.
2. Як взаємодіє більшість легувальних елементів з міддю та які фази з нею утворює?
3. Чим відрізняються латуні від бронз?
4. Як впливає цинк на механічні властивості латуней?
5. Якими хімічними елементами легують латуні і з якою метою?
6. З нагріванням до яких температур обробляють тиском двофазні латуні?
7. За яким принципом маркують латуні?
8. На які групи поділяють латуні за технологічною ознакою? Наведіть приклади марок.
9. Якими властивостями характеризуються латуні і де їх використовують у промисловості?
10. Охарактеризуйте пластичність та міцність латуней.
11. Яка масова частка цинку у промислових латунях?
12. Розшифруйте марку латуні за хімічним складом, укажіть групу за технологічною ознакою та призначення: Л80; Л60; ЛС63-3; ЛЖМц59-1-1; ЛЦ40МцЗЖ; ЛА77-2; ЛН65-5; ЛО62-1.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

СТРУКТУРА, ВЛАСТИВОСТІ ТА ЗАСТОСУВАННЯ БРОНЗ

Мета роботи: вивчити будову та класифікацію бронз, ознайомитись з їх властивостями та застосуванням; провести мікроструктурний аналіз окремих бронз; встановити взаємозв'язок між складом, структурою та властивостями олов'янистих, алюмінієвих, свинцевих, кремнієвих, манганових та берилієвих бронз.

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

БРОНЗАМИ називають дво- або багатокомпонентні сплави з такими елементами, як Sn, Al, Pb, Si, Mn, Be та іншими компонентами, серед яких цинк не є основним. Залежно від назви основного легувального компонента бронзи поділяють на олов'янисті, алюмінієві, свинцеві, кремнієві, манганові та берилієві та ін.

Бронзи поділяють на **ливарні** та **деформівні**. Їх позначають літерами Бр, після чого вказують літери та цифри, що визначають легуючий елемент у відсотках. Так, деформівна бронза БрОЦС4-4-2,5 містить 4% олова, 4% цинку, 2,5% свинцю. У ливарних бронзах вміст кожного легуючого елемента позначається безпосередньо після літери, що відповідає цьому елементові.

Наприклад, бронза БрО6Ц6С3 містить 6% олова, 6% цинку, 3% свинцю, решта – мідь. Легуючі елементи та їх кількість визначають механічні і технологічні властивості бронз.

За призначенням бронзи поділяються на *конструкційні* та *антифрикційні*.

Залежно від того, чи містить бронза олово, бронзи поділяють на дві великі групи – олов'яні та безолов'яні (табл. А.1, додаток А).

ПРОМИСЛОВЕ ВИКОРИСТАННЯ БРОНЗ

Ливарні олов'яні бронзи мають добрі ливарні властивості (високу рідкотекучість, малу лінійну усадку), тому її використовують для виготовлення деталей складної форми. Завдяки відмінним ливарним властивостям з цих сплавів ще з давнини відливали гармати, дзвони та пам'ятники. Нині бронзи використовують при виготовленні арматури газових і водопровідних ліній, у хімічному машинобудуванні та багатьох інших галузях промисловості. Малий коефіцієнт тертя і стійкість до зношування робить їх незамінним антифрикційним матеріалом для вкладишів підшипників (БрО6, БрО10). Найсуттєвішою перевагою олов'яної бронзи є висока втомна міцність у корозійних середовищах.

Деформівні олов'яні бронзи, як правило, містять 4-6% олова та інші елементи, наприклад БрОФ4-0,25, БрОЦС4-4-2,5. вони добре зварюються та паяються, постачаються у вигляді прутків, труб, стрічок та дроту у твердому (нагартованому) та м'якому (відпаленому) станах. Стан позначається буквами М – м'який, Т – твердий. З олов'яної бронзи, що деформується, виготовляють пружини, опорні шайби, шестерні та інші деталі відповідальних і точних приладів.

Олов'яні бронзи в морській воді стійкіші, ніж мідь та латунь.

Безолов'яні бронзи. Олово – дорогий і дефіцитний метал. Тому широке застосування знайшли замітники олов'яних бронз – так звані безолов'яні бронзи. Ці бронзи зазвичай багатокомпонентні. Безолов'яні бронзи можуть бути *ливарними* і *деформівними*. За призначенням – це конструкційні бронзи, які характеризуються високою міцністю, корозійною стійкістю та використовуються для виготовлення деталей, що працюють у важких умовах (великі навантаження, морська вода, тропічна атмосфера тощо). Найпоширенішими серед бронз цього виду є *алюмінієві* та *кремнієві* бронзи, наприклад БрА10ЖЗМц2 (ливарна алюмінієва бронза), БрАж9-4 (деформівна алюмінієва бронза), БрКМц5-1 (кремнієва деформівна бронза). Їх використовують для зубчастих коліс потужних кранів, черв'ячних коліс, які працюють у парі зі сталевими черв'яками та ін.

Свинцеві бронзи. Серед них найпоширенішою є БрС30. Свинець практично не розчинюється в міді і кристалізується у вигляді окремих зерен. Свинцеві бронзи використовуються як антифрикційні матеріали у підшипниках ковзання, що працюють в умовах підвищеного тиску та великих швидкостей руху.

Берилієві бронзи характеризуються виключно цінними якостями (БрБ2, БрБНТ1,7). Вони належать до сплавів, що зміцнюються термічною обробкою. Після гартування та старіння вони мають високі значення тимчасового опору (до 1300-1370 МПа) та високу пружність (межу текучості) ~ 1250 МПа при $\delta \sim 2-4\%$. Крім того, берилієві бронзи відрізняються малою схильністю до хладноламокості і можуть працювати в інтервалі температур від -200 до $+250^\circ\text{C}$. Недоліком цих бронз є їх висока вартість, дефіцитність і токсичність берилію. Їх використовують для виготовлення деталей відповідального призначення: пружин та пружних елементів електронних приладів, мембран та ін.

