

Универзитет у Крагујевцу
Факултет инжењерских наука у Крагујевцу



Назив студијског програма:

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Енергетика и процесна техника

Предмет: Машински материјали

Број индекса: 89/2010

Марија С. Јовановић
Бакар и његове легуре
завршни рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Проф. Др Драган Адамовић - ментор

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да да преглед развоја и употребе бакра и његових легура. На почетку дати историјски развој бакарних материјала. У даљем делу рада описати њихову класификацију и својства, као и методе добијања. Затим описати различите његове легуре и њихову обрадивост. На крају дати примере примене бакра и његових легура.

Наслов рада:

БАКАР И ЊЕГОВЕ ЛЕГУРЕ

Оквирни садржај рада:

1. Увод
2. Бакар кроз историју
3. Добијање бакра
4. Легуре бакра
5. Обрадивост бакра и његових легура
6. Особине бакра и његових легура
7. Примена бакра и његових легура у пракси
8. Закључак
9. Литература

Препоручена литература:

- [1]. Ђукић В.: Метални материјали, Београд 1987. год.
- [2]. Оруч М.: Савремени метални материјали, Зеница 2005. год.
- [3]. Хаципашић А.: Материјали у машинству, Зеница 2000. год.
- [4]. Седмак А., Милосављевић А.: Машински материјали, Београд 2003 год.
- [5]. Лучић Р.: Машински материјали, Наука и инжењерство, Београд 1994. год.
- [6]. Љевар А., Стојановић С.: Познавање материјала, Зрењанин 2001. год
- [7]. Ђорђевић В.: Машински материјали, Машински факултет, Београд 1991. год.
- [8]. Јовановић М., Адамовић Д., Лазић В., Ратковић Н.: Машински материјали, Машински факултет, Крагујевац 2003. год.

Крагујевац, март 2013.

ментор:

Проф. др Драган Адамовић

Резиме

У овом раду описани су бакар и његове легуре. Дата су најстарија налазишта експлоатације бакра, као и развој рударства кроз историју. Приказане су разне методе добијања бакра и његових легура. Такође је дата и класификација легура бакра према начину израде, намени и према броју легирајућих елемената. Овим радом обухваћене су неке основне особине, као и начини обрадивости бакра и његових легура. Приказана је примена бакра и његових легура у пракси, нарочито у областима грађевинарства, бродоградње, електротехнике, аутомобилске индустрије и сл.

Кључне речи: Бакар, легуре бакра

In this paper, described as copper and its alloys. Data are the oldest deposits of copper exploitation and mining development throughout history. Displayed are various methods of copper and its alloys. This paper also shows the classification of alloys according to the method of preparation, purpose and number of alloying elements. This paper covers some of the basic features, as well as ways workability of copper and its alloys. The application of copper and its alloys in practice, particularly in the areas of construction, shipbuilding, electronics, automotive and so on.

