

**МІНІСТЕРСТВО ВНУТРІШНІХ СПРАВ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВНУТРІШНІХ
СПРАВ
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ ЛЬОТНИЙ КОЛЕДЖ**

Циклова комісія технічного обслуговування авіаційної техніки

ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ

навчальної дисципліни «Хімія, пально-мастильні матеріали і авіаційне
матеріалознавство»

вибіркових компонент освітньо-професійної програми
першого (бакалаврського) рівня
бакалавр

Аеронавігація

**за темою № 18 – Теорія сплавів. Діаграми стану сплавів. Властивості
кольорових металів.**

Харків 2022

ЗАТВЕРДЖЕНО

Науково-методичною радою
Харківського національного
університету внутрішніх справ
Протокол від 30.08.2022 № 8

СХВАЛЕНО

Методичною радою
Кременчуцького льотного коледжу
Харківського національного
університету внутрішніх справ
Протокол від 22.08.2022 № 1

ПОГОДЖЕНО

Секцією науково-методичної ради
ХНУВС з технічних дисциплін
Протокол від 29.08.2022 № 8

Розглянуто на засіданні циклової комісії технічного обслуговування авіаційної техніки, протокол від 10.08.2022 № 1

Розробник:

1. канд. хім. наук, доцент, спеціаліст вищої категорії, викладач циклової комісії технічного обслуговування авіаційної техніки, Козловська Т. Ф.

Рецензенти:

1. канд. хім. наук, доцент, завідувач кафедри екології та біотехнологій Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського, професор Новохатько О. В.

2. канд. техн. наук, доцент, викладач циклової комісії природничих дисциплін Кременчуцького льотного коледжу Харківського національного університету внутрішніх справ, викладач-методист, спеціаліст вищої категорії Долударєва Я. С.

План лекції

1. Основи теорії сплавів..
2. Діаграми стану сплавів.
3. Діаграма стану сплавів, компоненти яких необмежено розчинні у рідкому стані та практично не розчинні у твердому.
4. Кольорові метали і сплави. властивості кольорових металів і сплавів та області їх застосування.

Література:

Основна

1. Романова Н. В. Загальна та неорганічна хімія : практикум. Київ : Либідь, 2003. 205 с.
2. Кириченко В. І. Загальна хімія : навч. посібник Київ : Вища школа, 2005. 635 с.
3. Басов В. П., Радіонов В. М. Хімія : навч. посібн. 4-те вид. Київ : Каравела, 2004. 302 с.
4. Бочеров А. Д., Жикол О. А., Красовська М. В. Хімія : Довідник з прикладами розв'язання задач. Харків, 2011. 416 с.
5. Григор'єва В. В., Самійленко В.М., Сич А. М., Голуб О. А. Загальна хімія : підручник для студентів нехімічних спеціальностей вищих навчальних закладів. Київ : Вища школа, 2009. 471 с.
6. Степаненко О. М., Рейтер Л. Г., Ледовських В. М., Іванов С. В. Загальна та неорганічна хімія. Част. 1. Київ : Педагогічна преса, 2002. 418 с.
7. Степаненко О. М., Рейтер Л. Г., Ледовських В. М., Іванов С. В. Загальна та неорганічна хімія. Част. 2. Київ : Педагогічна преса, 2000. 783 с.
8. Бойченко С. В., Черняк Л. М., Новікова В. Ф. Контроль якості паливно-мастильних матеріалів. Київ : НАУ, 2012. 308 с.
9. Бойченко С. В., Іванов С. В., Бурлака В. Г. Моторні палива і масла для сучасної техніки : монографія. Київ: НАУ, 2005. 216 с.
10. Бойченко С. В., Спіркін В. Г. Вступ до хіммотології палив та олив : навч. посібник. Одеса: Астропринт, 2009. Част. 1. 236 с.
11. Бойченко С. В., Любінін Й. А., Спіркін В. Г. Вступ до хіммотології палив та олив : навч. посібник. Одеса: Астропринт, 2009. Част. 2. 276 с.
12. Полянський С.К., Коваленко В.М. Експлуатаційні матеріали для автомобілів і будівельно-дорожніх машин : підручник . Київ : Либідь, 2005. 504с.
13. Животовська К. О, Мамлюк О. В. Авіаційні матеріали та їх обробка : навч. посібник. Київ : Вища освіта, 2003.
14. Гарнець В. М. Матеріалознавство : підручник. Київ : Кондор, 2009.
15. Попович В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство :

навч. посібник. Львів, 2002. 264 с.

16. Більченко О. В., Дудка О. І., Лобода П. І. Матеріалознавство : навч. посібник. Київ : Кондор, 2009.

Допоміжна

17. Карпинець А. П. Лекції з курсу «Використання експлуатаційних матеріалів та економія паливно-енергетичних ресурсів» : навч. посібник. Горлівка, 2014. 107 с.

18. Чабанний В. Я., Магопець С. О., Мажейка О. Й. Паливо-мастильні матеріали, технічні рідини та системи їх забезпечення : навч. посібник. Кіровоград: Центрально-Українське видавництво, 2008. ч.1. 353 с.

19. Чабанний В. Я., Магопець С. О., Осипов І. М. Паливо-мастильні матеріали, технічні рідини та системи їх забезпечення : навч. посібник. Кіровоград: Центрально-Українське видавництво, 2008. ч.2. 500 с.

20. Сизова З.О. Конспект лекцій з дисципліни «Хімотологія» : навч. посібник. Харків, 2013. 83 с.

21. ГСТУ 320.00149943.007-97. Паливо для реактивних двигунів «РТ». [Чинний від 1997-06-15]. Держнафтогазпром України, 1997. 19 с. (Галузевий стандарт України).

22. ГСТУ 320.00149943.011-99. Паливо ТС-1 для реактивних двигунів. [Чинний від 1999-07-01]. Держнафтогазпром України, 1999. 27 с. (Галузевий стандарт України).

23. ДСТУ 4796:2007. Паливо авіаційне для газотурбінних двигунів ДЖЕТ А-1. [Чинний від 2007-10 -01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2007. 8 с. (Національний стандарт України).

24. ДСТУ 7687:2015. Бензини автомобільні євро. Технічні умови. [Чинний від 2016-01 -01]. Київ : УкрНДНЦ, 2015. 15 с. (Національний стандарт України).

25. ДСТУ 7688 : 2015. Паливо дизельне євро. Технічні умови. [Чинний від 2016-01 -01]. Київ : УкрНДНЦ, 2015. 15 с. (Національний стандарт України).

26. Хільчевський В. В., Кондратюк С. Є, Степаненко В. О., Лопатько К. Г. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів : навч. посібник. Київ : «Либідь», 2002. 328 с.

Текст лекції

1. Основи теорії сплавів.