Властивості типових бінарних мідних сплавів наведено у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Властивості типових бінарних мідних сплавів

Марка сплаву	Механічні властивості			Електропровідність, $\text{Ом}\cdot\text{см}\cdot 10^{-4}$	Стан
	σ_B , МПа	δ , %	НВ		
Л70	680	3	180	0,065	холоднокатаний
БрО10	275	3...10	70...80		литий
БрА7	860	3	250	0,087	холоднокатаний
БрС30	80	6	25		литий
БрБ2	1250	3	370	0,07	після гартування та старіння

2.1 МІКРОСТРУКТУРНИЙ АНАЛІЗ ОЛОВ'ЯНИХ БРОНЗ

Структура двокомпонентних олов'яних бронз у рівноважному стані визначається діаграмою стану Cu-Sn. Обмежимося лише описом лівої частини цієї діаграми (рис. 2.1,а), оскільки в промисловості використовують бронзи, масова частка олова в яких здебільшого не перевищує 11%.

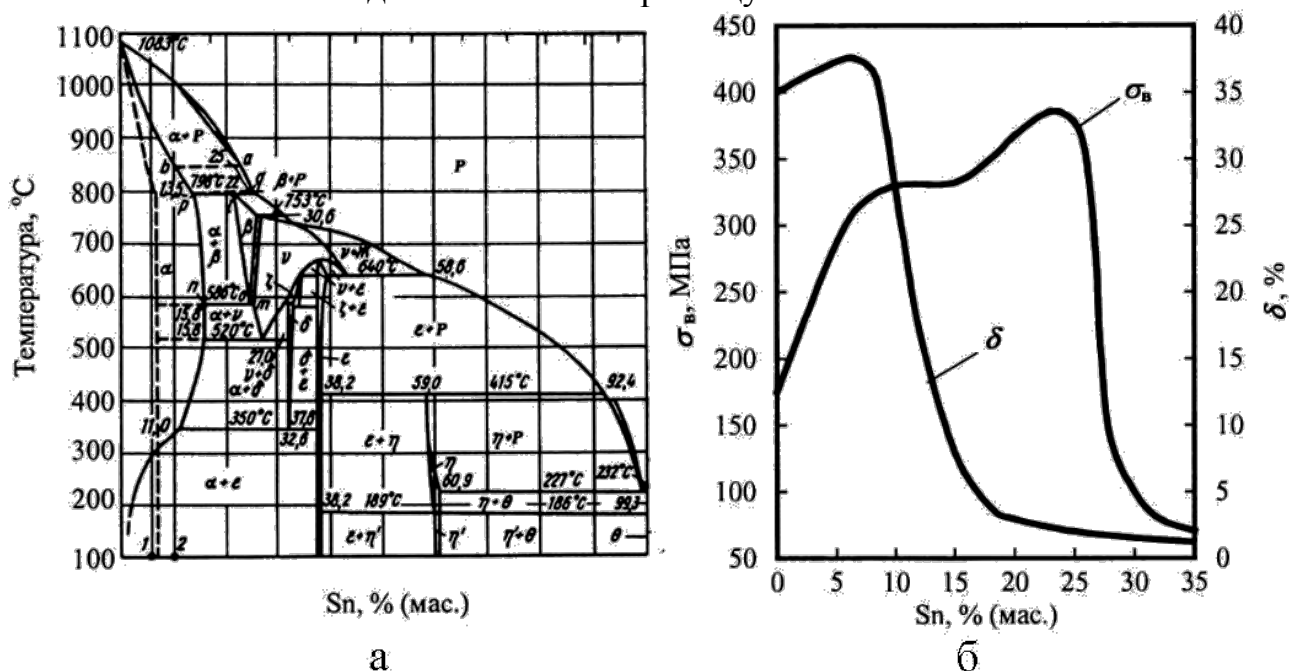


Рис. 2.1 Система мідь-олово: а – частина діаграми стану Cu-Sn;

б – вплив олова на механічні властивості бронз

Фази системи: рідкий розчин **P**, тверді розчини α , β , γ , δ , ϵ . α -твердий розчин олова в міді з ГЦК решіткою має максимальну розчинність 15,8% олова при температурах 520...586°C. Зі зниженням температури від 520°C до кімнатної розчинність олова в міді зменшується.

β -твердий розчин утворюється на основі електронної сполуки Cu_5Sn з ОЦК решіткою.

γ та δ -тверді розчини на базі електронної сполуки $\text{Cu}_{31}\text{Sn}_8$ зі складними кубічними решітками.

ϵ -твердий розчин – на основі електронної сполуки Cu_3Sn з ГП решіткою.

Оскільки сплави системи Cu-Sn схильні до нерівноважної кристалізації, область твердого розчину значно звужується, а δ -фаза розпадається при температурі нижчій за 350°C і бронза складається з δ -фаз замість $(\alpha+\epsilon)$ -фаз.

У зв'язку з цим при концентрації олова більш ніж 8% в структурі сплавів присутня δ -фаза, що має високу твердість та крихкість (рис. 2.1,б).

Будова литих олов'яних бронз значно відрізняється від рівноважної. Швидке охолодження сплавів з 6...7% Sn призводить до появи в їх структурі евтектоїду ($\alpha+\delta$), у той час, як під час повільного охолодження він утворюється за концентрації понад 15% Sn і складається з $\alpha+\epsilon$. Основними причинами таких концентраційних розбіжностей є велика схильність до ліквідації та сповільнена дифузія у сплавах. Мікроструктура литих бронз з вмістом Sn до 5% переважно складається із зерен збідненого оловом твердого розчину дендритної будови – темні осі дендритів на рис. 2.2, а, проміжки між якими заповнені твердим розчином, збагаченим оловом. Унаслідок великої схильності до ліквідації в структурі малолегованих бронз з 4...5% Sn можуть утворюватися невеликі колонії евтектоїду ($\alpha+\delta$). Під час відпалу бронзи з такою нерівноважною структурою в інтервалі 700...750°C проходить вирівнювання концентрації олова і вона стає однофазною (рис. 2.2,б).