Keywords: Copper, Alloys of copper

Садржај

Резиме	
1. Увод	4
2. Бакар кроз историју	5
2.1 <i>Историјат бакра на подручју Републике Србије</i>	6
2.1.1 <i>Обнављање рударства у слободној Србији</i>	7
3. Добијање бакра и његових легура	8
3.1 <i>Флотационо обогаћивање руда</i>	10
3.2 <i>Добијање бакарног камена</i>	11
3.3 <i>Добијање сировог камена</i>	12
3.4 <i>Рафинација бакра</i>	14
3.4.1 <i>Пирометалуршка рафинација бакра</i>	14
3.4.2 <i>Електролитичка рафинација бакра</i>	15
3.5 <i>Произвођачи бакра</i>	16
4. Бакар и његове легуре	17
4.1 <i>Технички чист бакар</i>	17
4.2 <i>Нисколегирани челик</i>	18
4.3 <i>Легуре бакра са цинком- месинзи</i>	19
4.3.1 <i>Легуре бакра са цинком (обични месинг)</i>	19
4.3.2 <i>Специјалне легуре Cu-Sn (специјални месинг)</i>	22
4.3.3 <i>Легуре бакра са калајем и цинком (црвени лив)</i>	23
4.3.3.1 <i>Легура бакра са калајем и цинком – Црвени метал</i>	23
4.3.3.2 <i>легура бакра са калајем и цинком – Црвени лив</i>	23
4.3.4 <i>Треће компоненте у месингу</i>	23
4.4 <i>Легуре бакра без цинка</i>	24
4.4.1 <i>Калајна бронза- Легуре Cu-Sn</i>	24
4.4.1.1 <i>Калајна бронза за гњечење</i>	26
4.4.1.2 <i>Калајна бронза за ливење</i>	27
4.4.2 <i>Алуминијумска бронза Cu-Al</i>	28
4.4.2.1 <i>Алуминијумска бронза за гњечење</i>	28
4.4.2.2 <i>Алуминијумска бронза за ливење</i>	29
4.4.3 <i>Калајна и оловно калајна бронза</i>	30
4.4.4 <i>Манганске бронзе</i>	30
4.4.5 <i>Силицијумска бронза</i>	31
4.4.6 <i>Оловне бронзе</i>	31
4.4.7 <i>Берилијумске бронзе</i>	31
4.4.8 <i>Фосфорне бронзе</i>	31
4.4.9 <i>Легуре бакра са цинком- Никлова бронза</i>	32
4.5 <i>Легуре бакра за лемљење и заваривање</i>	33
5. Обрадивост бакра и његових легура	35
5.1 <i>Пластична деформација бакра и његових легура</i>	35
5.2 <i>Термичка обрада бакра и његових легура</i>	35
5.3 <i>Обрада бакра и његових легура ливењем</i>	36
5.4 <i>Обрада бакра и његових легура заваривањем</i>	36
6. Основне особине бакра и његових легура	37
6.1 <i>Микроструктурне особине бакра</i>	38
6.2 <i>Хемијска својства бакра</i>	39
6.3 <i>Физичке особине бакра</i>	39

Бакар и његове легуре

6.4 Технолошке особине бакра	40
6.5 Механичке особине бакра	40
6.6 Основне особине калајне бронзе	40
6.7 Основне особине црвеног лива	41
6.8 Основне особине месинга	42
6.9 Основне особине алуминијумских бронзи	43
7. Примена бакра и његових легура у пракси	45
7.1 Биолошки значај бакра	46
7.2 Бакар и његове легуре у аутомобилској индустрији	46
7.3 Употреба бакра и његових легура у грађевинарству и архитектури	47
7.4 Бакар и његове легуре у бродоградњи	48
7.4.1 Легуре бакра за гњечење	48
7.4.2 Легуре бакра за ливење	48
7.4.3 Легуре бакра за ливење пропелера	48
7.5 Бакар у електротехници	49
7.6 Различите области примене легура бакра	49
7.7 Примена бакарних легура за ливење и гњечење	50
7.8 Бакар као легирајући елемент	51
8. Закључак	53
Литература	

1. Увод

Бакар је хемијски елемент који има ознаку Cu и налази се под атомским бројем 29. Бакар спада у тешке метале и налази се у првој групи Периодног система елемената. Његова специфична тежина је око $8,93 \text{ kg/cm}^3$, а температура топљења $1083 \text{ }^\circ\text{C}$. Кристалише по површински центрираној кубној решетки. Бакар је један од најстаријих метала. Реч је о металу сјајне, светле и црвенкасте боје. У природи се може наћи и у чистом стању, але се за техничку примену производи из његових легура. Почео је одавно да се користи јер се у природи налазио у самородном стању, тако да је била могућа израда украсних предмета или најједноставнијих оруђа. Данас се самородни бакар ретко среће, па се метал добија из руда које садрже 1-2% бакра.