Сплав – це речовина, яку одержують поєднанням (сплавленням, спіканням, електролізом) двох або більше елементів. Структура і властивості сплавів значною мірою відрізняються від структури і властивостей елементів, що їх утворюють. Сплав, виготовлений переважно з металів, який має металеві властивості, називають металевим сплавом. Порівняно з чистими металами сплави мають більш цінний комплекс механічних, фізичних і технологічних властивостей. Залежно від кількості елементів (компонентів), що входять до складу розплаву, розрізняють двохкомпонентні, трикомпонентні або багатоконпонентні сплави (системи). У розплаві всі компоненти сплаву знаходяться в атомарному стані, утворюючи рідкий однорідний розчин із статично однаковим хімічним складом. Під час тверднення (кристалізації) атоми компонентів розташовуються у певному порядку, утворюючи кристалічну речовину – сплав.

При цьому існує три типи взаємодії компонентів сплаву:

- утворення механічної суміші компонентів;
- утворення хімічних сполук;
- утворення твердих розчинів.

У разі формування механічної суміші компонентів сплаву атоми кожного з компонентів утворюють власні кристалічні ґратки, тобто кожний елемент кристалізується самостійно.

Механічну суміш, яку утворюють два компоненти, що нездатні взаєморозчинюватись або утворювати хімічну сполуку при кристалізації з рідкого стану, називають **евтектикою**. Структура сплавів такого типу ($\text{Sn} - \text{Zn}$, $\text{Sb} - \text{Pb}$) неоднорідна (гетерогенна). Слід очікувати, що властивості цих сплавів будуть усередненими, виходячи з рівня властивостей компонентів та їхнього кількісного вмісту у сплаві.

Утворення хімічної сполуки при кристалізації зумовлено здатністю різнорідних атомів (які значною мірою відрізняються за будовою та властивостями) об'єднуватись у певній пропорції, утворюючи новий тип кристалічної ґратки, що відрізняється від ґраток компонентів сплаву. При цьому утворюється речовина з новими властивостями, для якій характерно: чітке співвідношення кількості атомів елементів, що її утворюють A_nB_m (наприклад, Fe_3C , Fe_2O_3); наявність власного типу кристалічної ґратки; певна

(постійна) температура плавлення; суттєва відмінність у властивостях порівняно з вихідними елементами; стрибкоподібна зміна властивостей при зміні хімічного складу. Якщо при переході сплаву з рідкого стану в твердий зберігається однорідність і розчинність елементів, що його утворюють, такий сплав називають твердим розчином.

При утворенні твердого розчину один з елементів зберігає власну кристалічну ґратку (розчинник), а інший у вигляді окремих атомів розподіляється у його кристалічній ґратці. Залежно від характеру їх розміщення в ґратці розчинника розрізняють тверді розчини заміщення й тверді розчини втілення. При утворенні твердих розчинів заміщення атоми компонента, що розчиняється, заміщують частину атомів розчинника у вузлах його кристалічної ґратки. Необмежену розчинність (здатність утворювати тверді розчини при будь-яких пропорціях компонентів) мають лише метали з кристалічною ґраткою одного типу за умови, що параметри їхніх ґраток відрізняються не більше ніж на 8...15 %.

Проте допустимі відміни в параметрах для різних пар металів різні. Взаємодію елементів у сплавах і характер структури зумовлює фізична природа елементів, тобто тип кристалічної ґратки, розташування елементів у періодичній системі Д.І.Менделєєва тощо. Дійсно, метали, розташовані поблизу один від одного у таблиці Д. І. Менделєєва, мають необмежену розчинність: Cu(29) і Ni(28); Fe(26) і Ni(28); Fe(26) і Cr(24); Fe(26) і Co(27); Co(27) і Ni(28); або розташовані в одній групі: As(33) і Sb(51); Au(79) і Ag(47); Au(79) і Cu(29) (цифри у дужках означають номер елемента). Елементи з кристалічними ґратками різного типу, якщо їхні атоми близькі за розмірами, можуть розчинюватись один в одному обмежено. Чим більша різниця в розмірах атомів компонентів, тим менше вони розчиняються у твердому стані.

Обмежена розчинність компонентів характерна також при утворенні ними твердих розчинів втілення, тобто таких, коли атоми розчинених компонентів розташовуються (втілюються) у міжвузельних об'ємах метала-розчинника. При цьому атоми розміщуються не в будь-якому міжвузлі, а лише в тих, де для них достатньо вільного об'єму. Ці пустоти малі за розміром, у них можуть розміститись елементи, атоми яких мають відповідні невеликі розміри (водень, азот, вуглець, бор). Вміст їх у твердому розчині втілення не перевищує 1...2 %. Тобто такі сплави є твердими розчинами з обмеженою розчинністю компонентів.

Властивості сплавів, що утворюють тверді розчини, відрізняються від властивостей елементів компонентів. Проте сплави зберігають основні

властивості металів, а саме: здатність до пластичної деформації, електропровідність тощо. Відзначимо також, що на відміну від механічної суміші твердий розчин є однорідним (однофазним), складається з одного виду кристалів, має одну (певну) кристалічну ґратку; на відміну від хімічної сполуки твердий розчин існує не за строго визначеного співвідношення компонентів, а в інтервалі концентрацій.

У металознавстві чисті компоненти позначають латинськими літерами А, В, С, а тверді розчини – грецькими літерами α , β , γ тощо.

2. Діаграми стану сплавів.

Важливо знати стан і структуру сплавів залежно від зміни температури і концентрації компонентів, що їх утворюють. Такий зв'язок наочно відображають діаграми стану сплавів, які будують на основі результатів експериментів з використанням методів термічного, магнітного, металографічного та інших аналізів.

Температури, при яких відбуваються зміни стану (перетворення) сплаву, називають критичними: $T_{\text{пл}}$ – температура плавлення; $T_{\text{кр}}$ – температура кристалізації тощо. Для побудови діаграм стану необхідно знати критичні температури сплаву. Визначають їх на основі аналізу швидкостей охолодження (нагрівання), графічно зображених у координатах «температура–час». Кристалічні речовини (метали, сплави) мають певну фіксовану температуру плавлення (при нагріванні) та кристалізації (при охолодженні). Кристалізація (тверднення) чистих металів відбувається за постійної температури, а сплавів – в інтервалі температур. Побудова діаграм стану базується на експериментальному одержанні серії графіків охолодження розплавів з різним (заданим) вмістом компонентів системи та визначення за ними критичних температур (точок) фазових перетворень. Температура початку кристалізації сплаву називають точками ліквідус (від. лат. Liquidus – рідкий), а закінчення кристалізації – солідус (від лат. solidus – твердий). Для побудови діаграми стану на осі абсцис відкладають концентрацію компонентів досліджуваних сплавів (рис. 1).