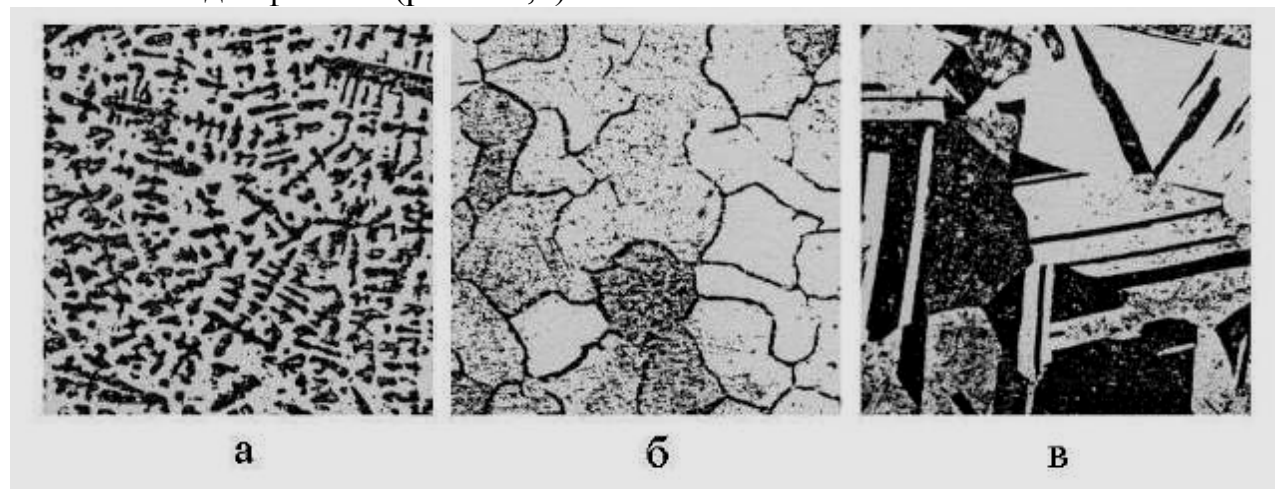


Рис. 2.2 Мікроструктура олов'яної бронзи з 5% Sn: а – литої; б – після деформування та рекристалізації, $\times 200$; в – після відпалювання, $\times 150$

Бронзи з 10...14% Sn використовують у литому стані. Структура їх є двофазною (рис. 2.3) і складається з α -фази (темні зерна) та евтектоїду ($\alpha+\delta$).

Тверда і крихка δ -фаза у структурі бронз є причиною зниження їх в'язкості та пластичності (рис. 2.1,б). Тому, незважаючи на зростання міцності сплавів з вмістом олова до 25%, практичне застосування знайшли прості бронзи з 2...14% Sn. Наявність у структурі литої бронзи колоній твердого евтектоїду забезпечує високу стійкість проти стирання; завдяки цьому бронза з 10% Sn є добрим матеріалом для виготовлення підшипників ковзання.

Подвійні олов'яні бронзи через високу вартість та грубозернисту структуру у виробах використовують дуже рідко. Окрім схильності до ліквіації, вони також мають малу рідкотекучість; у виливках створюється розсіяна усадочна пористість, що зменшує їх герметичність. З метою здешевлення та поліпшення властивостей їх легують Zn, Fe, P, Pb, Ni та іншими легувальними елементами.

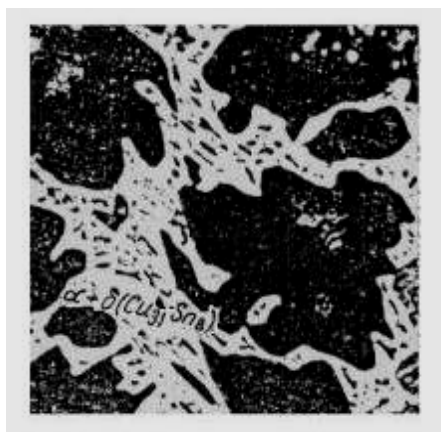


Рис. 2.3 Мікроструктура литої олов'яної бронзи з 30% Sn, x1000

Цинк зменшує вартість олов'яних бронз, підвищує їх механічні властивості, збільшує рідкотекучість розплаву та щільність виливків, покращує здатність зварюватись і паятись. Залізо подрібнює зерна, але погіршує технологічні властивості і зменшує корозійну стійкість сплаву. Свинець покращує здатність оброблятися різанням, припрацьовуваність пар тертя, зменшує коефіцієнт тертя (особливо у парі зі сталлю), але погіршує механічні властивості. Легування нікелем подрібнює зерна і підвищує міцність бронз. Фосфор як розкислювач усуває шкідливий вплив оксиду олова в бронзах; у кількості близько 0,02% він підвищує границі пружності, міцності, текучості та витривалості, поліпшує антифрикційні властивості, зносостійкість та рідкотекучість сплавів Cu-Sn.

Розрізняють *деформівні* та *ливарні* олов'яні бронзи.

Деформівні бронзи зі структурою α -твердого розчину (рис. 2.2,в) пластичніші та міцніші за ливарні. Окрім того, вони мають високі електричну провідність, антифрикційні властивості, корозійну стійкість, пружність та границю витривалості. Деформівні бронзи, леговані фосфором та цинком (табл. 2.2) використовують для виготовлення пружин, зносостійких та антифрикційних деталей у різних галузях промисловості.

На практиці знайшли застосування малолеговані ливарні олов'яні бронзи. Належна міцність і корозійна тривкість за атмосферних умов, у прісній та морській воді дають можливість використовувати їх для виготовлення

пароводяної арматури високого тиску. Структура олов'яних бронз, легованих цинком і свинцем (табл. 2.2), відповідає вимогам, які ставлять до структури антифрикційних сплавів. Високі теплопровідність, механічні та антифрикційні властивості дають змогу виготовляти з них деталі підшипників, які працюють без заклинювання на високих швидкостях ковзання та за великих питомих навантажень. Водночас вони добре обробляються різанням і мають добрі ливарні властивості. З них можна отримувати виливки складної конфігурації зі стінкою завтовшки 3...5 мм.

Таблиця 2.2

Марки, хімічний склад і механічні властивості деяких олов'яних бронз [4]

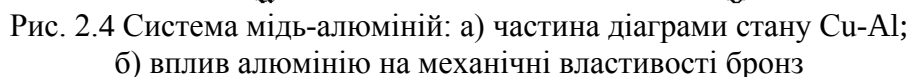
Марка бронзи	Масова частка, %		σ _{тч} , МПа	σ _{0,2} , МПа	НВ	δ, %
	олово	інші елементи				
Деформівні бронзи						
БрОФ8-0,3	7,5...8,5	0,25...0,35 Р 0,1...0,2 Ni	—	—	—	—
БрОФ7-0,2	7...8	0,1...0,25 Р	—	—	—	—
БрОФ4-0,25	3,5...4	0,2...0,3 Р	340	—	650	52
БрОЦ4-3	3,5...4	2,7...3,3 Zn	350	65	600	40
БрОЦС4-4-4	3...5	3...5 Zn; 3,5...4,5 Pb	—	—	—	—
Ливарні бронзи						
БрО3Ц7С5Н1	2,5...4	6...9,5 Zn; 3...6 Pb; 0,5...2 Ni	176	—	588	8
БрО4Ц7С5	3...5	6...9 Zn; 3...7 Pb	147	—	588	6
БрО5Ц5С5	4...6	4...6 Zn; 4...6 Pb	147	—	588	6
БрО6Ц6С3	5...7	5...7 Zn; 2...4 Pb	147	—	588	6
БрО8Ц4	7...9	4...6 Zn;	196	—	735	10
БрО10Ф1	9...11	0,4...1,1 Р	215	—	784	3

