

УДК 621.74

RECEPTION OF FUNCTIONAL MATERIALS ON THE BASIS OF SECONDARY COPPER

ОДЕРЖАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ НА ОСНОВІ ВТОРИННОЇ МІДІ

Shcheretsky A.A. / Щерецький О.А.

d.t.s., senior researcher / д.т.н., ст. наук. співроб.

National Academy of Sciences of Ukraine, Kiev

Національна академія наук України

Doskich Y.Y. / Доскич Ю.Ю.

Генеральний директор, ТЗДВ «Гал-Кат», Львів, Україна

General manager, Tzdv «Gal-Kat» Lviv, Ukraine

Chervonyi I.F. / Червоний І.Ф.

d.t.s., prof. / д.т.н., проф.

***Анотація.** В роботі розглядається використання вторинної міді для утворення різноманітних сплавів. Наводяться особливості мідних сплавів та вплив різних добавок на їх властивості. Відмічена важливість застосування покривних і рафінуючи флюсів для отримання якісних сплавів на основі вторинної міді*

***Ключеві слова:** мідь, вторинна сировина, рафінування, домішка, модифікування, зерно, сплав, технологія, лиття, розплав*

Вступ.

Серед кольорових металів мідь займає особливе місце через високу електропровідності і теплопровідності. За електропровідності мідь поступає тільки сріблу і тому є найважливішим матеріалом в електро- і радіотехніці. Вона володіє також високу корозійну стійкістю, технологічністю, порівняно низькою вартістю. Ці властивості м сприяють широкому застосуванню в промисловості міді, як в чистому вигляді, так і у вигляді різних сплавів.

Перша поява виробів з міді археологи відносять до VII тис. до н.е. Це були ковані предмети з самородної міді. Потім з'являється металургійна мідь і сплави міді з іншими металами. На протязі декількох тисячоліть в основному з міді та її сплавів виготовлялися особисті предмети: знаряддя праці, зброю, прикраси і дзеркала, посуд, монети. Склади древніх сплавів дуже різноманітні, в літературі їх умовно називають бронза. До найбільш раннім сплавів ставляться миш'яковисті і олов'яні бронзи. Крім олова і миш'яку в древніх сплавах часто присутній свинець, цинк, сурма, залізо та інші елементи у вигляді мікродомішок, які потрапляли в метал з рудою.

Склад сплаву підбирався дуже раціонально залежно від функціонального призначення предмета і використовуваної техніки виготовлення. Так, для лиття художніх виробів був обраний рецепт потрібного сплаву мідь-олово-свинець, що застосовувався в античній Греції, в Римській імперії, на Близькому і Середньому Сході, в Індії; в Китаї бронза була одним з самих розповсюджених сплавів. На литих предметах з такою бронзи з часом утворюється красива патина, яка в деяких випадках зберігається і на археологічних предметах.

З багатьма елементами мідь утворює широкі області твердих рас-творити заміщення, в яких атоми добавки займають місця атомів міді в гранецентрованих кубічних решітках. Мідь у твердому стані розчиняє до 39% Zn, 15,8% Sn, 9,4% Al, а Ni - необмежено. При утворенні твердого розчину на основі міді зростають її міцність і електричний опір, знижується температурний коефіцієнт електроопору, може значно підвищитися корозійна стійкість, а пластичність зберігається на досить високому рівні. При додаванні легуючого елемента понад межі розчинності утворюються сполуки, зокрема електронні, тобто характеризуються певною електронною концентрацією (відношенням сумарного числа валентних електронів до числа атомів, яке може бути одно $3/2$, $21/13$ або $7/4$). Цим з'єднанням умовно приписують формули CuZn , Cu_5Sn , $\text{Cu}_{31}\text{Sn}_8$, Cu_9Al_4 , CuBe і інші.

1. Особливості мідних сплавів. У багатокомпонентних мідних сплавів часто присутні складні металеві з'єднання невстановленого складу, які значно твердіше, ніж розчин на основі міді, але вельми крихкі (зазвичай в двофазних і багатофазних мідних сплавів частка їх у структурі набагато менше, ніж твердого розчину на основі міді).

Мідні сплави отримують сплавленням міді з легуючими елементів-тами або з проміжними сплавами - лігатурами, що містять елементи для легування.

Для розкислення (відновлення оксидів) широко застосовують введення в розплав малих добавок фосфору (десяті частки%). Мідні сплави поділяють на ливарні і ті, що деформуються.

З мідних сплавів, які деформуються, відливають (в виливниці або непереривчастим методом) круглі і плоскі злитки, які піддають горячій і холодній обробці тиском: прокатці, пресуванню через матрицю або волочіння для виробництва листів, стрічок, прутків, профілів, труб і дроту.

Мідні сплави добре обробляються тиском, і деформованні напівфабрикати складають основну частину загального обсягу їх виробництва.

Ливарні мідні сплави володіють хорошими ливарними властивостями, з них відливанням в земляні та металеві форми отримують фасонні деталі, а також декоративно-прикладні вироби і скульптури.

2. Вплив різних домішок на властивості міді. Домішки, навіть у незначних кількостях, різко знижують електропровідність міді (рис. 2.1), роблячи її малоприсадною для провідників струму, по-цьому в якості електротехнічної міді застосовуються лише дві її марки (М0 і М1) по ГОСТ 859-66.

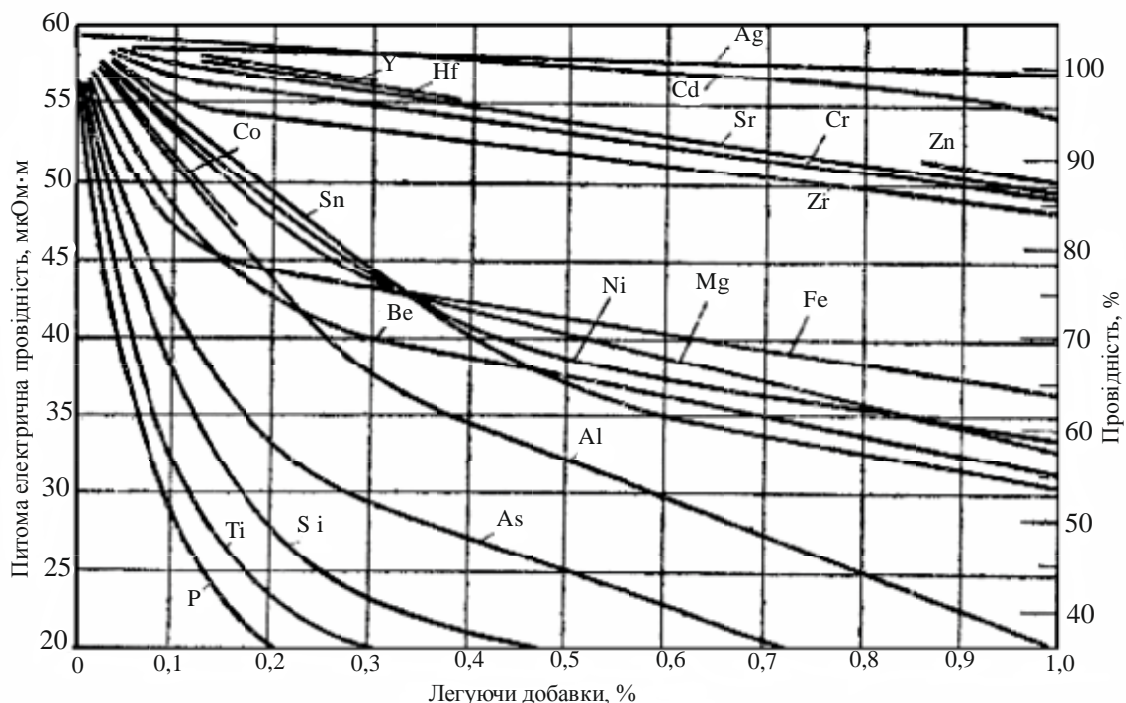


Рисунок 2.1. Вплив домішок на електропровідність міді

Як видно на рис.2.1, домішки всіх елементів і особливо сильно P, As, Sb, Al, Fe, Sn, знижують електропровідність міді.