Најважније особине бакра, које му обезбеђују широку примену, јесу добра електрична и топлотна проводљивост, висока пластичност и могућност добијања легура са dobrим механичким особинама. После злата и сребра има највећу електричну проводљивост. Топлотна проводљивост бакра је шест пута већа од проводљивости гвожђа, односно два пута већа од проводљивости алуминијума. Особине технички чистог бакра зависе од његове чистоће и садржаја гасова у њему. Штетним примесама се сматрају антимон, сумпор, селен, телур, бизмут, водоник и кисеоник, који снижавају електричну проводљивост бакра. Електричну проводљивост знатно смањује и врло мали проценат примеса. Тако, на пример, 0,1% фосфора смањује електричну проводљивост бакра за 50%, а 0,1% силицијума смањује за 63%. Механичка својства бакра доста су скромна. Чврстоћа и тврдоћа зависе од начина и степена прераде. Затезна чврстоћа ливеног бакра је $140\text{--}190 \text{ N/mm}^2$, топло ваљаног $200\text{--}240 \text{ N/mm}^2$, а хладно деформисаног (вученог) до 480 N/mm^2 . тврдоћа жареног бакра је 40HB, а хладно деформисаног је до 100HB. Врло је жилав, има малу границу еластичности и велико релативно издужење (30-40%). При хладној деформацији, повећањем тврдоће и чврстоће, смањује му се издужење. Загревањем до 550°C и хлађењем у води, бакар губи повећану тврдоћу, а повећава му се издужење. Бакар се веома добро пластично деформише и у хладном и у топлом стању. Због великих издужења може се извлачити у врло танке жице и ваљати у танке лимове дебљине до $0,003 \text{ mm}$. У хемијском погледу бакар је отпоран на деловање ваздуха и воде. Када се дуже налази на ваздуху, превлачи се зеленим слојем базичног карбоната ($\text{CuCO}_3\text{--Cu(OH)}_2$), који се зове патина и штити га од даљих разарања. Бакар је значајан инжењерски материјал и много се користи у нелегираном стању, као и у комбинацији са другим металима у легираном облику. Нека од ових својстава су велика електрична и термичка проводљивост, добра отпорност према корозији, лака обрада деформисањем, средња вредност затезне чврстоће, својства у жареном стању која се могу регулисати, и уопштено добре карактеристике меког лемљења и спајања. Бакар одликују одлична технолошка својства, што значи да има веома широку примену у многим гранама индустрије, као што су гране електротехнике, бродоградње, грађевинарства и металургије.

2. Бакар кроз историју

Бакар је елемент чији почеци датирају 8.000 година пре Христовог рођења. Нека од највећих налазишта бакарне руде налазила су се около великих језера на граници САД-а и Канаде, пронађено је више од 10.000 места ископа од којих нека потичу из 3000. године п.н.е., чији грумени су могли достићи тежину од 100 килограма. Геохемијска анализа је потврдила да је бакар био експлоатисан до Јужне Америке јер су његови трагови нађени у гробовима Инка, а постоје и реалне теорије да је тај бакар био продаван и Египту и другим Блискоисточним земљама посредништвом такозваних "Народа са мора". Претпоставља се да су у давна времена постојала четири главна налазишта бакра:

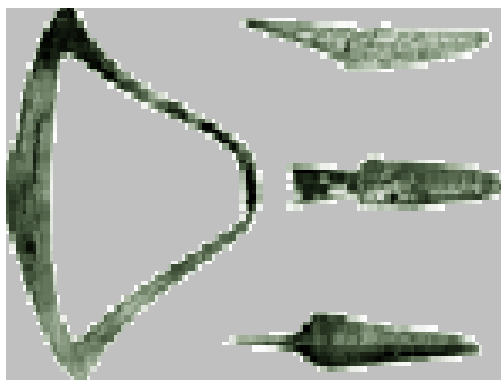
- Југоисток данашње Турске;
- Простор данашњег Ирака и Ирана (налазишта су користили Сумери и народи Месопотамије);
- Рудници са Синајског полуострва, тј. брда око Црвеног мора (налазишта су експлоатисали Египћани);
- Рудници на Криту и Кипру (бакар из ових рудника коришћен је од стране Грка, Феничана и Римљана).