2.2. МІКРОСТРУКТУРНИЙ АНАЛІЗ БЕЗОЛОВ'ЯНИХ БРОНЗ

Останнім часом дорогі олов'яні бронзи замінюють алюмінієвими, які не тільки не поступаються олов'янистим, але й за деякими властивостями перевищують їх. Застосовують алюмінієві бронзи подвійні і леговані.

Алюмінієві бронзи характеризуються високою рідкоплинністю, добрими механічними властивостями (табл. 2.3) й корозійною тривкістю, проте вони мають дещо більшу усадку порівняно з олов'яними бронзами. Згідно з діаграмою фазової рівноваги (рис. 2.4,а) при нормальній температурі в міді розчиняється до 9,4% алюмінію, утворюючи пластичний і маломіцний α -твердий розчин. Якщо вміст алюмінію понад 9,4%, то в структурі з'являється фаза β , яка при температурі 565°C зазнає евтектоїдного розпаду на дві фази $\alpha + \gamma_2$. β -фаза є твердим розчином з кристалічною решіткою ОЦК на базі сполуки

Під час швидкого охолодження β -фаза переохолоджується, а під час подальшого її евтектоїдного розпаду утворюється дисперсна $(\alpha+\gamma_2)$ -структура. Що більша швидкість охолодження, то дисперсніша $(\alpha+\gamma_2)$ -структура, отже, більша міцність і твердість бронзи. Якщо швидкість охолодження доходить до критичної або перевищує її, то перетворення β -фази відбувається за бездифузійним механізмом й утворюється голчаста структура, що нагадує мартенситну.



18

Ливарні бронзи містять 5...10% Al. За реальних швидкостей охолодження евтектоїд ($\alpha+\gamma_2$) утворюється вже за 6...8% Al. Двофазні алюмінієві бронзи мають границю міцності до 600 МПа, але нижчу порівняно з однофазними пластичність (див. рис. 2.4,б).

Характерним представником таких бронз є БрА10, мікроструктури якої показані на рис. 2.6,а,б. Двофазні алюмінієві бронзи зміцнюються гартуванням, під час якого фаза не встигає розпастися на $[\alpha+(\alpha+\gamma_2)]$, і утворюється пересичений твердий розчин алюмінію в міді за мартенситним механізмом перетворення (рис. 2.6,б).

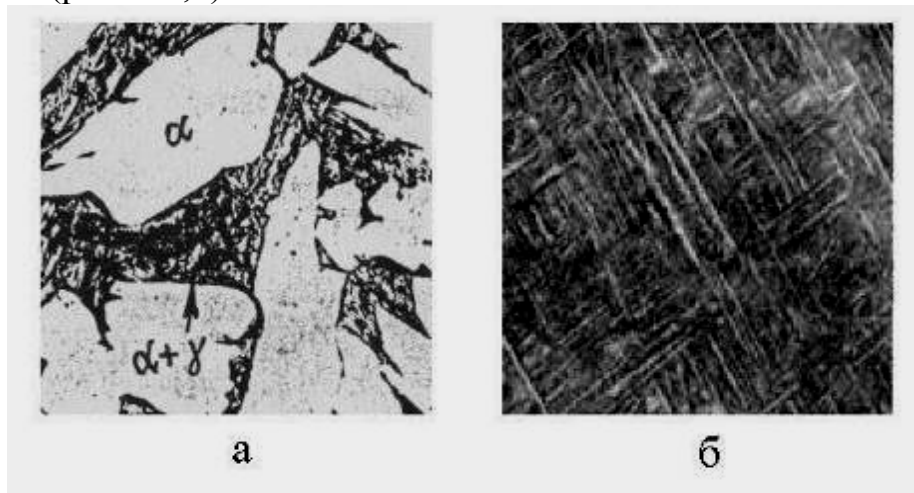


Рис. 2.6 Мікроструктура бронзи БрА10:
а – литої, x250; б – після гартування (мартенсит), x200

Перевагою алюмінієвих бронз є те, що вони добре обробляються тиском у гарячому та холодному станах, корозійнотривкі та добре працюють у парах тертя. Виливки з алюмінієвих бронз завдяки доброму заповненню форми є щільними та герметичними. Але вони схильні до утворення грубих стовпчастих зерен під час кристалізації, на границях яких можуть утворюватися макротріщини. Окрім того, алюмінієві бронзи мають значну усадку та схильні до газонасичення і забруднення оксидними плівками, що ускладнює технологічний процес одержання якісного фасонного литва. Перед їх розливанням додають невелику кількість V, Ti, B, передбачають більші припуски на механічну обробку, під час плавлення сплаву використовують захисне середовище. Перераховані недоліки також усувають легуванням алюмінієвих бронз Fe, Ni, Mn.

Залізо в розплавах алюмінієвих бронз діє як модифікатор і викликає сповільнення евтектоїдного розпаду β -фази та подрібнює γ_2 -фазу. Завдяки цьому, бронза БрАЖ9-4 має меншу величину зерен та однорідніший розподіл фаз, ніж БрАЮ. Найвищу пластичність алюмінієві бронзи, леговані залізом, набувають після нормалізації від 600...700°C чи гартування від 950°C, під час яких частково або повністю пригнічується евтектоїдний розпад β -фази. Старіння загартованої бронзи при 250...300°C надає більшої дисперсності евтектоїду ($\alpha+\gamma_2$) і дає змогу досягти твердості НВ 175...180.

Манган підвищує міцність, пластичність, антифрикційні властивості й корозійну тривкість. Він добре розчиняється в α -фазі (до 10%).