Сприятливий вплив кисню на електропровідність міді при утриманні його в межах 0,02...0,08 % можна пояснити тим, що залишається при плавлі в міді кисень сприяє більш повному видаленню водню та інших (окислюються) домішок з розплаву.

Будучи майже нерозчинним в міді при кімнатній температурі, весь кисень, що міститься в міді, знаходиться у вигляді відокремлених кулястих твердих і тендітних частинок CuO , що утворюють з міддю евтектики.

У структурі литої міді ланцюжки або тонко мережеві ділянки суміші $\text{Cu}_2\text{O}+\text{Cu}$ розташовуються між кристалами Cu , що знижує пластичність (оброблюваність тиском) міді як в гарячому, так і в холодному стані. Ще більш руйнівний (вплив при обробці тиском оказують місцеві скупчення Cu_2O , що утворюються в результаті прорив плівок закису при розливанні в форми.

Мідь має сильно виражену хімічну спорідненість до кисню. Як і поверхню тільки що залитої в форму міді має гарний колір морської води. Буквально через кілька секунд поверхню рідкої міді втрачає свій колір і блиск, стає біло-матовою і покривається плівкою закису Cu_2O .

При нагріванні зливків міді і при відпалі при температурах не вище $900\text{ }^\circ\text{C}$ кисень глибоко в мідь не проникає.

Алюміній необмежено розчинний в розплавленій міді; в твердому стані розчинність його дорівнює 9,8 %. Алюміній підвищує корозійну стійкість міді, зменшує окислюваність і знижує електропровідність і теплопровідність міді.

Берилій знижує електропровідність міді, підвищує механічні властивості і різко зменшує окислюваність міді при підвищених температурах.

Вісмут практично не розчинний в міді. При підвищеному вмісті вісмуту мідь робиться крихкою; на електропровідність міді вісмут значного впливу не робить.

Залізо незначно розчиняється в міді в твердому стані. При $1050\text{ }^\circ\text{C}$ до 3,50 % заліза входить в твердий розчин, а при $635\text{ }^\circ\text{C}$ розчинність його падає до 0,15 %. Під впливом заліза підвищуються механічні властивості міді, різко знижуються її електропровідність, теплопровідність і корозійна стійкість.

Кисень дуже мало розчинний в міді в твердому стані. Він є шкідливою домішкою, тому що при підвищеному його вмісті помітно знижуються механічні, технологічні та корозійні властивості міді.

Водень значно впливає на мідь. Розчинність його в міді залежить від температури: від 0,06 до 13,6 см³/100гр металу при температурі 500 і 1500 °С, відповідно. Особливо руйнівний вплив водень надає на мідь, що містить кисень. Така мідь після відпалу в водні або відновлювальній атмосфері, що містить водень, робиться крихкою і розтріскується, внаслідок утворення водяної пари реакції водню з закисом міді. Водяні пари, що утворилися, не дифундують і не дисоціюють і, маючи високий тиск, руйнують мідь.

Миш'як розчинний в міді в твердому стані до 7,5 %. Він значно знижує електропровідність і теплопровідність, але значно підвищує жаростійкість міді.

Свинець практично не розчиняється в міді в твердому стані. Значного впливу на електропровідність і теплопровідність міді він не оказує, але значно покращує її різанням.

Срібло не впливає на технічні властивості міді, мало впливає на її електропровідність і теплопровідність.

Сурма розчинна в міді в твердому стані при температурі евтектиці 645 °С до 9,5 %. Розчинність її різко зменшується при зниженні температури. Сурма значно знижує електропровідність і теплопровідність міді.

Сірка розчиняється в розплавленій міді, а при затвердінні її розчинність знижується до нуля. Сірка має незначний вплив на електропровідність і теплопровідність міді, помітно знижує пластичність. Під впливом сірки значно поліпшується оброблюваність міді різанням.

Фосфор обмежено розчинний в міді в твердому стані; межа на-насичення твердого α -розчину при температурі 700 °С досягає 1,3 % фосфору, а при 200 °С він знижується до 0,4 %. Фосфор значно знижує електропровідність і теплопровідність міді, але позитивно впливає на механічні властивості і зварюваність, підвищує текучість.

Телур розчинний в міді в твердому стані до 0,01 %. На електропровідність міді телур значного впливу не робить.

Селен мало розчинний в міді в твердому стані - до 0,1 % і виділяється при затвердінні в вигляді з'єднання Se_2O . Вплив на мідь аналогічно впливу сірки.

Хороші результати можна отримати при наплавленні під флюсом плавкого електроду, що подається автоматичної голівкою, що здійснює коливання в площині, перпендикулярній до поступового руху. Сталеву поверхню можна охолоджувати з боку, протилежного на плавці, або охолоджувати безпосередньо метал наплавлення водо охолоджуваними пристроями.

При наплавленні міді в середовищі аргону, що плавиться слід виконувати аналогічні умови. При зварюванні міді зі сталлю електрод, що плавиться, треба відхиляти в сторону міді, так як магнітне дуття в процесі зварювання буде повертати дугового розряд на зварювані кромки. При зварюванні необхідно застосовувати мінімальні струми, що забезпечують формування зварного шва. Зварювання біметалу мідь-сталь можна здійснювати з боку плакуючого шару або з боку стали.

У першому випадку неминучі видалення плакуючого шару на кромках, що стикаються, зварюванні стали, зачистка отриманого шва і наплавка міді на сталь для відновлення плакуючого шару. При можливості зварювання з боку стали плакують мідний шар в зоні зварювання не видалюють; після зварювання стали виробляють заварку стику на плакуючому шарі будь-яким способом.

3. Особливості технології міді. Плавка і лиття злитків червоної міді, що призначаються для обробки тиском, має такі особливості. Основна маса мідних злитків для отримання напівфабрикатів раз-особистого призначення відливається на видобувних і рафінуючих заводах. Виробництво листів, стрічок, прутків, профілів, труб, дроту, тонкостінних штампованих виробів і інш. вимагає, щоб вихідний злиток був високої якості. Дуже жорсткі, але обґрунтовані вимоги пред'являються до злитків міді, які призначені для виготовлення електричних проводів (шин, дроту, тролей, з'єднувачів і т.д.).

Виливок великих мідних злитків топкової міді в минулому проходило так: на підлозі ливарного цеху лежала чавунна плита, на ній встановлювалася чавунна збірна бездонна форма, стінки якої змащували або вапняним молоком, або кістяний борошном з водою, або органічної мастилом. Після висихання змазування виливниць заповнювалася металом; на нижній по-поверхні злитка, стикалася з чавунним піддоном, де мастило частково змивалася струменем металу, спостерігалися бульбашки, а іноді і приварювання, і тоді злиток з великими труднощами відривали від піддону.

4. Плавка і лиття мідно-цинкових сплавів. Мідноцинкові, або латунні, сплави мають широке і досить різноманітне застосування в техніці. Латунь виготовлялася ще за 1500 років до н.е. За повідомленнями Арістотеля (4 ст. до н.е.), латунь вперше почали готувати моссінекі, що жили на узбережжі Чорного моря на захід від Трапезунда. За пізнішими описами моссінекська мідь відрізнялася надзвичайним блиском і білизною. При по-одержанні її домішували до міді особливий сорт тамтешньої землі, яка плавилася разом з міддю. З упевненістю можна вважати, що до міді додавали галмей (або каламін) і отримували при цьому латунь.

