**1. Властивості міді**

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.

**Мідь** - метал рожево-червонуватого кольору, має елементарну кристалічну комірку у вигляді гранецентрованого куба з параметром *а* = 0,3608 нм. Густина міді γ = 8940 кг/м3, температура плавлення tn - 1083 °С.

Порівняно з алюмінієм мідь характеризується вищими електро- та теплопровідністю, доброю тривкістю до корозії на повітрі, у прісній та морській воді, а також у багатьох хімічних середовищах. Її легко обробляти тиском, паяти і зварювати, проте вона має невисокі ливарні властивості й погану оброблюваність різанням. За електро- й теплопровідністю мідь стоїть на другому місці після срібла. З огляду на низьку границю текучості й порівняно високу вартість мідь у конструкціях майже не застосовується.

Механічні й технологічні властивості міді помітно знижують шкідливі домішки - вісмут, свинець, сірка й кисень. Вісмут і свинець практично не розчиняються в міді й утворюють з нею легкоплавкі евтектики, які, розміщуючись на границях зерен, призводять до руйнування міді під час її гарячої обробки тиском. Тому масова частка вісмуту в міді не повинна перевищувати 0,002 %, а свинцю - 0,005 %. У свою чергу сірка й кисень погіршують пластичність міді, утворюючи на границях зерен крихкі евтектики.

**2. Сплави міді**

До найпоширеніших сплавів міді належать ***латуні*** та ***бронзи***. Легують мідь цинком, оловом, алюмінієм, кремнієм, марганцем, нікелем, берилієм та ін. Ці елементи підвищують твердість і міцність мідних сплавів, практично не знижуючи пластичність, а окремі з них (Zn, Sn, А1) навіть підвищують її. Алюміній, марганець і олово поліпшують корозійну тривкість, окрім цього олово, кремній і марганець у певних концентраціях підвищують антифрикційні властивості сплавів міді. Залізо сприяє здрібненню зерна, а кремній підвищує ливарні властивості сплавів. Пластичність багатьох однофазових мідних сплавів дуже висока, а міцність у рівноважному стані (σв = 250...550 МПа) нижча порівняно зі сталями. Винятком щодо міцності може бути берилієва бронза, зміцнена термообробкою.

Легувальні елементи в сплавах міді позначають літерами:

* А - алюміній,
* Б - берилій,
* Ж - залізо,
* К - кремній,
* Мц - марганець,
* Н - нікель,
* О - олово,
* С - свинець,
* Ф - фосфор,
* Ц - цинк.

За технологічною ознакою розрізняють деформівні та ливарні сплави міді.

**3. Латуні**

**Латуні** це дво- або багатокомпонентні сплави міді, в яких основним легувальним компонентом є цинк. Двокомпонентні латуні системи Сu-Zn зараховуються як ***прості латуні***, а багатокомпонентні, що крім цинку містять ще й інші елементи, - як ***спеціальні латуні****.* Завдяки поєднанню добрих технологічних і непоганих механічних властивостей латуні найбільш поширені серед сплавів міді.

Структура простих латуней у рівноважному стані описується діаграмою системи Сu-Zn. Оскільки в промислових латунях масова частка цинку не перевищує 45 %, то розглянемо лише ліву частину діаграми (рис. 30.1), яка складається з двох діаграм з перитектичним перетворенням.

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

α-твердий розчин цинку в міді з коміркою ГЦК характеризується граничною розчинністю цинку 39 %. β-твердий розчин на базі сполуки СuZn з кристалічною коміркою ОЦК і β'-твердий розчин на базі сполуки СuZn з упорядкованим розташуванням атомів у ОЦК, яке існує до температур 454...468 °С. Вище від зазначених температур атоми β-розчину не впорядковані.



Рисунок 30.1 - Діаграма стану Сu-Zn

Фаза β' на відміну від β значно твердіша й крихкіша, γ-твердий розчин на базі сполуки Сu6Zn8 зі складною кристалічною будовою, γ'-твердий розчин відрізняється від γ-твердого розчину упорядкованим розташуванням атомів, яке зберігається до температури 270 °С.

Марки латуней позначають літерою Л (латунь), після якої для простих латуней ставлять числа, що відповідають масовій частці міді - Л96, Л90, Л85, Л80. Наприклад, в латуні марки Л85 середня масова частка міді 85 %, решта - цинк. Маркуючи спеціальні латуні, на початку теж ставлять літеру Л, після якої йдуть літери, що позначають легувальні елементи й числа після них відповідають середній масовій частці у відсотках відповідних елементів. Зокрема, в латуні марки ЛЦ40МцЗА маємо 40 % цинку (Ц), 3 % марганцю (Мц) і 1 % алюмінію (А), решта - 56 % міді.