Нікель поліпшує технологічні та механічні властивості алюмінієвих бронз за нормальних та підвищених температур, посилює ефект зміцнення за рахунок гартування та старіння. Одночасне легування манганом та нікелем запобігає утворенню крихких виділень фази Al_3Fe .

Алюмінієві бронзи вирізняються високими корозійною тривкістю та зносотривкістю, що обумовлює їх застосування в суднобудуванні для виготовлення парової та водяної арматури, зубчатих коліс, шестерень, черв'ячних передач тощо. З алюмінієвих бронз, легованих залізом, виробляють сидла клапанів, втулки, деталі насосів та турбін, які працюють за температур близько 400...500°C.

Окремі марки бронз (БрМц9-2, БрАЖН10-4-4 та ін.) використовують і як деформівні, і як ливарні, з тією лише різницею, що в ливарних – більша частка домішок. Щоб відрізнити ливарні бронзи від деформівних, наприкінці марки ливарної бронзи дописують літеру Л (ливарна).

Таблиця 2.3

Марки, хімічний склад і механічні властивості деяких алюмінієвих бронз [4]

Марка бронзи	Масова частка, %		$\sigma_{ТЧ}$, МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	НВ	δ , %
	алюміній	інші елементи				
Деформівні бронзи						
БрА5	4...6	—	380	160	60	—
БрА7	6...8	—	420	—	70	—
БрАМц9-2	8...10	0,15...2,5 Mn	500	300	—	—
БрАМц10-2	9...11	0,15...2,5 Mn	—	—	—	52
БрАЖ9-4	8...10	2...4 Fe	600	220	110	40
БрАЖМц10-3-1,5	9...11	2...4 Fe; 1...2 Mn	610	—	130	—
БрАЖН10-4-4	9,5...11	3,5...5,5 Fe; 3,5...5,5 Ni	650	—	150	—
Ливарні бронзи						
БрА9Мц2Л	8,9...9,5	1,5...2,5 Mn	392	—	78	20
БрА10Мц2Л	9,6...11	1,5...2,5 Mn	490	—	108	12
БрА9Ж3Л	8...10,5	2...4 Fe	490	—	98	10
БрА10Ж3Мц2Л	9...11	2...4 Fe; 1...3 Mn	392	—	98	10
БрА10Ж4Н4Л	9,5...11	3,5...5,5 Fe; 3,5...5,5 Ni	587	—	157	5

Свинцеві бронзи. Мікроструктура свинцевої бронзи складається з зерен міді та нерозчинних у ній включень свинцю (рис. 2.7,а,б).

Під час кристалізації свинець скупчується в міжзеренному просторі кристалів міді, які утворилися першими. Така структура, що складається з

відносно твердих зерен міді та м'яких вкраплень свинцю, забезпечує високі антифрикційні властивості та зумовлює широке застосування свинцевих бронз для виготовлення вставок підшипників ковзання, які експлуатують за підвищених тисків й на високих швидкостях. Ліквіацію за густиною свинцю долають інтенсивним перемішуванням розплаву та прискореним охолодженням сплаву в інтервалі температур формування його первинної структури. За хімічним складом свинцеві бронзи поділяють на дві групи: прості подвійні з вмістом свинцю 30...35% та леговані оловом та нікелем. Останні розчиняються у твердому розчині і поліпшують механічні та антикорозійні властивості свинцевих бронз. Унаслідок низьких механічних властивостей подвійного сплаву свинцеву бронзу наплавляють тонким шаром на сталеву основу. Найпоширенішими промисловими сплавами є БрС30, БрОС5-25, БрОС8-12, БрСН60-2,5.

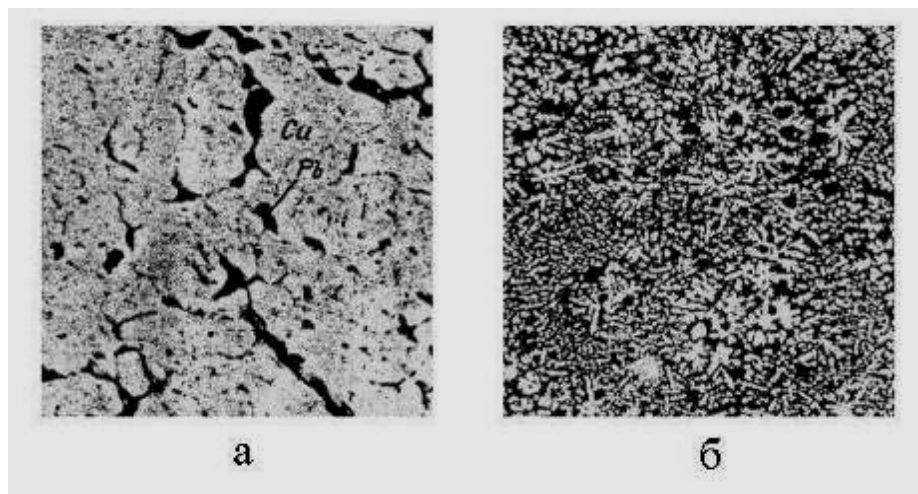


Рис. 2.7 Мікроструктура бронз: а – БрС30, x100; б – БрСН60-2,5, x100

Кремнієві бронзи. Практичне застосування знайшли кремнієві бронзи з вмістом близько 3% Si, які мають структуру α -твердого розчину. Однофазна структура забезпечує кремнієвим бронзам високу пластичність, добру зварюваність, задовільну здатність оброблятися різанням. В умовах тривалого відпалу межа існування α -розчину зміщується до менших концентрацій кремнію і тому може утворюватися двофазна структура з виділеннями твердої та крихкої γ -фази.

Двокомпонентні сплави системи Cu-Si не застосовуються в промисловості. Легуючи їх манганом і нікелем, можна поліпшити антикорозійні й механічні властивості. Манган, обмежено, в кількості 1%, розчиняючись в α -твердому розчині зміцнює його і надає кремнієвій бронзі БрКМц3-1 корозійної тривкості, підвищеної міцності та густини. Якщо вміст мангану перевищує 1,5%, то утворюється друга фаза Mn_2Si . Розчинність нікелю в α -фазі зі зниженням температури істотно зменшується. У разі потреби цю властивість використовують для підвищення міцності, гартуючи бронзи у воді від 800°C з подальшим штучним старінням (БрКН1-3).