До 1781 р. латунь готували шляхом сплавлення міді з цинковою рудою (галмея) і деревним вугіллям. Отримання латуні шляхом сплавлення міді та цинку було введено в виробництво лише в 1781 р.

Висока міцність і корозійна стійкість спеціальних латуней є головною причиною того, що ці латуні знаходять широке застосування в якості заміників оловянистих бронз навіть при виготовленні статуй. При виготовленні зі спеціальних латуней литих фасонних деталей, що працюють в зіткненні з морською водою, необхідно мати на увазі, що за наявними даними ці латуні при наявності внутрішніх напружень володіють чутливістю до морської води, що може призвести до їх передчасного руйнування.

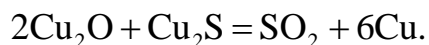
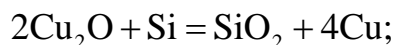
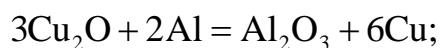
5. Виробництво сплавів на основі вторинної міді. Найбільш раціональним варіантом використання брухту і відходів міді і її сплавів є їх

металургійна переробка на сплави. При цьому витягуються в готову продукцію все цінні складові початкової сировини. Для отримання кондиційних сплавів необхідно застосування якісної вторинної сировини. На підприємствах вторинної кольорової металургії при переробці брухту та відходів міді та її сплавів отримують олов'яні і без олов'яні бронзи та латуні. Частка бронзи і латуней становить, відповідно, 62...64 і 33...34% від загального обсягу виробництва мідних сплавів із вторинної сировини.

При виплавці сплавів застосовують покривні і рафінуючі флюси. Покривні флюси утворюють на поверхні ванни металу захисний шар, який оберігає розплавлений метал від контакту з пічними газами, скорочує сублімацію летючих компонентів, знижує вміст газів в сплаві. Покривні флюси в рідкому стані здатні розчиняти оксиди. Їх завантажують в піч зі стружкою і іншими відходами. Рафінуючі флюси застосовують для видалення з рідкого металу шкідливих домішок. При виробництві значної частини сплавів на мідній основі шкідливими домішками є алюміній, кремній, залізо, сурма. До складу рафінуючих флюсів входять хімічно активні речовини, які переводять домішки в нерозчинні в рідкому металі з'єднання. Останні потім ошлаковуються - переходять в шлак. Залежно від виду сировини, що переробляється в якості компонентів флюсів використовують кальциновану соду, плавиковий шпат, сульфат натрію, буру, фтористий натрій, бій скла, деревне вугілля, галогеніди лужних металів і ін. Витрата флюсів коливається від 0,5...1,0 до 3...5 % від маси шихти.

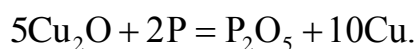
6. Рафінування мідних сплавів. Рафінування мідних сплавів проводять з метою зниження розчинних газів (водню, кисню) і видалення зважених включень і домішок (заліза, сірки, алюмінію, кремнію, марганцю і ін.).

Більшість шкідливих домішок в мідних сплавах видаляють шляхом продувки розплаву повітрям, парою або подачі мідної окалини. Закис міді, яка утворена або надійшла з окалиною, окисляє метали-домішки і сірку за реакціями



Окислювальне рафінування проводять при температурі 1100...1160 °С. Витрата твердих окислювачів становить 0,5...1,0 % від маси розплаву. Для прискорення процесу рафінування окислювачі втручаються в розплав. Продування рідкого металу повітрям і парою призводить до інтенсивного окислення і сублімації цинку, в меншій мірі олова, тому цей метод рафінування застосовується до бронзи, в яких вміст цинку не перевищує 3 %.

Для відновлення розчиненої в мідних сплавах закису міді використовують розкислювачі: фосфор, літій, бор, кальцій і ін. Але найбільш широко застосовним розкислювачем є фосфор, що вводиться у вигляді фосфористої міді (8...15% P). Контроль здійснюється шляхом утворення п'ятиокиси фосфору, переганяється при 359 °С



Для мідних сплавів застосовують і комбіноване розкислення. Так, в разі олов'янистих бронз більшу частину кисню видаляють фосфором, а залишки кисню - за рахунок присадки літію. При цьому отримують метал з дрібнозернистою структурою і підвищеними механічними властивостями. Для підвищення ефективності та спрощення використання літію як розкислювача, доцільно використовувати літієві патрони - герметичні циліндри з міді, наповнені літієм (5...100 г), літієві патрони вводять в готовий для розливання метал, потім сплав перемішують, відстоюють на протязі 2...3 хв. і розливають.

Розкислення фосфором розплавлених латуней практично недоцільно, так як цинк мідьцинкового сплаву має високу спорідненість до кисню.

Інше важливе джерело водню - вуглеводи, присутні в відновлювальній атмосфері полум'яних нічим. Помітна дисоціація метану починається з 500 °С, при 800 °С дисоціюють близько 40 % метану.

Для скорочення газонасичення металу воднем в плавильні печі повинна надходити суха шихта, процес плавки слід вести при слабо окислювальній або нейтральній атмосфері. Дегазація мідних сплавів в основному зводиться до видалення з розплаву водню, так як із загальної кількості розчинених газів на його частку припадає 95...98%. Для дегазації сплавів на мідній основі застосовують продування розплаву інертними газами: азотом, аргоном. Установка для дегазації мідних сплавів складається з ковша для рідкого металу, вакуумної камери і системи подачі азоту або аргону. У днище ковша встановлені пористі втулки, через які вдувають інертний газ під тиском 200...300 кПа. Втулки (пористі елементи) виготовляють з вогнетривкої маси, до складу якої можуть входити графіт, корунд, карборунд і глина. Продування інертним газом протягом 6...10 хв. дозволяє знизити в 2...4 рази утворення водню в сплаві.

Простим і ефективним методом рафінування сплавів від неметалевих включень є фільтрація. У якості зернистих фільтрів можна використовувати подрібнений алунд, магнезит, плавлені фториди кальцію і магнію. Товщина фільтруючого шару складає 60...150 мм, розмір зерна 5...10 мм. Фільтрація дозволяє в два-три рази знизити вміст в сплаві неметалічних включень. При фільтрації відбувається також часткова дегазація металу.

Мідь використовують в хімічному та енергетичному машинобудуванні зважаючи на високу електро- і теплопровідність, високу корозійну стійкість в деяких агресивних середовищах. Всі ці властивості тим вище, чим вище чистота металу, що висуває особливі вимоги до зварювання виробів з чистої міді. Сварка бронзи і латуней має свої особливості, але властивості чистої міді в цих сплавах вже значно втрачені.

Рафінування проводять інертними газами при температурах розплаву 1150...1200 °С. Витрата газу 0,25...0,5 м³ на 1 т металу; тривалість продувки при тиску газу 19,6...29,4 кПа становить 5...10 хв. Хлористий марганець вводять в кількості 0,1...0,2 % від маси розплаву при 1150...1200 °С за допомогою

дзвіночка. Перед розливанням рафінований сплав витримують протягом 10...15 хв. для відділення бульбашок рафінуючого газу.

Вакуумування застосовують в тих випадках, коли сплав не містить компонентів з високим тиском пари. Стосовно до мідних сплавів цей процес ведуть при 1150...1300 °С і залишковому тиску 0,6...1,3 кПа. Тривалість вакуумування визначається масою металу, який підлягає обробці; в більшості випадків тривалість обробки не перевищує 20...25 хв.

Очищення олов'яних бронз і латуней від домішок алюмінію і кремнію ведуть в ряді випадків шляхом введення в розплав окислювачів (MnO, мідної окалини) або продувкою повітрям. Окислювальне рафінування проводять при 1180...1200 °С. Витрата окислювачів становить 0,5...1,0% від маси расплаву. Для прискорення процесу очищення окислювачі замішують в розплав.