Крайня точка ліворуч по осі концентрації відповідає 100 % компонента А і 0 % В (початок осі абсцис), а крайня точка праворуч відповідає 100 % компонента В і 0 % А. Значення температури відкладають по осі ординат. Сплави з різним вмістом компонентів А і В мають різний фазовий склад, структуру, а отже і властивості. Діаграми стану дають уяву про формування

Число ступенів свободи визначає кількість незалежних перемінних (температура, концентрація, тиск), які, не порушуючи рівноваги системи, можна

змінювати у певних межах. рівноважним називають такий стан сплаву, що не змінюється у часі. Число ступенів свободи позначають літерою C .

Закономірності всіх змін системи, залежно від внутрішніх і зовнішніх умов, підпорядковані правилу фаз Гіббса:

$$C = K + B - \Phi,$$

де C – число ступенів свободи; K – кількість компонентів; B – зовнішні перемінні фактори (температура, тиск); Φ – кількість фаз.

3. Діаграма стану сплавів, компоненти яких необмежено розчинні у рідкому стані та практично не розчинні у твердому.

До таких сплавів відносять, наприклад, сплави систем Pb-Sb, Sn-Zn. У твердому стані вони утворюють механічну суміш кристалів компонентів. Така суміш, якщо вона закристалізувалась з рідини за температури нижчої від температур плавлення компонентів сплаву, називається евтектикою, або евтектичною сумішшю (eutektos – з грецької означає легкоплавкий). Сплави хімічного складу, при якому кристалізується лише евтектика (точка E діаграми), називають евтектичними. Сплави, що за складом розташовані на діаграмі ліворуч від евтектичного, називають доевтектичними, а праворуч – заевтектичними. Розглянемо діаграму стану першого типу (рис. 1). Якщо два компоненти у твердому стані нерозчинні один в одному (утворюють механічну суміш), добавка одного компонента до іншого знижує температуру початку тверднення (лінія ліквідус на діаграмі). Температура ж закінчення тверднення (лінія солідус) не залежить від складу сплаву даної системи і однакова для всіх сплавів, утворених даною парою компонентів. При температурах точок a і b у розплаві утворюються кристали A (у сплаві 1) і B (у сплаві 3). Структура доевтектичного сплаву 1 складається з первинних кристалів компонента A і евтектики $A+B$ у співвідношенні за об'ємом 50 : 50 % (за правилом відрізків). Структура евтектичного сплаву 2 на 100 % складається з евтектичної суміші $A+B$. Сплав 3 (заевтектичний) має структуру, що складається з кристалів компонента B і евтектики $A+B$ при їхньому об'ємному співвідношенні 50 : 50 %.

Склад і кількість кожної фази у будь-якій двофазовій області діаграми стану дозволяє визначити правило відрізків. Для визначення вмісту компонентів у фазах сплаву, на діаграмі стану проводять горизонтальну лінію (коноду) до перетину з лініями, що обмежують цю область. Проекції точок

перетину коноди з лініями діаграми на вісь концентрації показують склад фаз. Так, для сплаву 3 (рис. 1) при температурі точки с рідина за своїм складом відповідає точці d' на осі абсцис.

Для визначення кількісного співвідношення фаз визначають довжину відрізків коноди від заданої точки діаграми до точок, що відповідають складу фаз.

Наприклад (рис. 1), у сплаві 3 при температурі точки с кількість рідини пропорційна відріzkу се і становить 70 %, а кількість первинних В-кристалів пропорційна відріzkу dc і дорівнює 30 %.

Діаграма стану сплавів, які утворюють у твердому стані кристалічні тверді розчини з необмеженою взаємною розчинністю компонентів.

У процесі охолодження таких сплавів з розплаву випадають кристали твердого розчину з різним співвідношенням компонентів. Верхня крива m (рис. 2) – ліквідус, нижня n – солідус.

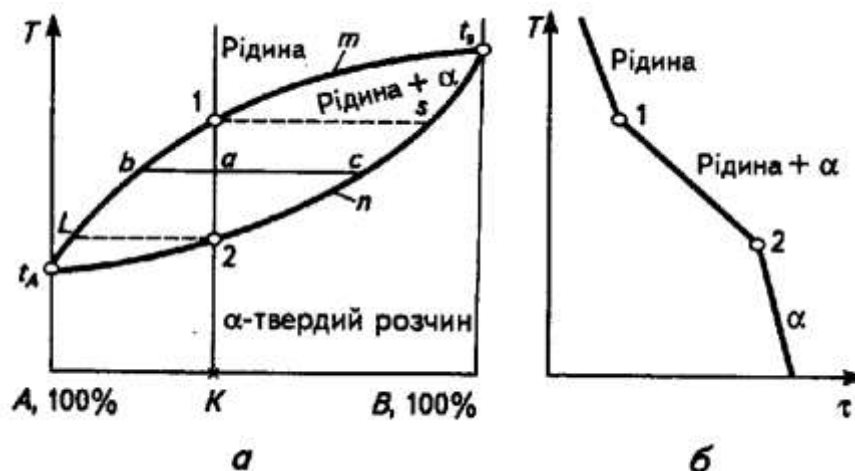


Рисунок 2 – Діаграма стану (а) та крива охолодження (б) сплавів
необмеженою розчинністю компонентів у рідкому і твердому станах

3

Внаслідок процесів дифузії концентрація сплаву вирівнюється (найактивніше – при повільному охолодженні). Прикладом таких сплавів може служити система сплавів Cu – Ni.

Діаграма сплавів, компоненти яких утворюють тверді розчини з обмеженою розчинністю.

Така діаграма характерна, наприклад, для системи сплавів Cu – Ag (рис. 3). Крива АЕВ – ліквідус, крива АДЕСВ – солідус. Кристали твердого розчину втілення атомів компонента В у кристалічній ґратці компонента А (α-твердий розчин) випадають при температурах відповідно лінії АД. При температурах і концентраціях компонентів, що відповідають лінії СВ,

кристалізуються тверді розчини втілення атомів компонента А у кристалічній ґратці компонента В (β -твердий розчин). Сплав, склад якого відповідає точці Е на діаграмі, кристалізується з утворенням евтектики ($\alpha + \beta$).