***Деформівні латуні***це однофазові (α)- і двофазові (α+ β" )-латуні. Маючи дуже високу пластичність, однофазові латуні легко обробляються тиском і в холодному, і в гарячому стані.

Із однофазових деформівних α-латуней обробкою тиском у холодному стані виготовляють гільзи патронів (Л68, Л70), трубки теплообмінників (Л70), прутки, дріт, стрічки. Однофазові латуні з вмістом міді понад 90 % мають колір золота й використовуються для ювелірних і декоративних виробів.

Менш пластичні в холодному стані двофазові (α + β' )-латуні - прості й спеціальні - рекомендують обробляти тиском у гарячому стані при температурах понад 700 °С.

***Ливарні латуні***використовують переважно спеціальні латуні. Вони характеризуються значною рідкоплинністю, малою схильністю до ліквації й добрими антифрикційними властивостями. З ливарних латуней виготовляють арматуру (ЛЦ40С), лопатки гребних гвинтів (ЛЦ40МЗЖ), гайки, вінці черв'ячних коліс (ЛЦ23А6ЖЗМц2), шестерні (ЛЦ16К4) і втулки підшипників (ЛЦ38Мц2С2).

**4. Бронзи**

**Бронзи** це дво- або багатокомпонентні сплави міді з оловом, алюмінієм, свинцем, берилієм, кремнієм, хромом або іншими компонентами, серед яких цинк не є основним. Серед бронз найпоширеніші багатокомпонентні й значно рідше трапляються двокомпонентні бронзи. Залежно від назви основного легувального компонента бронзи поділяють на олов'яні, алюмінієві, кремнієві, свинцеві, берилієві та ін.

**Олов'яні бронзи** - найстаріші серед металевих сплавів, основний легуючий елемент - олово. Структура двокомпонентних олов'яних бронз у рівноважному стані визначається діаграмою Сu-Sn. *Фази системи*: рідкий розчин Р, тверді розчини α, β, γ, δ і ε.

α-твердий розчин олова в міді з ГЦК коміркою має максимальну граничну розчинність 15,8 % олова при температурах 520... 586 °С. Зі зниженням температури від 520 °С до кімнатної розчинність олова в міді поступово зменшується, δ-твердий розчин утворюється на базі сполуки Сu5Sn. δ-твердий розчин на базі Сu31Sn8 зі складною кубічною коміркою дуже твердий і крихкий; його наявність у структурі зумовлює раптовий спад пластичності бронзи, γ-твердий розчин утворюється на базі хімічної сполуки з оловом, природа якої остаточно не визначена, ε-твердий розчин - на базі Сu3Sn.

При температурі 586 °С β-фаза евтектоїдно перетворюється з утворенням α- і γ-фаз. При температурі 520 °С відбувається друге евтектоїдне перетворення: твердий розчин γ розпадається нa фази α + δ. При температурі 350 °С δ-фаза розпадається на δ-фaзу і ε -фазу (третє евтектоїдне перетворення).

Двокомпонентні олов'яні бронзи мають підвищену схильність до ліквідації, низьку рідкоплинність й розсіяну пористість, проте вони характеризуються дуже низькою лінійною усадкою (0,8 %) й добрими корозійнотривкими властивостями. Ці бронзи дорогі. Щоб здешевити олов'яні бронзи й поліпшити технологічні та механічні властивості, їх додатково легують цинком, свинцем, нікелем і фосфором.

Оскільки цинк дешевший не лише від олова, але й від міді, його вводять у великих кількостях, але не більше його розчинності в α -фазі.

Нікель сприяє здрібненню зерна, збільшує міцність та пластичність й підвищує корозійну тривкість бронз.

Свинець знижує механічні властивості, проте підвищує щільність виливків, поліпшує антифрикційні властивості й оброблюваність різанням.

Фосфор підвищує міцність і рідкоплинність бронз.

*Бронзи маркують* літерами Бр (бронза), за якими проставляють літери, що показують, які компоненти, крім міді, входять до складу бронзи. Числа відповідають середній масовій частці відповідних легувальних елементів. Наприклад, бронза марки БрОФ10-1 містить 10 % олова (О), 1 % фосфору (Ф), а решта 89 % - мідь.

Розрізняють деформівні й ливарні олов'яні бронзи.

***Деформівні олов'яні бронзи*** мають до 8 % олова, 5 % цинку, 4,5 % свинцю та 0,35 % фосфору. Щоб забезпечити добру пластичність, масова частка олова в деформованих бронзах не повинна перевищувати 6 %. Вироби з таких бронз (стрічки, прутки, дріт) постачають у нагартованому (твердому) й відпаленому (м'якому) стані. Відпалюють при температурі 700...750 °С, щоб наблизити структуру до рівноважної. Структура відпаленої бронзи - однофазова (α-фаза).