Стари Сумери су први у потпуности овладали вештином рударења и мануфактуре бакра. Намена је била вишеструка, почевши од производње разноврсних сечива, ножева, секира, мачева, удица, харпуна, мотика, врхова за стреле и копља, па све до врхунских скулптура, минијатурних орнамената, рељефа накита, огледала. На слици 2.1 приказан је бакарни рељеф пронађен у Ал Убаду.



Слика 2.1 Бакарни рељеф пронађен у Ал Убаду, у близини Ур-а, датира из времена 3.100 година пре Христа. Показује лављоглавог орла који канџама држи два јелена

У Египту је бакар био у употреби око 5.000 година пре Христа, првенствено за израду разноврсног оружја и оруђа, али и за израду разних система и конструкција за снабдевање водом (Абу Сир, делта Нила). Наравно, да би добили на чврстоћи материјала и да би умањили еластичност будућег предмета, први ливци мешали су бакар са калајем у разним пропорцијама и тако добили бронзу. На пример: у Кини су пропорције ливења, много пре 1.200 година пре Христа, биле чврсто задате: за израду ножева мешала се једна трећина калаја са две трећине бакра; за израду огледала користила се једна половина бакра и једна половина калаја. (слика 2.2)



Слика 2.2 Ножевеи и врх копља од Бакра (3.000 година пре Христа)

Прво рударење и прва употреба бакра одвијала се углавном у области на којој су зачете прве цивилизације- Средоземно море (реке: Еуфрат, Тигар и Нил). Са сигурношћу се може тврдити да је бакар ушао у употребу и на подручју Хиндустана и Кине, око трећег миленијума пре Христа.

Проналазак бакра и његова, током векова, све шира примена представљали су прекретницу у развоју људске заједнице-почетак металног доба (крај неолита). Тада настају прве групе специјализованих рудара, ковача и металурга. Све важнија је била потрага за овом рудом. Тако се са временом до 3800. године п.н.е., проширила употреба бакра по целом Медитерану и обалама Атлантика.

2.1. Историјат бакра на подручју Републике Србије

Најстарија налазишта праисторијске експлоатације руде бакра и њене металуршке прераде у Србији откривене су на територији од Бора до Мајданпека. У археолошким испитивањима, откривени су многобројни остаци старих рудника, гомиле бакарне шљаке и примери разног алата. Најзначајнији локалитет из времена енеолитског рударства, старости око 4.000 до 4.500 година, налази се у близини Рудне главе. У Лазаревој пећини код Злота, пронађени су предмети од бакра, и остаци бакарне шљаке, разне алатке, прибор и накит из бронзаног доба. У Лескову је пронађена бронзана наруквица, стара преко 3.000 година. Интензивна експлоатација руде бакра развила се у доба Римљана, у периоду од 29. године п.н.е до 294. године нове ере. Из тог доба откривено је више рудника бакра и малих пећи за топљење бакра у околини Мајданпека, Бора, Кучева и Глоговице. О средњовековном рударству не постоје бројни писани документи, али сама словенска имена (Злативца, Злот, Злаце, Црвена река, Црвена стена) указују на развијеност рударства у време Словена. Рударска и металуршка делатност је обновљена и унапређивана под влашћу српских владара, уз помоћ досељених Саса. После доласка Турака на ове просторе, Саси су напустили српску територију. У време Турака настављено је рударство у мањој мери у Мајданпеку, који је тада и добио своје име: Меден и Пек (рудник бакра на Пеку). После Аустро-Угарске окупације (1718-1738), рударство је обновљено. Отворена су нова рударска окна у околини Мајданпека. Рудник је успешно радио, а у 26 топионичких „фуруна“ произвели су и извезли око 5.400 тона бакра. Турци су поново освојили те просторе, опустошили Мајданпек и у рудницима је готово престао сваки рад, све до ослобођења Србије. На слици 2.10 приказан је рудник бакра Мајданпек.