Кремнієві бронзи рідко застосовують як ливарні сплави. Ці бронзи постачають переважно у вигляді стрічок, прутків і дроту. З них виготовляють пружини, напрямні втулки, деталі для хімічного машинобудування, що

працюють при температурі до 500°C.

Таблиця 2.4

Марки, хімічний склад і механічні властивості деформованих кремнієвих бронз [4]

Марка бронзи	Масова частка, %		$\sigma_{ТЧ}$, МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	НВ	δ , %
	кремній	інші елементи				
БрКМц3-1	2,7...3,5	1...1,5 Мп	400	200	90	35
БрКН1-3	0,6...1,1	2,4...3,4Ni; 0,1...0,4 Мп	350	—	75	30

Кремнієві бронзи мають кращі механічні властивості (табл. 2.4), ніж олов'яні, зокрема вищу пластичність, тому вони є добрими деформівними сплавами. Вони мають високі пружні властивості та корозійну тривкість у прісній, морській та стічних водах. З кремнієвих бронз виготовляють фасонні виливки, пружні елементи, а також деталі приладів і радіобладнання, яке працює за температур до 250°C.

Марганцеві бронзи. Марганцеві бронзи вирізняються високою корозійною тривкістю та підвищеною жароміцністю. Завдяки утворенню структури однорідного твердого розчину їх можна обробляти тиском. У промисловості використовують бронзу з 5% Мп (БрМц5), яка характеризується підвищеною корозійною тривкістю та здатністю зберігати свої механічні властивості до 400°C і яку використовують для виготовлення арматури парових котлів.

Берилієві бронзи. Діаграма фазової рівноваги сплавів системи Cu-Be зображена на рис. 2.8.

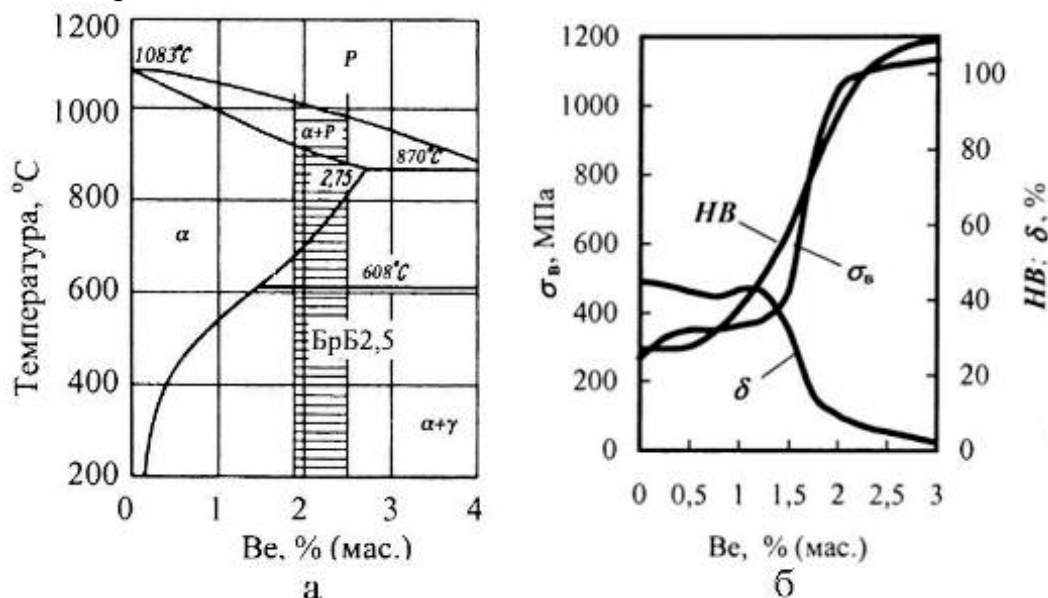


Рис. 2.8 Система мідь-берилій: а) частина діаграми стану Cu-Be;

б) залежність механічних властивостей берилієвих бронз після гартування та старіння від вмісту берилію

Фаза α -твердий розчин берилію в міді з ГЦК решіткою. Фаза β є твердим розчином з ОЦК решіткою на основі електронної сполуки CuBe. β -фаза є стійкою тільки до 608°C, за нижчих температур вона розпадається з утворенням

евтектоїду $\alpha + \gamma$ (CuBe). Під час охолодження нижче температури евтектоїдного перетворення з α -фази виділяються вторинні кристали γ -фази.

Найвищих механічних властивостей берилієвих бронз з вмістом 1,7...2,5% Be (рис. 2.8,б) досягають після гартування від 780°C та старіння за 300...350°C упродовж 2...3 год. Стрімке підвищення міцності та твердості берилієвих бронз пов'язане з виділенням з твердого розчину дуже дисперсних часточок γ -фази (рис. 2.9).

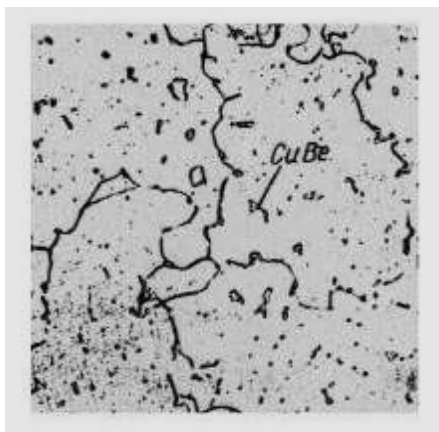


Рис. 2.9 Мікроструктура берилієвої бронзи БрБ2:
а – литої, $\times 150$; б – після гартування і старіння, $\times 250$

Берилієві бронзи мають виняткові властивості (табл. 2.5), а саме: високі міцність, твердість, межі пружності та витривалості. Тому вони є цінним матеріалом для виготовлення пружин. Завдяки високій зносостійкості з них виготовляють деталі відповідального призначення, що працюють в умовах тертя. Ударні інструменти з такої бронзи не створюють іскор. Берилієві бронзи переважно постачають як деформовні напівфабрикати, але вони є також добрим ливарним сплавом. З них виготовляють зубчасті колеса, шестерні, кулачки, черв'ячні передачі, елементи відцентрових насосів тощо. Сплав не магнітний, що уможливорює виготовлення деталей компасів, годинникових механізмів, різного типу вимикачів та перемикачів. Широкому вжитку берилієвих бронз перешкоджає їх висока вартість через дефіцит берилію. Легування Mn, Ni, Ti, Co дає змогу зменшити вміст берилію до 1,7...1,9% без помітного зниження механічних властивостей і в такий спосіб здешевити матеріал (БрБНТ-1,7; БрБНТ-1,9).