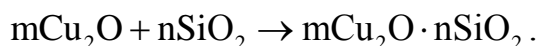
Обробку розплавів флюсами застосовують в основному для очищення від зважених неметалічних включень. Найбільш високими рафінуючими властивостями володіють фторидні флюси, зокрема суміш фторидів кальцію і магнію. Перед рафінуванням розплав нагрівають до 1150...1250 °С, знімають шлак і на дзеркало металу засипають порошок переплавленого і подрібненого флюсу в кількості 1,5...2,0% від маси металу.

Протягом 8...15 хв. флюс перемішують з металом, що забезпечує найкраще видалення суспензій. Перед заливанням для більш повного спливання крапель флюсу розплав витримують протягом 10...15 хв. при температурі заливки. Обробку флюсами застосовують також для видалення шкідливих домішок з олов'яних і алюмінієвих бронз. Наприклад, флюс, що складається з 33 % Cu_2O , 34 % SiO_2 і 33 % $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$, використовують для очищення олов'яних бронз від алюмінію і кремнію.

Оптимальним методом очищення від неметалічних включень сплавів, що містять в своєму складі такі легко окислювальні елементи, як алюміній, титан, цирконій і берилій, є фільтрування. Для цієї мети використовують зернисті фільтри. Для зернистих фільтрів можна рекомендувати такі матеріали, як магнезит, алунд, плавлені фториди кальцію і магнію. З сольових розплавів для

цілей рафінування найбільш придатні чисті фториди або їх суміші. Товщину фільтруючого шару приймають рівної 60...150 мм, а розмір зерна фільтра 5...10 мм в діаметрі. Зернисті фільтри перед фільтруванням нагрівають до 700...800 °С. Встановлено, що фільтр з фториду кальцію з розміром зерен 5...10 мм в поперечному перерізі і товщиною 70...100 мм дозволяє в 1,5...3 рази знизити вміст неметалевих включень в розплаві, в порівнянні з плавкою без фільтрації. Так само як і в разі алюмінієвих сплавів, фільтрування розплаву бронзи через зернисті фільтри супроводжується укрупненням макрозерна, підвищенням пластичних і втомних характеристик, деякою знижкою вмісту газу.

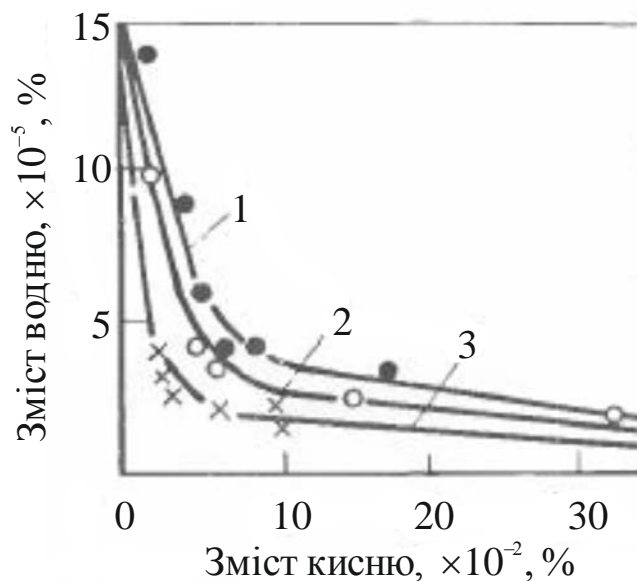
7. Особливості плавки мідних сплавів. Плавку міді ведуть на повітрі, в середовищі захисних газів і в вакуумі. При плавці на повітрі мідь окислюється. Закис (Cu_2O) розчиняється в рідкій міді. Вміст кисню в розплаві визначає вибір складу футерування плавильних печей. Для плавки міді з підвищеним вмістом кисню використовують футерування з магнезиту Застосування футеровки з кремнезему SiO_2 в цьому випадку неприпустимо через можливе оплавлення її при взаємодії з закисом міді з утворенням легкоплавких силікатів



Розплавлена мідь взаємодіє з сірчистим газом з утворенням сульфїду Cu_2S і інтенсивно розчиняє водень (до 24 см^3 на 100 г). Між вмістом кисню і водню в розплавленій міді встановлюється динамічна рівновага, що характеризується діаграмою Аллена (рис. 7.1).

Взаємодія з газами йде тим інтенсивніше, чим вище температура перегріву розплаву. Для оберігання від окислення і поглинання водню плавку міді ведуть під покривом деревного вугілля, в відновлювальній або захисній атмосфері. Необхідною умовою застосування деревного вугілля є ретельна сушка, а в ряді випадків прогартовує його для видалення адсорбованої вологи і продуктів сухої перегонки. Однак і при дотриманні всіх запобіжних заходів окислення все ж відбувається; деяка кількість кисню виявляється в міді після розплавлення.

Вміст кисню в розплавленій міді може бути визначено по його активності. Цей метод заснований на вимірюванні електрорушійної сили високотемпературного концентраційного (по кисню) гальванічного елемента, одним з електродів якого служить досліджуваний розплав. Другим електродом є електрод з відомим постійним окислювальним потенціалом. Вміст кисню у твердій міді визначають металографічним шляхом по площі, займаній евтектикою ($\text{Cu}+\text{Cu}_2\text{O}$) або методом вакуум-плавлення.



1 - 1350 ° C; 2 - 1250 ° C; 3 - 1150 ° C

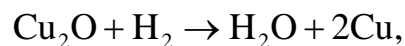
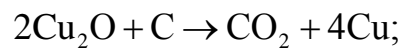
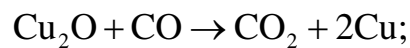
Рисунок 7.1. Діаграма рівноваги між киснем і воднем в міді при різних температурах

Для видалення кисню мідь розкисляють. Використовують кілька способів очищення розплавленої міді від кисню: «дразненням», вакуумну переплавку, розкислення нерозчинними поверхневими і розчинними раскислителями, фільтрування через шар розпеченого деревного вугілля

Видалення кисню дразненням є обов'язковою операцією в процесі вогневого рафінування міді від металевих домішок як на заводах первинної металургії, так і при переплавки скрапу і відходів. Дразненню піддають мідні розплави, що пройшли вогневе (окисне) рафінування і містять 3...7 % закису міді. Для цього з поверхні розплаву знімають шлак, засипають на неї шар деревного вугілля і створюють в печі відбудовну атмосферу. Дразненням

здійснюють зануренням в розплав сирової деревини. Водяна пара і продукти сухої перегонки, виділяються при цьому, інтенсивно перемішують і розбризкують розплавлену мідь, викидаючи краплі розплаву в відновну атмосферу.

Під час дразнення відбувається відновлення окисленої міді по реакціях



в результаті чого вміст кисню в міді поступово знижується. Хід процесу розкислення контролюють за показаннями концентраційного елемента, встановленого в печі, або відбором технологічних проб на злам або усадку.

Окислена мідь має в зламі грубу структуру темно червоного (цегляного) кольору і кристалізується з утворенням зосереджених (концентрованих) раковин; світло-рожевий дрібно кришталевий злам з великою кількістю газових раковин і випинання металу при кристалізації - показники того, що метал «передражнили» (містить багато водню). Оптимальному розкисленню відповідає дрібно кришталевий світло-рожевий злам з рівною без спучування і раковин поверхні проби.

Плавка в вакуумі, яка використовується для отримання без кисневої міді, дозволяє в результаті дисоціації закису міді знизити вміст кисню до 0,001 %.