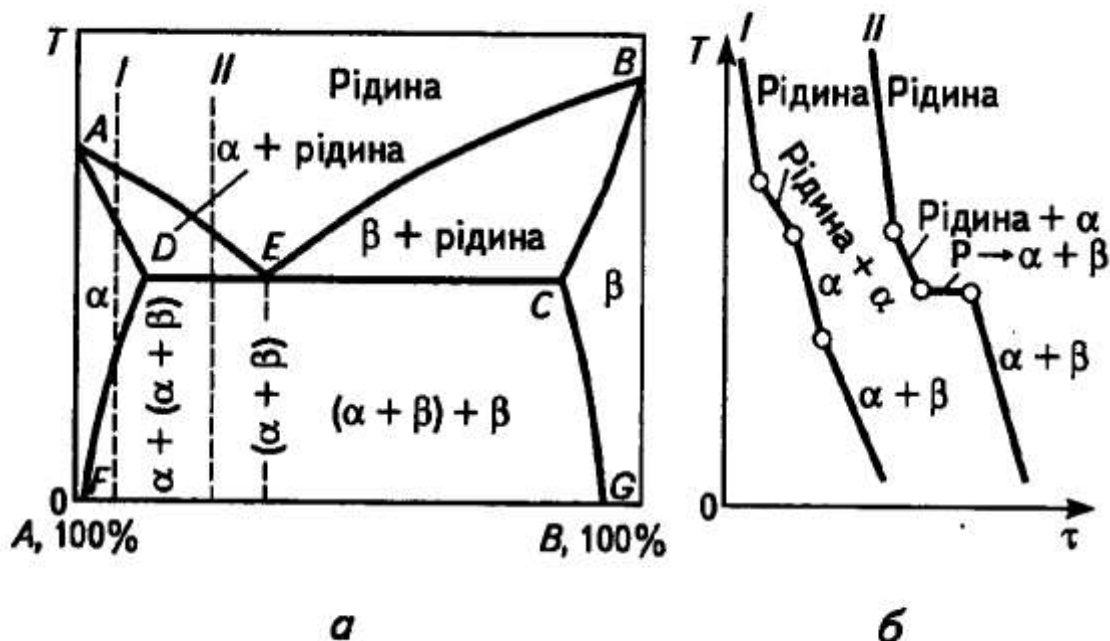


Рисунок 3 – Діаграма стану сплавів з обмеженою розчинністю компонентів у твердому стані (а) та криві охолодження (б)

Сплави між точками D і C після кристалізації з розплаву складаються з кристалів α -твердого розчину і евтектики ($\alpha + \beta$), а між точками C і E – з кристалів β -твердого розчину і евтектики ($\alpha + \beta$).

Сплави з вмістом компонента В, меншим ніж у точці D, закінчують кристалізацію по лінії AD і складаються з кристалів α . При зниженні температури (лінії DF) ці кристали стають пересиченими щодо компонента В, тому з твердого α -розчину утворюються кристали $\beta_{вт}$ – твердого розчину. Таку кристалізацію з твердого розчину називають вторинною, а з рідкого – первинною. У сплавах з вмістом компонента В більшим ніж у точці E, при температурах нижчих лінії EC, з кристалів твердого β -розчину утворюються кристали $\alpha_{вт}$.

Діаграма стану сплавів з утворенням хімічної сполуки.

Такий тип діаграми (рис. 4) характерний, наприклад, для сплавів системи Mg - Ca. Хімічну сполуку A_nB_m (Mg_4Ca_3) можна розглядати як третій компонент, що поділяє діаграму стану системи A - B (Mg - Ca) на дві діаграми першого типу: системи A - A_nB_m (Mg - Mg_4Ca_3) та A_nB_m - B (Mg_4Ca_3 - Ca).

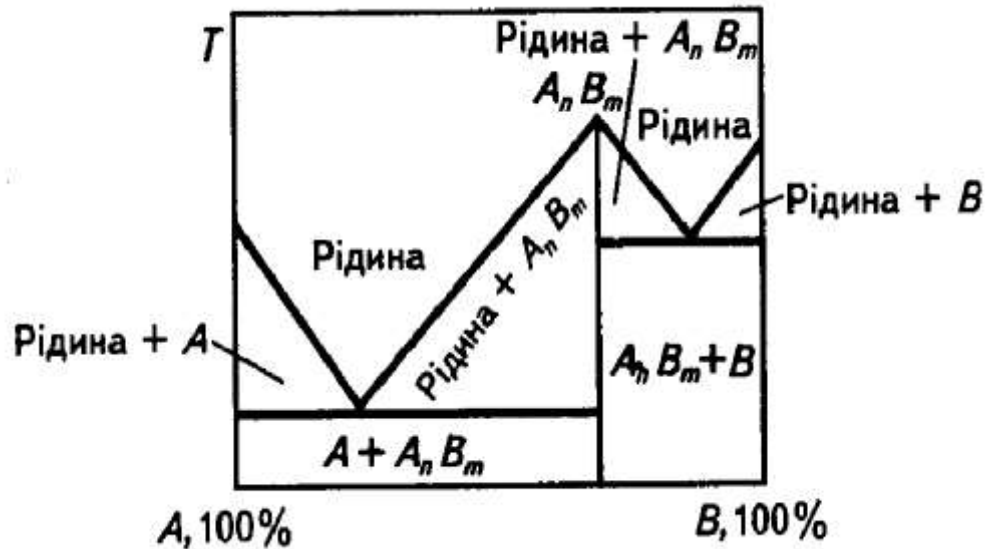


Рисунок 3.4 Діаграма стану сплавів, компоненти яких утворюють хімічну сполуку

Визначення зв'язку властивостей сплавів з типом діаграми стану є важливою передумовою для створення нових сплавів і прогнозування їхніх властивостей.

4. Кольорові метали і сплави. властивості кольорових металів і сплавів та області їх застосування.

Кольорові метали мають комплекс цінних властивостей, таких, наприклад, як теплопровідність (алюміній, мідь), низьку температуру плавлення (свинець, олово), малу питому вагу (алюміній, магній) тощо. Проте застосування їх у чистому вигляді досить обмежене. Широко застосовуються у промисловості сплави кольорових металів – латуні, бронзи, бабіти (на основі міді, цинку, олова, свинцю), а також дюралю міни і силуміни (на основі алюмінію), сплави на основі титану, магнію. На основі кольорових металів та їхніх сплавів створюються також композиційні матеріали та такі, що виготовляють методами порошкової металургії.

АЛЮМІНІЙ ТА ЙОГО СПЛАВИ.

Алюміній – легкий метал третьої групи періодичної системи елементів, сріблясто-білого кольору, з густиною $2,7 \text{ г/см}^3$, високою електро-, теплопровідністю та корозійною стійкістю (утворює щільну поверхневу плівку оксиду Al_2O_3). Температура плавлення алюмінію, залежно від чистоти металу,

становить 660...667 °С. Прокатний і відпалений алюміній високої чистоти має міцність $\sigma_b = 60$ МПа, модуль пружності $E = 7 \cdot 10^3$ МПа, пластичність $\delta = 50$ %, $\psi = 85$ %, твердість 25 НВ. Алюміній високо пластичний, маломіцний матеріал, добре обробляється тиском, зварюється, але погано піддається обробці різанням. Як конструкційний матеріал його не застосовують. Постійні домішки (Fe, Si, Ti, Mn, Cu, Zn, Cr) знижують фізико-хімічні характеристики і пластичність алюмінію: А999 (0,001 % домішок), А995 (0,005 % домішок), А99 (0,01 % домішок), а також А97, А95.