Таблиця 2.5

Марки, хімічний склад і механічні властивості берилієвих бронз [4]

Марка бронзи	Масова частка, %		$\sigma_{тч}$, МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	НВ	δ , %
	берилій	інші елементи				
БрБ2	1,8...2,1	0,2...0,5	540	300	100	25
БрБНТ-1,7	1,6...1,85	0,2...0,4Ni; 0,1...0,25 Ti	—	—	—	—
БрБНТ-1,9	1,85...2,1	0,2...0,4Ni; 0,1...0,25 Ti	—	—	—	—

БрБНТ-1,9Мг	1,85...2,1	0,2...0,4Ni; 0,1...0,25 Ti	–	–	–	–
-------------	------------	----------------------------	---	---	---	---

2.3 ОБЛАДНАННЯ, МАТЕРІАЛИ ТА ІНСТРУМЕНТИ

Робота виконується на металографічному мікроскопі МИМ7. Добірка мікрошліфів олов'яних, алюмінієвих, свинцевих та берилієвих бронз. Атлас макро- і мікроструктур кольорових металів і сплавів.

2.4 ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Отримайте набір протравлених мікрошліфів бронз відомого хімічного складу.
2. Розгляньте мікроструктури зразків за збільшенням у 100...500 разів та схематично їх зобразіть.
3. Використовуючи діаграми стану Cu-Sn, Cu-Al, Cu-Pb, Cu-Be розгляньте характер фазових перетворень у сплавах, які мають практичне застосування.
4. За допомогою атласу мікроструктур проведіть мікроструктурний аналіз одно- і двофазних олов'янистих та алюмінієвих бронз у литому і відпаленому стані, свинцевистої бронзи – у литому стані, берилієвої бронзи – після гартування і старіння.
5. Вкажіть можливі галузі застосування досліджуваних сплавів.

2.5 ЗМІСТ І ВИМОГИ ДО ЗВІТУ

У звіті необхідно:

1. Вказати порядковий номер і назву лабораторної роботи.
2. Висвітлити мету роботи.
3. Сформулювати основні поняття про будову та принципи класифікації бронз.
4. Подати схематичні рисунки мікроструктур зразків досліджуваних сплавів з позначенням структурних та фазових складових.
5. Кожний рисунок супроводжувати підписом та коментарем, в якому вказати хімічний склад, класифікувати сплав за структурою та призначенням, охарактеризувати його будову та застосування.

2.6 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Чим відрізняються бронзи від латуні?
2. За яким принципом маркують ливарні та деформівні бронзи?
3. Якими є фазовий склад, структура, властивості та області використання однофазних та двофазних олов'яних бронз?
4. З якою метою легують олов'яні бронзи?
5. Які безолов'яні бронзи Ви знаєте? Наведіть їх склад, властивості та застосування.
6. Переваги та недоліки алюмінієвих бронз порівняно з олов'яними.
7. Назвіть основні галузі застосування кремнієвих бронз.
8. Які види термічної обробки застосовують для мідних сплавів?

9. Якими є фазовий склад, режим термічної обробки, властивості та області застосування берилієвих бронз?
10. Яка структура мідних сплавів забезпечує антифрикційні властивості?

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Попович В., Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство [Текст]: Практикум. Навч. посібник / В. Попович, А. Кондин, Е. Плешаков та ін. – Львів: Вид-во «Папуга», 2004. – 442 с.
2. Колачев Б.А., Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов [Текст]: учебн. пособие для вузов / Б.А. Колачев, В.А. Ливанов, В.И. Елагин. – Изд. 2-е, испр. и доп. – М.: Металлургия, 1981. – 416 с.
3. Мальцев М.В. Металлография цветных металлов и сплавов [Текст]: монография / М.В. Мальцев, Т.А. Барсукова, Ф.А.Борин. – М.: Металлургиздат, 1960. – 372 с.
4. Осинцев О.Е. Медь и медные сплавы. Отечественные и зарубежные марки [Текст]: справочник / О.Е. Осинцев, В.Н. Федоров. – М.: Машиностроение, 2004. – 336 с.
5. Дриц М.Е. Двойные и многокомпонентные системы на основе меди [Текст]: справочник / М.Е. Дриц, Н.Е. Бочвар, Л.С. Гузей и др. – М.: Наука, 1979. – 248 с.
6. ГОСТ 15527-70 (СТ СЭВ 379-86) Сплавы медно-цинковые (латуни), обрабатываемые давлением. Марки. – М.: Изд-во стандартов, 1980. – 7 с.
7. ГОСТ 18175-78 (СТ СЭВ 377-76, СТ СЭВ 731-77). Бронзы безоловянистые, обрабатываемые давлением. Марки. – М.: Изд-во стандартов, 1981. – 11 с.
8. ГОСТ 5017-74. Бронзы оловянистые, обрабатываемые давлением. Марки. – М.: Изд-во стандартов, 1974. – 4 с.
9. ГОСТ 613-79 Бронзы оловянистые, литейные. Марки. – М.: Изд-во стандартов, 1979. – 5 с.
10. ГОСТ 493-79. Бронзы безоловянистые литейные. Марки. – М.: Изд-во стандартов, 1979. – 4 с.

Додаток А

Мідні сплави

ЛАТУНІ

Деформовні

Прості

Підвищеної пластичності та корозійної стійкості. Міцність збільшується нагартуванням
Л96 Л90
Л80 Л68
Л63 Л60

Спеціальні

Підвищеної міцності та корозійної стійкості.
ЛА85-0,5
ЛН65-5
ЛАН59-3-2
ЛМц58-2

Корозійностійкі
ЛО90-1
ЛО70-1
ЛО60-1

Анти-фрикційні
ЛК80-3

Високоміцні
ЛАНКМц75-2-2,5-0,5-0,5

Ливарні

Нормальної міцності, підвищеної рідкоплинності
ЛЦ30А3
ЛЦ16К4
ЛЦ40МЦЗЖ
ЛЦ40МцЗА
ЛЦ40С