Видалення кисню з допомогою розкислювачей широко застосовується при плавці міді на повітрі. Для цього в розплав вводять речовини, що мають більшу спорідненість до кисню, ніж мідь. Як поверхневі розкислювачі використовують карбід кальцію CaC_2 , борід магнію Mg_3B_2 , вуглець і борний шлак ($\text{B}_2\text{O}_3 \cdot \text{MgO}$). Відновлення міді може йти по реакціях



Витрата поверхневих раскислителей становить 1...3 % від маси розплаву. З розчинних розкислювачів найчастіше застосовують фосфор, який вводять у вигляді лігатури мідь-фосфор (9...13 % P). Залежно від вмісту кисню в міді кількість фосфору беруть в межах 0,1...0,15 % від маси розплаву. Відновлення міді може супроводжуватися утворенням пара P_2O_5 і одночасно $CuPO_3$, що знаходиться при температурах рафінування в рідкому стані, т.е. утворюються оксид і сіль легко видаляються з розплаву. Мідь, використовувану для електротехнічних цілей, розкисляють літієм (0,1 %), так як надлишок фосфору різко знижує її електропровідність. Використання для розкислення міді вугільних фільтрів засноване на взаємодії Cu_2O з вуглецем по реакції, яка розглянута вище.

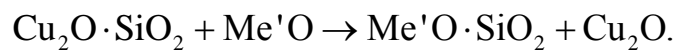
Плавку без кисневої міді ведуть в індукційних печах із залізним сердечником в середовищі сухого, обезпиленого генераторного газу під шаром деревного вугілля (100...150 мм) або в вакуумних високочастотних печах. Генераторний газ повинен містити більше 25 % CO, менше 5 % CO_2 , не більше сотих часток відсотка водню і кисню, решта азот. Обезпилювання газу виробляють в циклоні, а сушку - в колонці, наповненій хлористим кальцієм.

Шихтою для виплавки безкисневої міді служать катодні листи марки M0 (99,95 %) і відходи безкисневої міді (не більше 15 % від маси шихти). Перед завантаженням в піч катодні листи розрізають, промивають від залишків електроліту і просушують. Розливання безкисневої міді ведуть в атмосфері захисного газу або в вакуумі. Температура металу при литті 1170...1180 °C.

Плавку міді, що містить металеві домішки, ведуть в відбивних печах ємністю 20...50 т. Футеровку печей вище рівня металу виконують з магнезиту. Подина печі - кварцова, набивна. Набивання падини виробляють сухим піском з добавкою невеликої кількості міді або мідної окалини. Шихтою для плавки служать всілякі відходи (обрізки, відходи виробництва, промисловий і побутовий брухт). Особливість плавки - окислювально-відновне рафінування з метою видалення шкідливих домішок. Окислення домішок досягається створенням в печі окисної атмосфери і продувкою розплаву повітрям. Тиск

повітря (98...490 кПа) і тривалість продувки (30...60 хв.) визначається обсягом розплаву і глибиною плавильної ванни. Для прискорення окислення в розплав вводять окислювачі (оксиди, нітрати) або продувають його киснем. Закис міді, яка утворюється при цьому, розчиняється в розплаві і тим самим приносить кисень до домішок. Оскільки домішки володіють більш високою спорідненістю до кисню, окислюючись, вони відновлюють мідь. Оксиди домішок переходять в шлак. Енергійне перемішування прискорює ошлакування.

Шлаки мідної плавки багаті закисом міді. Для зменшення вмісту міді до складу шлаку вводять оксиди, у яких основність вище, ніж у Cu_2O , і які могли б витіснити Cu_2O з шлаку в метал по реакції



Такими оксидами є CaO , MnO , FeO і ін. В практиці виробництва мідних сплавів для цієї мети найчастіше використовують основний мартенівський шлак, що містить 25...40 % CaO , 10...15 % FeO , 10...15 % Al_2O_3 , 8...12 % MnO і 25...30 % SiO_2 в кількості 1,5...2,0 % від маси шихти. Для розрідження шлаку в нього вводять присадки плавикового шпату (CaF_2), соди або кріоліту. Окислення ведуть до тих пір, поки вміст Cu_2O в міді не досягає 6...8 %. Про закінчення окисного періоду судять по зламів проб. Щільний, великокришталевий злам цегляно-червоного кольору свідчить про те, що окислення пройшло досить повно.

Після видалення шлаку мідь розкисляють дразненням. Тривалість операції (1...1,5 год.) визначається обсягом металу. Поверхня розплаву в цей період покривають деревним вугіллям, а в печі створюють відновну атмосферу (закіптюжене полум'я). Контроль процесу розкислення в виробничих умовах здійснюють відбором проб на злам. З огляду на те що дразненням неможливо видалити кисень повністю, під час заливки виробляють додаткове розкислення фосфористою міддю (0,1...0,15 % від маси металу).

У ряді випадків для нейтралізації шкідливого впливу домішок вісмуту і свинцю мідь піддають модифікації. З цією метою в мідні розплави вводять

0,2...0,3 % (по масі) кальцію, церію або цирконію. Утворюючи тугоплавкі інтерметаліди зі свинцем і вісмутом (Ca_2Pb - 1100 °C; CePb_3 - 1130 °C; ZrPb - 2000 °C; Ce_3Bi - 1400 °C; Ce_4Bi_3 - 1630 °C), ці присадки запобігають виділення легкоплавких елементів по межах зерен .

Плавка більшості мідних сплавів на повітрі також супроводжується окисленням і насиченням воднем. Окислюються переважно легуючі компоненти, оскільки в більшості своїй вони мають більш високий ізобарний потенціал утворення оксиду, ніж мідь. З цієї причини легуючі елементи (Al, Be, Sn і ін.) розкисляють мідь, утворюючи тверді, рідкі або газоподібні оксиди. Окислення сплавів, що містять алюміній, берилій або титан, відбувається з утворенням тонкої, щільною окисної плівки на поверхні розплаву. Наявність такої плівки гальмує окислення. Оскільки окисна плівка в процесі плавки неодноразово руйнується (перемішування, рафінування, модифікування), обривки її можуть замішуватися в розплав і потрапляти в виливок. За винятком латуней і нейзильберу, розчиненню водню в яких перешкоджає високий тиск парів цинку, всі інші мідні сплави інтенсивно поглинають водень і при кристалізації схильні до газової пористості. Більшою мірою до цього схильні сплави з широким інтервалом кристалізації. Залежно від складу сплаву і умов плавки вміст водню може становити від 1,5 до 20 см³ на 100 г металу.

Для захисту від окислення плавку сплавів ведуть під покривом деревного вугілля або флюсів на основі фторидів, скла, соди та інших солей. Найбільш часто застосовують деревне вугілля. Ступінь забруднення сплавів оксидами і воднем залежить від складу атмосфери печі. Відновлювальна атмосфера сприяє отриманню більш газонасичених розплавів, ніж окислювальна.

Для запобігання забруднення розплавів твердими, нерозчинними оксидами легуючі компоненти вводять в мідь після попереднього розкислення її фосфором. Своє призначення фосфор виконує лише в тому випадку, коли його вводять в розплавлену мідь в кількості 0,1...0,15 % перед введенням інших шихтових матеріалів. Якщо ж фосфор вводять перед розливанням, розкислюючої дії він не робить, так як оксиди цинку, алюмінію, марганцю та ін.

мають більш низьку пружність дисоціації, ніж P_2O_5 , і з цієї причини не відновлюються ім. Однак введення фосфору перед заливкою сприятливо впливає на відділення неметалевих включень, так як він сприяє зниженню поверхневого натягу і підвищення рідко текучості розплаву. Для розкислення використовують також кальцій, натрій і магній в кількості 0,02...0,04 % (по масі).

Багато сплави надзвичайно чутливі до дії домішок. Так, наприклад, тисячні частки відсотка алюмінію різко знижують механічні властивості і герметичність виливків з олов'яних бронз та кременистих латуней. На алюмінієві бронзи аналогічним чином впливає домішка олова. Тому при плавці мідних сплавів особливу увагу приділяють сортуванню і підготовці відходів, використовуваних в шихту.