Введення легуючих елементів дозволило створити низку алюмінієвих сплавів з різними фізико-механічними та технологічними властивостями. Сплави алюмінію поєднують у собі кращі властивості чистого алюмінію і підвищені характеристики легуючих елементів. Так, залізо, титан, нікель підвищують жароміцність сплавів; мідь, марганець, магній забезпечують зростання характеристик міцності. Легуванням і відповідною термічною обробкою досягають підвищення міцності алюмінію (σ_b) від 100 до 500 МПа, твердості – від 20 до 150 НВ.

За технологією виготовлення заготовок і виробів усі промислові сплави алюмінію поділяють на три групи: деформовані, ливарні, спечені.

Сплави, що піддають деформуванню, повинні забезпечувати високу технологічну пластичність для здійснення операцій прокатування, кування, пресування тощо. Деформовані сплави алюмінію поділяють на такі, що зміцнюють термічною обробкою, і такі, що не зміцнюють.

До термічно незміцнюваних сплавів належать технічний алюміній (АД, АД1, АД0), сплави алюмінію з марганцем (позначають АМц) і сплави з магнієм та марганцем (позначають АМг). Вони володіють помірною міцністю, пластичністю, добре зварюються, корозійно стійкі. Залежно від стану поставки листу (0,5...10 мм) у позначенні марки сплаву додають літери. У разі поставки сплаву у відпаленому стані пишуть літеру М – м'які (АМгМ), при незначному наклепуванні – літеру П (АМгП), при значному – літеру Н (АМгН). Так, міцність і пластичність сплаву АМцН складає $\sigma_b = 220$ МПа, $\delta = 5$ %, а сплаву АМцМ - $\sigma_b = 130$ МПа, $\delta = 20$ %.

Мало навантажені деталі зварювальних і клепаних конструкцій, деталі глибокої витяжки виготовляють зі сплавів типу АМцН, а також АМг2М, АМг3М ($\sigma_b = 170..200$ МПа, $\delta = 4..18$ %). Деталі конструкцій середнього навантаження та високої корозійної стійкості виготовляють зі сплавів типу АМг5М, АМг6М ($\sigma_b = 280$ МПа, $\delta = 15$ %). Зі сплавів АМц і АМг виготовляють лист, прутки, дріт.

Термічно зміцнювані сплави алюмінію за хімічним складом і властивостями більш різноманітні. Їх поділяють на:

- сплави підвищеної пластичності АВ, АД31, АД33 (на основі системи Al-Mg-Si);
- конструкційні сплави (Al-Cu-Mg) – дюралю міни марок Д1, Д16, Д18, В65;
- ковочні (Al-Mg-Si-Cu) марок АК6, АК8;
- високоміцні (Al-Zn-Mg-Cu) марок В95, В96;
- жароміцні сплави систем (Al-Cu-Mg) марок АК4-1 та (Al-Cu-Mn) Д20.

Сплави підвищеної пластичності – авіалі (АВ, АД31, АД33) – містять у своєму складі, крім алюмінію, 0,4...1,2 % Mg, 0,3...1,2 % Si, 0,15...0,35 % Mn, добре зварюються, корозійно стійкі. Термічна обробка їх складається з гартування від 515...525 °С і старіння (природного або штучного). Штучне старіння проходить значно швидше і здійснюється при 160...170 °С протягом 12...15 год. одразу ж після гартування. Після гартування та штучного старіння властивості сплаву АВ дорівнюють: $\sigma_B = 260...380$ МПа, $\sigma_T = 200...250$ МПа, $\delta = 14...20$ %. Зі сплавів АВ, АД3 виготовляють листи, труби, пресовані профілі, заготовки, ковани деталі двигунів, лопасті гвинтів вертольотів тощо.

Конструкційні сплави (дюралюміні) широко застосовуються у різних галузях техніки. Їх маркують літерою Д, після якої стоїть цифра, що відповідає умовному номеру сплаву. Термічна обробка дюралюмінів складається з гартування від 500...510 °С (охолодженням у киплячій воді) і старіння. Природне старіння здійснюють за кімнатної температури протягом 5...7 діб, штучне – за температур 150...190 °С протягом 4...12 год або при 250 °С протягом 2...4 год. Особливістю гартування дюралюмінів є необхідність дотримуватися температурного режиму, наприклад, 505 ± 5 °С (для Д1) і 500 ± 5 °С (для Д16, Д18). Дюралюмін Д16 має найбільшу міцність після гартування та природного старіння: $\sigma_B = 480$ МПа, $\sigma_T = 320$ МПа, $\delta = 14$ % (лонжерони, шпангоути, обшивки літаків). Дюралюміні виробляють у вигляді листа, пресованих і катаних профілів, прутків, труб. Для підвищення корозійної стійкості їх піддають плакуванню. Відповідно при маркуванні таких сплавів додають літеру А, наприклад Д16А, Д1А. Сплави Д18 і В65 є основними алюмінієвими заклепочними сплавами. Найбільш широко дюралю міни застосовуються в авіаційній промисловості та будівництві.

Алюмінієві сплави, придатні для кування (ковочні), позначають літерами АК і відносять до системи Al-Cu-Mg-Si. Вони пластичні, стійкі до утворення тріщин під час гарячої пластичної деформації. Ці сплави (АК6, АК8) за

хімічним складом близькі до дюралюмініїв і відрізняються високим вмістом кремнію (0,7...1,2 %). Сплави АК6 і АК8 застосовують після гартування від 520 ± 5 °C (АК6) і 505 ± 5 °C (АК8) та штучного старіння при 160...170 °C протягом 12...15 год. після термічної обробки механічні властивості цих сплавів такі: $\sigma_b = 400$ МПа, $\delta = 12$ % (АК6); $\sigma_b = 480$ МПа, $\delta = 19$ % (АК8). Проте обидва сплави мають низьку корозійну стійкість і потребують додаткових заходів щодо захисту від корозії. З них виготовляють штамповані та куті деталі складної форми і середньої міцності (АК6) – під моторні рами, кріпіння, а також високо навантажені штамповані деталі (АК8), як пояси лонжеронів, лопасті гвинтів вертольотів, бандажі вагонів.

Високоміцні алюмінієві сплави (В95, В96) окрім міді і магнію містять у своєму складі значну кількість цинку (5...8,6 %). Підвищену міцність цих сплавів зумовлює наявність в їхній структурі після гартування від 460...470 °C у воді і штучного старіння при 120...140 °C протягом 24...16 год. після термічної обробки механічні властивості для сплаву В95 такі: $\sigma_b = 550...600$ МПа, $\sigma_T = 530...550$ МПа, $\delta = 8$ %; для сплаву В96 $\sigma_b = 700$ МПа, $\sigma_T = 650$ МПа, $\delta = 7$ %. Сплави В95 і В96 застосовують у літакобудуванні для конструкцій високого навантаження і тривалої експлуатації за температур до 100 °C. До недоліків цих матеріалів відносять невисокі пластичність, в'язкість руйнування і низьку корозійну стійкість під напруженням. Підвищення цих характеристик сприяє двоступінчасте пом'якшуюче старіння.