***Ливарні олов'яні бронзи*** бронзи мають низьку пластичність, з підвищенням вмісту олова до 9...11 % в нерівноважній структурі з'являється крихка δ-фаза, яка істотно знижує пластичність. Додавання до ливарних бронз цинку й свинцю підвищує їх рідкоплинність. З литих бронз виготовляють переважно арматуру, а також деталі, що працюють в умовах тертя (втулки, вкладки підшипників, вінці черв'ячних коліс).

**Алюмінієві бронзи** (основний легуючий елемент алюміній) характеризуються високою рідкоплинністю, добрими механічними властивостями й корозійною тривкістю, проте вони мають дещо більшу усадку порівняно з олов'яними бронзами. Двокомпонентні однофазові бронзи (БрА5, БрА7) найкраще поєднують міцність і пластичність. Вони належать до деформованих бронз. З бронзи БрА5 штампуванням виготовляють медалі, розмінні монети й деталі хімічного машинобудування. До недоліків двокомпонентних алюмінієвих бронз зараховують підвищену усадку, схильність до насичення газами й до утворення оксидів під час розплавлення, а також низьку здатність до паяння. Перелічені недоліки можна значною мірою усунути, легуючи бронзу залізом, марганцем і нікелем.

**Кремнієві бронзи** (основний легуючий елемент кремній) служать замінниками олов'яних. Порівняно з олов'яними вони характеризуються вищою корозійною тривкістю, кращими механічними властивостями й щільністю виливків. Проте з огляду на підвищену усадку й схильність до поглинання газів ливарні властивості кремнієвих бронз гірші, ніж олов'яних і алюмінієвих. Кремнієві бронзи легко обробляються тиском і різанням, добре зварюються, мають високі антифрикційні властивості. Вони містять до 3,5 % кремнію. Коли вміст кремнію менше 3 %, структура двокомпонентних кремнієвих бронз у рівноважному стані складається з α -твердого розчину кремнію в міді, а коли понад 3 %, в структурі з'являється крихка й тверда γ-фаза.

Двокомпонентні сплави ситеми Сu-Sі не застосовуються в промисловості. Легуючи їх марганцем і нікелем, можна поліпшити антикорозійні й механічні властивості. Марганець, обмежено розчиняючись в а-твердому розчині, зміцнює його. 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 °С.

**Берилієві бронзи** (основний легуючий елемент берілій) поєднують високу міцність, пружність, корозійну тривкість, добру електро- й теплопровідність; вони легко зварюються й обробляються різанням. Зі зниженням температури розчинність берилію в міді зменшується від 2,7 % при 866 °С до ~ 0,2 % при 300 °С, що створює передумову для гартування бронзи. Берилієві бронзи додатково легують нікелем й титаном. Нікель зменшує критичну швидкість охолодження і підвищує жароміцність, а титан сприяє додатковому зміцненню за рахунок сполук ТіВе2 і Сu3Ті. Берилієві бронзи належать до дисперснотвердіючих сплавів. Унаслідок гартування у воді від температури 800 °С утворюється пересичений твердий розчин берилію в міді. Під час штучного старіння з пересиченого розчину виділяються дрібнодисперсні частинки зміцнювальної γ-фази (СuВе). Границя міцності бронзи Бр Б2 (~ 2 % берилію) після гартування й штучного старіння становить 120 НВ, а відносне видовження δ - до 5 %. Попередньо наклепана бронза зміцнюється ще сильніше. Берилієві бронзи дорогі. Тому з них виготовляють відповідальні деталі авіаційних приладів - мембрани, пружини, пружинні контакти й ударні інструменти, що працюють у вибухонебезпечних умовах.

**Свинцева бронза** (основний легуючий елемент свинець) - добрий антифрикційний матеріал з високою теплопровідністю, проте з низькими механічними та технологічними властивостями. Завдяки високій теплопровідності теплота, що виникає під час тертя, легко відводиться у зовнішнє середовище. Серед свинцевих бронз широко відома марка БрС 30, з якої виготовляють підшипники ковзання для роботи в умовах підвищеного тиску й великих швидкостей. Сланець практично не розчиняється в міді, йому властива ліквація за густиною. Щоб не допустити істотної структурної неоднорідності, рідку бронзу перед кристалізацією інтенсивно перемішують і швидко охолоджують. Після кристалізації структура бронзи складається з кристалів міді та вкраплень свинця. Легування свинцевої бронзи нікелем і оловом, які розчиняються в міді, поліпшує механічні й антикорозійні властивості.