8. Модифікування сплавів. Подрібнення первинного зерна в мідних сплавах, що містять алюмінію-ний, досягається добавками тугоплавких елементів - Ti, V, Zr, B, W, Mo. Однак слід зауважити, що модифікуюча дія присадок тугоплавких елементів багато в чому визначається наявністю в сплаві заліза. У сплавах, які містять заліза, модифікуюча дія титану, бору та вольфраму не проявляється. Подрібнення зерна виливків зі сплавів, які містять алюмінію та заліза, може бути досягнуто лише при спільному введенні 0,05 % вказаних модифікаторів з 0,02 % бору.

Введення тугоплавких модифікаторів тягне за собою зміни і в мікроструктурі сплавів. У деяких випадках ці зміни особливо чітко виявляються після термічної обробки. Тугоплавкі модифікатори вводять в розплав за допомогою лігатур алюміній - ванадій (до 50 %), мідь-бор (3...4% B), алюміній-титан, мідь-титан і ін. В кількості 0,1...0,002 % від маси розплаву при 1200...1250 °C. Перегрів модифікованого розплаву перед заливкою вище 1180...1200 °C супроводжується огрубіння зерна. Для нейтралізації шкідливого впливу домішок вісмуту, свинцю або миш'яку в розплав вводять присадки кальцію (0,2 %), церію (0,3 %), цирконію (0,4 %) або літію (0,2 %).

Експериментально встановлено, що чим більше зародків в одиниці об'єму розплаву, тим більше кристалів утворюється, тим вони дрібніші і вище механічні властивості металу. З цієї причини в сплавах навмисно намагаються полегшити формування зародків кристалізації. Речовину, яка сприяє утворенню зародків, називають модифікатором, а саму операцію - модифікуванням.

Модифікатори по їх дії можна класифікувати на три групи:

- модифікатори, що підвищують змочуваність однієї складової сплаву інший, тобто знижують поверхневий натяг на межі між ними і тим самим полегшують утворення твердої фази, що контактує з рідкою;
- модифікатори, що є безпосередньо зародками кристалізації;
- інокулятори - модифікатори, що змінюють литу структуру за рахунок зменшення перегріву кристалізується металевого розплаву.

Модифікатори другого типу можуть бути такими в дуже рідкісних випадках - коли їх розмір і температура металевого розплаву, який модифікується, настільки близька до температури твердіння, що її буде недостатньо для розплавлення введеного в ванну модифікатора і вже кристалізованих на ньому (намерзлого) шару металу. Вже присутні в розплаві частки твердої фази (неметалеві включення або досить давно введені, а значить мають однакову температуру з розплавом, що кристалізується, частки більш тугоплавкого металу) не можуть бути зародками твердої фази, так як відповідно до другого законом термодинаміки (передача тепла від холодного до гарячого неможлива) вони просто не можуть прийняти на себе теплоту кристалізації, що виділяється при утворенні твердої фази.

В літературі часто зустрічаються ствердження про те, що зародками кристалізації можуть бути оксиди, нітриди і сульфіді. Ці ствердження представляються дуже спірними. Крім того, спірність положення про те, що сульфіді і нітриди в сталі можуть бути зародки твердої фази викликає, що на момент початку кристалізації (температура 1400...1500 °C) утворення таких сполук можливо лише в екзотичних випадках, зокрема при дуже високих концентраціях азоту і сильного нітридоутворювача (наприклад, цирконію),

також у виняткових випадках можливе виділення твердих часток CaS при обробці металу надмірно великою кількістю кальцію при високій концентрації сірки. Але навіть якщо ці включення присутні в металі, вони мають однаково з ним температуру і тому не можуть акумулювати додаткову кількість енергії, яка виділяється при кристалізації у вигляді теплоти плавлення.

Модифікування також є широко поширеним технологічним прийомом при виробництві матеріалів для такої галузі, як космонавтика.

Модифікатори третього типу - інокулятори - надають свою дію через охолодження металевого розплаву, який кристалізується. Більший темп охолодження сприяє зростанню швидкості кристалізації і зменшенню розвитку ліквідаційних процесів, що, природно, сприятливо відображаються на структурі.

Кінцевим завданням модифікування є підвищення механічних, технологічних і експлуатаційних властивостей виливків, злитків, а також одержуваних з них виробів і напівфабрикатів за допомогою подрібнення литої структури.

Дисперсність литої структури характеризується відстанню між осями першого порядку або розміром, так званого, литого зерна. Як останнє є візуально виділена на шліфі область, яка відрізняється від сусідніх ділянок кольорового відтінку і має виражені межі. Литі зерна формуються в різних теплофізичних умовах, відмінність в яких обумовлює інший напрямок і можливо значення градієнта температур і, відповідно, напрямок росту твердої фази; на стику подібних ділянок накопичується підвищена кількість лікватів і дефектів кристалічної решітки, що й обумовлює підвищення травлення цих місць і, відповідно, можливість їх візуальної ідентифікації.

Приклад виробів, в яких потрібна висока дисперсність литої структури - космічні апарати.

Лите зерно може містити в собі один або більше дендритів, направлення зростання яких власне і сприяє його формуванню. Кордон зерна не може перетинати сам дендрит, його сформував. У середині зерна осі відповідних порядків паралельні.

Оскільки розмір литого зерна залежить від співвідношення швидкостей зародження (n) і зростання (v) кристалів, то і зміну по суті спрямоване на зміну цих параметрів в потрібному напрямку. Відстань між осями першого порядку тим менше, чим нижче швидкість росту кристалів і чим більше швидкість зародження центрів кристалізації. Відповідно до теорії кристалізації в умовах мимовільного зародження кристалів швидкості їх зростання і зародження залежать не тільки від переохолодження, але і від поверхневого натягу, а на кордоні розплав-кристал і енергії активації атомів в розплаві (U)

$$n = K_1 \cdot \exp[-U_1 / (R \cdot T)] \cdot \exp[-B \cdot \sigma^3 / (T \cdot \Delta T^2)],$$

де K_1 - множник пропорційності, рівний приблизно кількості атомів в розглянутому обсязі розплаву (для однієї молі $K_1 \sim 10^{23}$); U - енергія активації атомів в розплаві; U_1 - енергія активації, яка визначає швидкість обміну атомами між двомірним зародком і розплавом ($U_1 = 0,25 \cdot U$); σ - поверхневий натяг на межі розплав-кристал; σ_1 - поверхневий натяг розплаву на периферії двомірного зародка; B - постійна речовини, $B = (2/k) \cdot [4 \cdot M \cdot T_0 / (\rho \cdot q)]^2$; M і ρ - молекулярна маса і щільність речовини кристала; q - теплота плавлення однієї молі речовини; k - постійна Больцмана; E - постійна речовини ($E \cdot \sigma^2 \sim 10^{-3} \cdot B \cdot \sigma^3$); R - газова постійна; T - температура; ΔT - переохолодження.

Утворення нової фази супроводжується появою нової поверхні рідке-тверде. Тому для того, щоб зародок міг утворитися, що необхідно, щоб зниження енергії тієї маси речовини, з якої він сформувався, перевищувало енергію, яка витрачається на утворення поверхні розділу. Тому утворення нової фази (кластера) можливо тільки при досягненні ним певного критичного радіуса. Поки зародок не досяг критичного розміру, його зростання супроводжується підвищенням енергії. Такий процес можливий тільки завдяки флуктуації.