Високоміцні
ЛЦ23А6ЖЗМц2

Підвищеної обробки різанням
ЛС74-3
ЛС64-2
ЛС59-1

Міднонікелеві сплави

Корозійностійкі деформовні термозміцнені

Мельхіор
МНЖМц30-1-1
МН19

Нейзильбер
МНЦ15-20
МНЦС16-29-1,8

Куніаль А
МНА13-3

Куніаль Б
МНА16-1,5

Електротехнічні високої електропровідності

Термічно незміцнюючі
БрСр
БрКд
БрМг0,3
БрМг0,8

Термічно зміцнюючі
БрХ
БрЦр0,4
БрХЦр
БрНБТ
БрНХК

Підвищеної міцності, в'язкості, опору втомі
БрОФ8-0,3 БрОФ6,5-0,4
БрОФ6,5-0,15 БрОФ4-0,25
БрОФ4-3 БрОЦС4-4-2,5

БРОНЗИ

Олов'яні гомогенізація, відпал

Деформовні

Стандартні
БрО3Ц12С5
БрО5Ц5С5
БрО4Ц4С17
БрО4Ц7С5
БрО3Ц72С5Н1

Відповідального призначення, антифрикційні, зносостійкі
БрО10Ф1
БрО10Ц2
БрО8Ц4
БрО6Ц6С3
БрО10С10
БрО5С25

Художнього лиття
БХ1; БХ2; БХ3

Ливарні

Безолов'яні

Деформовні

Алюмінієві термічно незміцнюючі
БрА5; БрА7

Алюмінієві термічно незміцнюючі
БрАМц9-2
БрАЖ9-4;
БрАЖМц10-4-4

Підвищеної міцності
БрАЖН10-4-4
закалка+старіння

Берилієві термічно зміцнюючі з підвищеною релаксаційною стійкістю
БрБ2; БрНТ1,7
БрНТ1 9

Свинцеві антифрикційні
БрСН60-2,5

Ливарні

Алюмінієві термічно незміцнюючі
БрАМц10-2
БрАЖН11-6-6

Кремністі корозійностійкі, антифрикційні

Термічно незміцнюючі
БрКМц3-1
термічно зміцнюючі
БрКН1-3; БрКН0,5-2

Марганцеві підвищені демпфіруючі властивості термічно зміцнюючі
БрМц5

Додаток Б
Склад, механічні властивості й застосування деяких латуней

Назва	Марка	Вміст, %		σ _{тч} , МПа	σ _т , МПа	δ, %	НВ	Приклади застосування
		Cu	інших елементів					
Деформівні латуні								
Томпак Напівтомпак	Л96	95...97	–	240	–	45	500	Листи, стрічки, трубки радіаторів
	Л90	88...91	–	260	120	50	530	
Латунь	Л80	70...81	–	320	110	52	530	Листи для холодного штампування, глибокого витягання
	Л68	67...70	–	320	91	55	550	
	Л62	62...63	–	360	110	50	560	
Олов'яниста (морська)	ЛО70-1	69...71	1,0...1,5 Sn	350	100	60	600	Корозійностійкі вироби
Алюмінієва	ЛА77-2	76...79	1,75...2,5 Al	400	140	55	600	
Свинцевиста (автоматна)	ЛС59-1	57...60	0,8...1,9 Pb	400	140	45	900	Листи, прутки
Алюмінієво-залізна	ЛАЖ60-1-1	58...61	0,75...1,5 Al 0,75...1,5 Fe	450	–	26	950	Важконавантажені деталі
Ливарні латуні								
Свинцевиста	ЛС59-1Л	57...60	0,8...1,1 Pb	300...350	–	15...20	700...800	Підшипники, втулки, арматура
Алюмінієво-залізна	ЛАЖ60-1-1Л	58...61	0,75...1,5 Al 0,75...1,5 Fe	360...480	–	18...20	700...900	Те саме
Кремниста	ЛК80-3Л	79...81	2,5...4,0 Si	250...300	200	10...15	500...600	Арматура, деталі, що працюють у морській воді
Алюмінієво- залізоманганова	ЛАЖМц66-6-3-2	65...68	5,0...7,0 Al 2,0...4,0 Fe 1,5...2,5 Mn	600...700	–	5...8	1150...1500	Зубчасті й черв'ячні колеса, гайки та натискні гвинти

Додаток В
Склад, механічні властивості й застосування деяких бронз

Назва	Марка	Хімічний склад, % (решта – мідь)	σ _{тч} , МПа	δ, %	НВ	Приклади застосування
Деформівні бронзи						
Олов'яно-фосфористі	БрОФ4-0,25	3,5...4,55 Sn, 0,25...0,30 P	350	50	650	Листи, стрічки, антифрикційні деталі, мембрани
	БрОФ6,5-0,15	6,0...7,05 Sn, 0,1...0,25 P	400	60	700	
Олов'яно-цинкова	БрОЦ4-3	3,5...4,0 Sn, 2,7...3,3 Zn	350	40	600	
Алюмінієва	БрА5	4...6 Al	400	60	700	Пружини, контакти
Алюмінієво-залізна	БрАЖ9-4	8...10 Al 2...4 Fe	600	40	1200	Стрічки
Алюмінієво-залізонікелева	БрАЖН10-4-4	9,5...11,0 Al, 3,5...5,5 Fe, 3,5...5,5 Ni	650	40	1400	Шестерні, черв'яки, арматура, втулки, що працюють в умовах великих тисків і тертя, високоміцні пружини, контакти
Берилієва	БрБ2	1,8...2,1 Be, 0,2...0,5 Ni	1250	3	3700	
Ливарні бронзи						
Олов'яні	БрО10	9...11,5 Sn,	250...350	5...10	700...1100	Складне литво
	БрОЦС5-5-5	4,0...6,0 Sn, 4,0...6,0 Zn 4,0...6,0 Pb	150...180	45...6	600...700	Шестерні, антифрикційні деталі
	БрОЦС4-4-17	3,5...5,0 Sn, 14,0...20,0 Pb, 2,0...6,0 Zn	150...170	5...6	600...700	
Свинцевисто-алюмінієвозалізні	БрОЦСН-3-7-5-1	2,5...4,0 Sn, 0,5...2 Ni 6,0...9,5 Zn, 3,0...6,0 Pb, 27...33 Pb	180...210	5...8	600...700	Шестерні, вкладиші підшипників
	БрС30		60...80	4...6	250...300	Арматура, підшипники, корпуси насосів
	БрАЖ9-4Л	8...10 Al, 2...4 Fe	400...500	8...10	800...1000	