Жароміцні сплави використовують для експлуатації при температурах до 300 °C (поршні, головки циліндрів, диски і лопатки компресорів реактивних двигунів, обшивка надзвукових літаків). Найбільш поширені сплави типу АК4-1 системи Al-Cu-Mg-Si з добавками заліза та нікелю; Д20 системи Al-Cu-Mn з добавками титану та цирконію. Після гартування від 530 ± 5 °C і штучного старіння сплав АК4-1 має такі механічні характеристики: $\sigma_b = 300...180$ МПа, $\sigma_T = 190...120$ МПа, $\delta = 18...12$ %. Сплав Д20 має такі характеристики механічних властивостей: $\sigma_b = 420$ МПа, $\sigma_T = 330$ МПа, $\delta = 11$ %. Перспективними жароміцними сплавами алюмінію є сплави системи Al-Mg-Li, що поєднують високу міцність, низьку питому вагу і достатню жароміцність.

Ливарні сплави алюмінію використовують для виготовлення фасонних виливків різної форми та призначення. До їх складу входять ті самі легуючі компоненти, що й до деформованих сплавів, але у більшій кількості (до 9...13 % для кожного компонента). Промисловість виробляє ливарні алюмінієві сплави (АЛ) марок від АЛ1 до АЛ33. при маркуванні цих сплавів літера А означає, що сплав алюмінієвий, літера Л – що сплав ливарний, а цифра –

порядковий номер сплаву. За хімічним складом ливарні алюмінієві сплави можна поділити на кілька груп. Наприклад, алюміній з кремнієм (АЛ2, АЛ4, АЛ9) або алюміній з магнієм (АЛ8, АЛ13, АЛ22 та інші).

Типовими є сплави системи Al-Si (10...13 % Si) – силуміни. Розчинність Si в Al мала (0,8 % при 500 °C; 0,05 % при 20 °C). Тому сплави, які складаються лише з Al та Si, практично не зміцнюються термічною обробкою і в системі Al-Si можуть бути сплави, що частково або повністю складаються з евтектики. Введення в силуміни Cu, Mg сприяє зміцненню сплаву при старінні; Ti, Zr подрібнюють структуру; Mn покращує корозійну стійкість; Ni і Fe підвищують жаростійкість.

Властивості алюмінієвих ливарних сплавів залежать від способу лиття та виду термічної обробки, швидкості охолодження при твердненні виливка і під час гартування. Для ливарних сплавів алюмінію характерна більш груба крупнозерниста структура. Це зумовлює режими їх термічної обробки. Тому для гартування силуміни нагрівають до 520...540 °C і витримують 5..10 год для більш повного розчинення включень. Штучне старіння здійснюють при 150...180 °C протягом 10...20 год. з силумінів виготовляють деталі, які працюють при невеликих (АЛ2), середніх (АЛ4) і вібраційних (АЛ8) навантаженнях, а також при підвищенні до 150...170 °C температурах (АЛ1, ОВ) тощо.

Спечені алюмінієві порошки (САП) сплави на основі Al та Al_2O_3 одержують шляхом брикетування порошку алюмінію, вакуумної дегазації брикетів з подальшим їх спіканням під тиском. Вміст Al_2O_3 у спечених сплавах алюмінію знаходиться у межах від 6...9 % (САП1) до 18...22 % (САП4). Дрібні частинки Al_2O_3 гальмують рух дислокацій у сплаві і підвищують його міцність. Жаростійкість САП матеріалів при тривалому нагріванні зберігається до 500 °C, а при короткочасному – до 1000 °C.

МІДЬ ТА СПЛАВИ НА ЇЇ ОСНОВІ.

За обсягами виробництва мідь посідає третє місце після заліза та алюмінію. Запаси її у земній корі дорівнюють 0,01 %, у сульфідних рудах ($CuFeS$ – мідний колчедан, Cu_2S – халькопірит, CuS – халькозин) – від 0,5 до 5 %. Мідь має ГЦК-кристалічну ґратку, температура плавлення становить 1038 °C, питома вага $\rho=8,9$ г/см³.

Одержують мідь із збагаченого концентрату (11...35 % Cu), який спочатку обпалюють при 600...850 °C для часткового зниження вмісту сірки, а потім для відділення від рудних домішок плавлять при 1300...1500 °C на штейн (сплав

сульфідів Cu_2S і Fe). Мідний штейн містить 16..60 % Cu , а також S і Fe . Штейн переплавляють у спеціальному конверторі з продувкою розплаву повітрям при 950...1050 °С і одержують чорнову мідь, що містить до 1...2 % домішок. Очищують чорнову мідь шляхом вогневого або електролітичного рафінування. Чиста мідь має 11 марок – М00б, М0б, М1б, М1у, М1, М1р, М1ф, М2р, М3р, М2, М3. сумарна кількість домішок у марці найвищої чистоти М00б – 0,01 %, а в марці М3 – 0,5 %.

Залежно від механічних властивостей розрізняють також тверду (нагартовану) мідь – МТ і м'яку (відпалену) – ММ. Механічні властивості чистої відпаленої міді такі: $\sigma_b = 220...240$ МПа, 40...80 НВ, $\delta = 45...50$ %, $\psi = 60...75$ %. Цінними властивостями міді є її висока електро- та теплопровідність, пластичність, низька окислюваність. Для електротехнічних потреб чисту мідь постачають у вигляді дроту, прутка, стрічки, листа, смуги і труб. Як конструкційний матеріал використовують сплави міді з оловом, цинком, алюмінієм, кремнієм, марганцем тощо. Легування міді підвищує її механічні, технологічні та експлуатаційні властивості. Залежно від хімічного складу розрізняють три основні групи сплавів міді: бронзи, латуні і сплави міді з нікелем.

Бронзи – це сплави міді з оловом, алюмінієм, марганцем, кремнієм, берилієм, свинцем. Залежно від основного легуючого елемента бронзи називають олов'янистими, алюмінієвими, берилієвими та ін. Для підвищення механічних і особливих властивостей бронзи додатково легують Fe , Ni , Ti , Zn , P , для підвищення корозійної стійкості – Mn , пластичності – Ni , міцності – Fe , оброблюваності різанням – Pb .

Маркують бронзи літерами Бр, далі літерами позначають елементи, що входять до складу бронзи: О – олово, Ц – цинк, А – алюміній, С – свинець, Ж – залізо, Мц – марганець, Б – берилій та ін. Після цього цифрами вказують середній вміст елементів у процентах (вміст міді цифрами не вказують). Наприклад, марка БрОЦ4-3 означає, що бронза містить 4 % олова, 3 % цинку, решта – мідь; БрОЦС5-5-5 – бронза містить олова, цинку та свинцю по 5 %, решта – мідь.