Модифікування направлено на вирішення низки завдань:

- подрібнення макрозерна;

- подрібнення мікрозерна (дендритних осередків);
- подрібнення фазових складових евтектики, перітектік, у т.ч. крихких і легкоплавких фаз (зі зміною їх складу шляхом введення присадок, що утворюють з цими фазами хімічні сполуки);
- подрібнення первинних кристалів, що випадають при кристалізації, в до- або заевтектичних сплавах;
- подрібнення форми і зміна розміру і розподілу неметалевих включень (інтерметалідів, карбідів, графіту, оксидів, сульфідів, оксісульфідів, нітридів, фосфідів).

Одночасне вирішення всіх цих завдань часто виявляється неможливим. Так, подрібнення макроструктури часто супроводжується огрубінням мікрозерен. Разом з тим, іноді вдається одночасно домагатися досягнення кількох з перлічених цілей.

У той же час модифікування відрізняється від легування:

- меншим вмістом добавок (соті або десяті частки відсотка);
- меншою тривалістю дії модифікаторів (зазвичай 10...15 хв.), однак деякі модифікатори відрізняються тривалою дією.

Висновок.

Мідь і мідні сплави знаходять широке в різних областях примушує-лінощів. Мідь має гарну технологічність. Вона прокочується в тонкі листи, стрічку. З міді отримують тонкий дріт, трубки невеликого діаметру, вона легко полірується, добре паяється і зварюється. Мідь характеризується високими теплопровідністю і електропровідністю, пластичністю і корозійну стійкість. За електропровідності вона лише незначно поступається сріблу. Легування міді дозволяє отримувати на її основі різні технічні сплави, що володіють хорошими механічними, технологічними і експлуатаційними характеристиками. Як легуючі добавки використовують цинк, олово, свинець, алюміній, марганець, бери

Література.

1. **Хільчевський, В. В.** Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів [Текст] : Навчальний посібник / В. В. Хільчевський, С. Є. Кондратюк, В. О. Степаненко, К. Г. Лопатько. - К.: Либідь, 2002. - 328 с. - ISBN 966-06-0247-2.

2. **Ефимов, В. А.** Физические методы воздействия на процессы затвердевания сплавов [Текст] / В. А. Ефимов, А. С. Эльдарханов. - М.: Металлургия, 1995. - 272 с. ISBN 5-229-01188-2.

3. **Эльдарханов, А. С.** Процессы формирования отливок и их моделирование [Текст] / А. С. Эльдарханов, В. А. Ефимов, А. С. Нурадинов. - М.: Машиностроение, 2001. - 208 с. - ISBN 5-217-03076-3.

4. **Ефимов, В. А.** Современные технологии разливы и кристаллизации сплавов [Текст] / В. А. Ефимов, А. С. Эльдарханов. - М.: Машиностроение, 1998. - 360 с. - ISBN 5-217-02901-3.

5. Влияние легирующих элементов на свойства медных сплавов используемых для электродов контактной сварки [Электронный ресурс] : Режим выборки <http://k-svarka.com/content/vliianiie-lieghiruiushchikh-elieientov-na-svoistva-miednykh-splavov-ispol-zuiemykh-dlia-eli>. Дата выборки 02.08.2018.

6. **Бредихин, В. Н.** Медь Вторичная [Текст] : Монография / В. Н. Бредихин, Н. А. Маняк, А. Я. Кафтаненко. - Донецк: ДонНТУ, 2006. - 393 с. - Библиогр. с. 404-407. - 300 прим. - ISBN 996-8388-12-7.

7. **Биронт, В. С.** Материаловедение [Электронный ресурс] : электрон, учеб, пособие / В. С. Биронт, Т. А. Орелкина, Т. Н. Дроздова, Л. А. Быконя, Л. С. Цурган. - Электрон, дан. (9 Мб). - Красноярск : ИПК СФУ, 2008. - (Материаловедение : УМКД № 12- 2007 / рук. творч. коллектива Л. С. Цурган, Л. А. Быконя, Т. А. Орелкина). - 1 электрон, опт. диск (DVD). - Систем, требования : Intel Pentium (или аналогичный процессор других производителей) 1 ГГц ; 512 Мб оперативной памяти ; 9 Мб свободного дискового пространства ; привод DVD ; операционная система Microsoft Windows 2000 SP 4 / XP SP 2/ Vista (32 бит) ; Adobe Reader 7.0 (или аналогичный продукт для чтения файлов формата pdf). - ISBN 978-5-7638-1039-4 (комплекса). - ISBN 978-5-7638-1532-0 (пособия).

8. Некоторые сведения об истории медных сплавов [Электронный ресурс] : Режим выборки <http://art-con.ru/node/3322>. - Дата выборки 15.07.2018.

9. **Березовская, В. В.** Диаграммы состояния тройных систем [Текст] : учебное пособие / В. В. Березовская, Е. А. Ишина, Н. Н. Озерец. - 3-е изд., перераб. и доп. - Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2016. - 120 с. - ISBN 978-5-7996-1715-8.

10. Контактные сплавы на основе вольфрама, меди и серебра [Электронный ресурс] : Режим выборки <http://freepapers.ru/100/kontaktnye-splavy-na-osnove-volframa/199925.1207381.list1.html>. Дата выборки 02.08.2018.

11. **Закс, Г.** Практическое металловедение [Текст] : Часть первая. Плавка и литье / Г. Закс : Перевод под редакцией О. С. Строева. - М.-Л. : ОНТИ НКТИ СССР. Главная редакция литературы по цветной металлургии, 1936. - 317 с.

12. **Закс, Г.** Практическое металловедение [Текст] : Часть третья. Термическая обработка / Г. Закс : С приложением статьи д-ра А. Куссмана. -

Перевод под редакцией С. С. Строева. М.-Л. : ОНТИ НКТИ СССР. Главная редакция литературы по цветной металлургии, 1937. - 224 с.

13. **Краснова, Е. В.** Тройные и многокомпонентные системы [Электронный ресурс] : Текст лекций / Е. В. Краснова, В. С. Биронт. - Красноярск: Сибирский федеральный ун-т; Ин-т цв. металлов и материаловедения, 2008. - 142 с. - Режим выборки http://files.lib.sfu-kras.ru/ebibl/umkd/1814/u_lectures.pdf. Дата выборки 01.08.2018.

14. **Логинов, Ю. Н.** Медь и деформируемые медные сплавы [Текст] : учебное пособие / Ю. Н. Логинов. - Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2004. - 136 с. - ISBN 5-321-00444-7.

15. **Мальцев, М. В.** Модифицирование структуры металлов и сплавов [Текст] / М. В. Мальцев. - М.: Металлургия, 1964. - 215 с.

16. **Пикунов, М. В.** Металловедение [Текст] / М. В. Пикунов, А. И. Десипри. - М.: Металлургия, 1980. - 256 с.

17. **Вагнер, К.** Термодинамика сплавов [Текст] / К. Вагнер. - Перевод с английского канд. техн. наук А. Г. Спектора. Под редакцией докт. хим. наук А. А. Жуховицкого. М.: Государственное научно-техническое издательство литературы по черной и цветной металлургии, 1957. - 179 с.

18. **Лаптел, Д. М.** Термодинамика металлургических растворов [Текст] : монография / Д. М. Лаптел. - Челябинск: Металлургия, Челябинское отделение, 1992. 352 с. - ISBN 5-229-00832-6.

19. Тройные диаграммы состояния сплавов на основе меди [Электронный ресурс]: Режим выборки <http://iznedr.ru/books/item/f00/s00/z0000033/st005.shtml>. Дата выборки 02.08.2018.

20. **Меркулова, Г. А.** Металловедение и термическая обработка цветных сплавов [Текст]: учеб. пособие / Г. А. Меркулова. - Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2008. - 312 с.

21. **Минаев, А. М.** Термодинамика в материаловедении [Текст] : учебное пособие / А. М. Минаев, Д. М. Мордасов, Н. Б. Баднрова. - Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2015. - 80 с. - 100 экз. - ISBN 978-5-8265-1460-3.