Олов'янисті бронзи (БрОЗ, БрО6, БрОС25-8 та ін.), залежно від вмісту олова і фазового стану, поділяють на однофазні (до 5 % Sn) із структурою α -твердого розчину і двофазні (більше 5 % Sn).

Однофазні бронзи пластичні і добре піддаються деформуванню, з них виготовляють фольгу, сітки, дріт, прутки, стрічки тощо у нагартованому (твердому) і відпаленому (м'якому) станах. Двофазні олов'янисті бронзи з

більшим вмістом олова (до 15...20 %) використовують як ливарні матеріали для виготовлення різних фасонних виливків. Їх також додатково легують цинком (4...10 %), свинцем (3...6 %), фосфором (0,4...1,0 %). Олов'яні бронзи корозійно стійкі у морській воді, NaOH, Na₂CO₃, нестійкі у розчинах HNO₃ і HCl, мають досить високі механічні властивості: $\sigma_b = 150...350$ МПа, 60...90 НВ, $\delta = 3...5$ %, добре оброблюються різанням. Олов'яні бронзи типу БрОЦНЗ-7-5 використовують для арматури, яка експлуатується на повітрі, у прісній воді, маслі, парі і при температурах до 250 °С; бронза типу БрОЦС5-5-5 – для антифрикційних деталей, арматури тощо.

Алюмінієві бронзи (4...11 % Al) мають високу корозійну стійкість, високі механічні та технологічні властивості (БрАЖ9-4, БрАЖН10-4-4, БрКМц3-1, БрС30 та ін.). Однофазні бронзи з вмістом алюмінію до 8...9 % добре обробляються тиском у гарячому і холодному стані. Двофазні бронзи з вмістом алюмінію 9...11 %, а також заліза, нікелю, марганцю мають більшу міцність, піддаються обробці тиском у гарячому стані. З алюмінієвих бронз виготовляють арматуру трубопроводів для різних середовищ (окрім морської води) і температур до 250 °С (БрАЖ9-4, БрАЖ9-4Л); деталі для експлуатації в середовищі морської води, гвинти, lopасті (БрАМц9-2Л0; втулки, підшипники ковзання (БрАМц10-2); фланці, шестерні та інші відповідальні деталі (БрАЖМц10-3-1,5).

Марганцеві бронзи (БрМц5, БрМцС20-5) мають порівняно невисокі механічні властивості, але високу пластичність, корозійну стійкість, жароміцність. З них виготовляють деталі для теплоелектростанцій, котли, вентилі, засувки, арматуру тощо.

Берилієві бронзи містять у своєму складі 2...2,5 % Be (БрБ2), мають дуже цінний комплекс властивостей: високу хімічну стійкість, теплостійкість, високий поріг пружності, добре обробляються різанням, мають високі механічні властивості: $\sigma_b = 1100...1300$ МПа, 370 НВ, $\delta = 1$ %. Берилієві бронзи гартують у воді за температур не вище 800 °С і піддають штучному старінню при 350 °С. Використовують берилієву бронзу для виготовлення виробів відповідального призначення: пружні контакти, пружини, мембрани, безіскровий інструмент для ведення вибухонебезпечних гірничих робіт.

Кремнієві бронзи містять у своєму складі 1...3 % Si (БрКН1- 3, БрКМЦ3-1), слугують заміниками олов'янистих бронз (наприклад, БрОЦС6-6-3). Вони мають високі ливарні властивості, корозійну стійкість, пружність, допускають гарячу обробку тиском і обробку різанням. З кремнієвих бронз виготовляють прутки, смугу, виливки, заготовки для виробів, які працюють за температур до

500 °С.

Свинцева бронза (БрС30) широко використовується у машинобудуванні як антифрикційний матеріал.

Латуні – це подвійні або багатокомпонентні сплави міді, у яких основним легуючим елементом є цинк (до 45 %). При більшому вмісті цинку в латуні знижується міцність і зростає крихкість. Вміст інших легуючих елементів у спеціальних латунях не перевищує 7...9 %.

Маркують латуні літерою Л, після якої цифрою вказують вміст міді у процентах (наприклад, сплав Л62 містить 62 % міді і 38 % цинку). Якщо у складі латуні окрім міді і цинку є ще інші елементи, то для їхнього позначення після літери Л пишуть початкові літери назв цих елементів (О – олово, С – свинець, Ж – залізо, Ф – фосфор). Процент вмісту кожного з цих елементів показують відповідні цифри, які стоять після кількісного показника міді в латуні. Наприклад, сплав ЛАЖ60-1-1 містить 60 % Cu, 1 % Al, 1 % Fe і 38 % Zn.

Залежно від вмісту Zn і структури при кімнатній температурі латуні поділяють на однофазні α -латуні (до 39 % Zn) і двофазні $\alpha+\beta$ -латуні (більше 39 % Zn). Якщо цинку в сплаві більше 39 %, утворюється крихка β -фаза – твердий розчин на основі електро- нної сполуки CuZn з ОЦК-граткою.

Однофазні латуні (Л62, Л68, Л80) пластичні, легко деформуються. Постачають їх у вигляді напівфабрикатів – прутки, дріт, смуга, стрічки тощо. З латуней типу Л62, Л68 виготовляють стрічки, гільзи патронів, радіаторні трубки, дріт, фольгу. Латунь марки Л80 (томпак) має колір золота. Використовують її при виготовленні ювелірних і декоративних виробів, а також для відповідальних деталей. Механічні властивості однофазних латуней (Л68, Л80, Л90) такі: $\sigma_b = 260...320$ МПа, 53...55 НВ, $\delta = 45...55$ %.

Двофазні $\alpha+\beta$ -латуні мало пластичні, і вироби з них виготовляють в основному методом лиття. З ливарних латуней виробляють арматуру, фасонне лиття, втулки (ЛС59-1Л); антифрикційні деталі (ЛМц58-2-2); корозійностійкі деталі (ЛА67-2,5); гребні гвинти, lopасті, арматуру, що експлуатується до 300 °С (ЛМцЖ55-3-1).

Додаткове легування латуней різними елементами підвищує їхні експлуатаційні властивості. Так, легування 1...2 % свинцю поліпшує оброблюваність сплаву різанням (ЛС59 – автоматна латунь); олово підвищує корозійну стійкість у морській воді; алюміній і нікель підвищують механічні властивості. ЛАН59-3-2).

Сплави міді з нікелем (основний легуючий елемент) використовують як конструкційні та електротехнічні матеріали.

Куніалі (Cu-Ni-Al) містять у своєму складі до 15 % Ni, 1,5...3 % Al, решта – мідь. Такі сплави піддають термічній обробці – гартуванню з наступним старінням. Куніалі використовують для виробництва деталей підвищеної міцності, виготовлення пружин, а також різних електромеханічних виробів.

Нейзильбери (Cu-Ni-Zn) містять у своєму складі до 15 % Ni, до 20 % Zn, решта – мідь. Мають колір близький до срібла, стійкі до атмосферної корозії. Ці сплави використовують у приладобудуванні, виробництві годинників.

Мельхіори (Cu-Ni+ невеликі добавки до 1 % Fe і Mn) мають високу корозійну стійкість, зокрема у морській воді. Використовуються для виготовлення теплообмінних апаратів, посуду, декоративних штампованих і карбованих виробів.

Копель (Cu-Ni-Mn) містить у своєму складі 45 % Ni, 0,5 % Mn, решта – мідь. Сплав з високим питомим електроопором використовують в електротехніці, а також для виготовлення електронагрівальних елементів.

Манганін (Cu-Ni-Mn) – МНМц3-12 відносять до реостатних сплавів, використовують в електротехніці. Таке саме застосування має і константан.

Константан (Cu-Ni-Mn) – 40...43 % Ni, 0,5...1,5 % Mn, решта – мідь (МНМц40-1,5).

ТИТАН, МАГНІЙ ТА ЇХ СПЛАВИ.

Титан – сріблясто-сірий метал з температурою плавлення 1672 °С, з малою питомою вагою ($\rho = 4,5 \text{ г/см}^3$) і високою корозійною стійкістю належить до перехідних металів четвертої групи періодичної системи елементів. Механічні характеристики титану такі: $\sigma_{\text{в}} = 270 \text{ МПа}$, 100...140 НВ, $\delta = 25 \text{ \%}$. Міцність технічно чистого титану залежить від чистоти металу. Домішки вуглецю, кисню, водню знижують його пластичність, опір корозії і зварюваність. Особливо шкідливими є домішки водню. Механічні властивості технічно чистого титану (марки ВТ-0, ВТ1-00, ВТ-1) знаходяться на рівні властивостей звичайних конструкційних сталей. З нього виготовляють катані і пресовані труби, лист, дріт, поковки. Він добре зварюється, має високі механічні характеристики, корозійну стійкість і жароміцність, але важко обробляється різанням, має низькі антифрикційні властивості.

Легування титану певними елементами дозволяє значно підвищити його механічні ($\sigma_{\text{в}} \geq 1500 \text{ МПа}$, $\delta = 10...15 \text{ \%}$) та спеціальні властивості. Так, Al підвищує жароміцність і механічні властивості титану, V, Mo, Cr, Mn – жароміцність.

Титан є поліморфним металом і існує у двох алотропічних модифікаціях –

α і β . Температура поліморфного перетворення дорівнює 882,5 °С. Нижче цієї температури титан має гексагональну кристалічну ґратку, а вище – ґратку об'ємноцентрованого куба. Легуючі елементи, які входять до складу промислових титанових сплавів, утворюючи з титаном тверді розчини заміщення, змінюють температуру поліморфного перетворення α - β . Такі елементи, як Al, O, N підвищують температуру перетворення, розширюють область існування α -твердого розчину на діаграмі стану (α -стабілізатори); елементи V, Mo, Cr, Mn, Fe знижують температуру перетворення (β -стабілізатори).

Залежно від структури рівноважному стані титанові сплави поділяють на α -сплави (однофазні) та β -сплави (двофазні). Так, основними промисловими сплавами титану зі структурою $\alpha + \beta$ є VT5 (4,5...5 % Al; 3,5...4,5 % V), VT8 (5,8...6,8 % Al; 2,8...3,8 % Mo). За технологічним призначенням їх поділяють на ливарні і такі, що піддаються деформуванню.

За міцністю титанові сплави поділяють на три групи:

- низької міцності з $\sigma_B = 300...700$ МПа (VT1);
- середньої - з $\sigma_B = 700...1000$ МПа (VT3, VT4, VT5);
- високої міцності з $\sigma_B > 1000$ МПа (VT6, VT14, VT15) після гартування та старіння.

Титанові сплави можна піддавати всім основним видам термічної обробки, а також хіміко-термічній обробці, змінюючи їхні властивості у потрібному напрямку. Ливарні сплави мають більш низькі механічні властивості порівняно з аналогічними деформованими. Для лиття використовують сплави, що відповідають хімічному складові сплавів VT5, VT14, маркують їх з додаванням літери Л (VT5Л, VT14Л), або спеціальні ливарні сплави.

Титан та його сплави використовують в авіації та ракетобудуванні, хімічній промисловості, суднобудуванні і кріогенній техніці.

Магній – найбільш легкий з кольорових технічних металів – ($\rho = 1,75$ г/см³), не має алотропічних перетворень. Температура плавлення магнію 650 °С. Технічно чистий магній має низькі механічні властивості ($\sigma_B = 180$ МПа, 30 НВ, $\delta = 5$ %), схильний до самозапалювання, тепло- та електропровідність його низькі. Використовується в техніці у вигляді сплавів. До складу магнієвих сплавів входять Al, Mn, Zn, Zr. При цьому міцність зростає до 360...520 МПа. Сплави магнію поділяють на: деформовані та ливарні.

Деформовані магнієві сплави призначені для виготовлення напівфабрикатів (пруток, лист, профіль) обробкою тиском. За нормальних температур магній деформується погано. Для підвищення пластичності його

сплавів застосовують обробку тиском при 360...520 °C залежно від марки сплаву. Такі сплави маркують літерами МА і цифрами (МА1, МА2-1, МА14), які означають порядковий номер сплаву.

Сплав МА1 (містить 1,3...2,5 % Mn) має добру технологічну пластичність, зварюваність і корозійну стійкість. Відноситься до сплавів низької міцності. Додаткове легування його цезієм, приблизно 0,2 % (МА8), подрібнює зерно, підвищує механічні властивості та здатність до холодної деформації. Сплав МА2-1 належить до системи Mg-Al-Zn, має досить високі механічні властивості і технологічну пластичність. Піддається всім видам листового штампування та прокатування. З деформованих магнієвих сплавів виготовляють деталі літаків, автомобілів і прядильних верстатів.

Ливарні магнієві сплави використовують для виготовлення деталей методом лиття. Їх маркують літерами МЛ і цифрами, що означають порядковий номер сплаву (МЛ5, МЛ:, МЛ-10, МЛ-12). Наприклад, сплави МЛ5 і МЛ6 належать до системи Mg-Al-Zn. Найпоширенішими з цієї групи сплавів є МЛ5 (7,5...9 % Al; 0,2...0,8 % Zn; 0,15...0,5 % Mn). Виливки з магнієвих сплавів іноді піддають гартуванню з наступним старінням. Деякі сплави МЛ застосовують для високо навантажених деталей авіаційної промисловості (картери, корпуси приладів, форми шасі тощо). З огляду на низьку корозійну стійкість магнієвих сплавів вироби з них піддають оксидуванню з наступним нанесенням на них лакофарбових покриттів.