References:

1. Hllchevskiy, V. V. Materialoznavstvo I tehnologiya konstruktivnykh materialiv [Tekst] : Navchalniy posibnik / V. V. Hllchevskiy, S. E. Kondra-tyuk, V. O. Stepanenko, K. G. Lopatko. - K.: LibId, 2002. - 328 s. - ISBN 966-06-0247-2.

2. Efimov, V. A. Fizicheskie metodyi vozdeystviya na protsessyi zatverde-vaniya splavov [Tekst] / V. A. Efimov, A. S. Eldarhanov. - M.: Metallurgiya, 1995. - 272 s. ISBN 5-229-01188-2.

3. Eldarhanov, A. S. Protsessyi formirovaniya otlivok i ih modelirova-nie [Tekst] / A. S. Eldarhanov, V. A. Efimov, A. S. Nuradinov. - M.: Mashino-stroenie, 2001. - 208 s. - ISBN 5-217-03076-3.

4. Efimov, V. A. Sovremennyye tehnologii razlivki i kristallizatsii splavov [Tekst] / V. A. Efimov, A. S. Eldarhanov. - M.: Mashino-stroenie, 1998. - 360 s. - ISBN 5-217-02901-3.

5. Vliyanie legiruyuschih elementov na svoystva mednykh splavov ispol-zuemyykh dlya elektrodov kontaktnoy svarki [Elektronnyy resurs] : Rezhim vyiborki <http://k-svarka.com/content/vliianiie-lieghiruiushchikh-eliementov-na-svoistva-miednykh-splavov-ispol-zuiemykh-dlia-eli>. Data vyiborki 02.08.2018.

6. Bredihin, V. N. Med Vtorichnaya [Tekst] : Monografiya / V. N. Bredihin, N. A. Manyak, A. Ya. Kaftanenko. - Donetsk: DonNTU, 2006. - 393 s. - Bibliogr. s. 404-407. - 300 prim. - ISBN 996-8388-12-7.
7. Biront, V. S. Materialovedenie [Elektronnyy resurs] : elektron, ucheb, posobie / V. S. Biront, T. A. Orelkina, T. N. Drozdova, L. A. Byikonya, L. S. Tsurgan. - Elektron, dan. (9 Mb). - Krasnoyarsk : IPK SFU, 2008. - (Materialovedenie : UMKD # 12- 2007 / ruk. tvorch. kollektiva L. S. Tsurgan, L. A. Byikonya, T. A. Orelkina). - 1 elektron, opt. disk (DVD). - Sistem, trebovaniya : Intel Pentium (ili analogichnyy protsessor drugih proizvoditeley) 1 GGts ; 512 Mb operativnoy pamyati ; 9 Mb svobodnogo diskovogo prostranstva ; privod DVD ; operatsionnaya sistema Microsoft Windows 2000 SP 4 / HR SP 2/ Vista (32 bit) ; Adobe Reader 7.0 (ili analogichnyy produkt dlya chteniya faylov formata pdf). - ISBN 978-5-7638-1039-4 (kompleksa). - ISBN 978-5-7638-1532-0 (posobiya).
8. Nekotorye svedeniya ob istorii mednyih splavov [Elektronnyy resurs] : Rezhim vyiborki <http://art-con.ru/node/3322>. - Data vyiborki 15.07.2018.
9. Berezovskaya, V. V. Diagrammyi sostoyaniya troyniyh sistem [Tekst] : uchebnoe posobie / V. V. Berezovskaya, E. A. Ishina, N. N. Ozerets. - 3-e izd., pe-rerab. i dop. - Ekaterinburg: Izd-vo Ural. un-ta, 2016. - 120 s. - ISBN 978-5-7996-1715-8.
10. Kontaktnyye splavy na osnove volframa, medi i serebra [Elektronnyy resurs] : Rezhim vyiborki <http://freepapers.ru/100/kontaktnye-splavy-na-osnove-volframa/199925.1207381.list1.html>. Data vyiborki 02.08.2018.
11. Zaks, G. Prakticheskoe metallovedenie [Tekst] : Chast pervaya. Plavka i lite / G. Zaks : Perevod pod redaktsiyey O. S. Stroeva. - M.-L. : ONTN NKTI SSSR. Glavnaya redaktsiya literaturyi po tsvetnoy metallurgii, 1936. - 317 s.
12. Zaks, G. Prakticheskoe metallovedenie [Tekst] : Chast tretya. Termicheskaya obrabotka / G. Zaks : S prilozheniem stati d-ra A. Kussmana. - Perevod pod redaktsiyey S. S. Stroeva M.-L. : ONTN NKTI SSSR. Glavnaya redaktsiya literaturyi po tsvetnoy metallurgii, 1937. - 224 s.
13. Krasnova, E. V. Troynyye i mnogokomponentnyie sistemy [Elektronnyy resurs] : Tekst lektsiy / E. V. Krasnova, V. S. Biront. - Krasnoyarsk: Sibir-skiy federalnyy un-t; In-t tsv. metallov i materialovedeniya, 2008. - 142 s. - Rezhim vyiborki http://files.lib.sfu-kras.ru/ebibl/umkd/1814/u_lectures.pdf. Data vyiborki 01.08.2018.
14. Loginov, Yu. N. Med i deformiruemyie mednyie splavy [Tekst] : uchebnoe posobie / Yu. N. Loginov. - Ekaterinburg: GOU VPO UGTU-UPI, 2004. - 136 s. - ISBN 5-321-00444-7.
15. Maltsev, M. V. Modifitsirovanie strukturyi metallov i splavov [Tekst] / M. V. Maltsev. - M.: Metallurgiya, 1964. - 215 s.
16. Pikunov, M. V. Metallovedenie [Tekst] / M. V. Pikunov, A. I. Desipri. - M.: Metallurgiya, 1980. - 256 s.
17. Vagner, K. Termodinamika splavov [Tekst] / K. Vagner. - Perevod s angliyskogo kand. tehn. nauk A. G. Spektora. Pod redaktsiyey dokt. him. nauk A. A. Zhuhovitskogo. M.: Gosudarstvennoe nauchno-tehnicheskoe izdatelstvo literaturyi po chernoy i tsvetnoy metallurgii, 1957. - 179 s.
18. Laptel, D. M. Termodinamika metallurgicheskikh rastvorov [Tekst] : monografiya / D. M. Laptel. - Chelyabinsk: Metallurgiya, Chelyabinskoe otdelenie, 1992. 352 s. - ISBN 5-229-00832-6.
19. Troynyye diagrammyi sostoyaniya splavov na osnove medi [Elektronnyy resurs]: Rezhim vyiborki <http://iznedr.ru/books/item/f00/s00/z0000033/st005.shtml>. Data vyiborki 02.08.2018.
20. Merkulova, G. A. Metallovedenie i termicheskaya obrabotka tsvetnyih splavov [Tekst]: ucheb. posobie / G. A. Merkulova. - Krasnoyarsk: Sib. feder. un-t, 2008. - 312 s.
21. Minaev, A. M. Termodinamika v materialovedenii [Tekst] : uchebnoe posobie / A. M. Minaev, D. M. Mordasov, N. B. Badnrova. - Tambov: Izd-vo FGBOU VPO «TTU», 2015. - 80 s. - 100 ekz. - ISBN 978-5-8265-1460-3.

Abstract. *The paper considers the use of secondary copper for the formation of various alloys. The peculiarities of copper alloys and the influence of various additives on their properties are given. It is noted the importance of applying cover and refining fluxes to obtain quality alloys based on secondary copper*

Key words: *copper, secondary raw materials, refining, impurity, modification, grain, alloy, technology, casting, melting*

Науковий керівник: д.т.н., пров. наук. співроб. Щерецький О.А.

Статья отправлена: 03.04.2019 г.

© Щерецький О.А.