Слика 2.10 Рудник бакра Мајданпек

2.1.1. Обнављање рударства у слободној Србији

Кнез Милош Обреновић је 1835. године позвао саксонског стручњака Зигисмунда Хердера да обиђе значајна рудна налазишта у Србији. Он је закључио да у околини Мајданпека и Бора постоји више лежишта бакарне руде и руде гвожђа. Такве налазе потврдио је 1847. године Карло Херјовски и предложио да се у Мајданпеку отвори рудник бакра. Влада је прихватила предлоге Херјовског, па је 1847. године основана “Милановачка управа рудника”.

Крајем XIX века геолошки и рударски инжењери су истраживали подручја Тимочке крајине и под руководством Феликса Хофмана основали су компанију. Београдски индустријалац, Ђорђе Вајферт је преузео права компаније и 1897. године послао је инжењеру Фрању Шистеку, који је у близини Борске реке истражним радовима пронашао богато налазиште на Чока Дулкану, величине око 255.000 тона, са 10,5% бакра. Већ 1903. године Ђорђе Вајферт је добио концесију на 240 рудних поља, са правом експлоатације од педесет година. Французи су прихватили Вајфертову понуду 1904. године и основали заједничку компанију „Француско друштво борских рудника, Концесија Свети Ђорђе”. Производња бакра после Другог светског рата

Окупатор је пре повлачења уништио све виталне машине и уређаје у Бору и Мајданпеку. Зато је крајем 1945. године формирано Министарство рударства Федеративне Народне Републике Југославије за њихову санацију у новооснованом државном привредном предузећу: “Рудници бакра и топионице Бор”. Борски рудник је био у непосредној надлежности Владе ФНРЈ. У Првом петогодишњем плану (1947-1951) произведено је 172.607 тона бакра. Крајем исте године започета су обимна геолошка истраживања у Бору и Мајданпеку. Од марта 1951. године Борски рудник је прешао у надлежност Владе Србије и добио коначни назив РТБ (Рударско-топионичарски басен). Нова топионица је стартовала 1961. године, са пет етажних пећи, једном пламеном пећи, конверторима и анодним пећима.

3. Добијање бакра и његових легура

Бакар се добија из руда које садрже сулфиде бакра и гвожђа. Концентрати бакар-сулфида који се добијају из мало квалитетних руда топе се у високим или пламеним пећима ради производње бакровог каменца (бакренца) који је комбинација бакар-сулфида (Cu_2S) и гвожђе-сулфида (FeS) и који се одваја од троске (некорисног материјала). Бакар-сулфид у бакарном каменцу се затим хемијски претвара у сирово или блистер-бакар ($98\%\text{Cu}$) дувањем ваздуха кроз бакров каменац. У овој операцији прво се оксидише гвожђе-сулфид и претвара у троску. Касније се већина нечистоћа у блистер-бакру уклања у пламеним пећима за рафинацију и то у облику троске. Овом пламеном рафинацијом добија се бакар који се назива топионички жилави бакар или топионички бакар, па иако се може користити за неке примене, већина топионичког бакра се даље електролитички рафинише ради производње $99,95\%$ електролитичког жилавог бакра (ЕТП) или кисеоничког бакра. Главни извор за добијање бакра јесу сулфидне руде које садрже халкопирит CuFeS_2 (слика 3.1), халкозин Cu_5 и борнит $5\text{Cu}_2\cdot\text{Fe}_2\text{S}_3$. У овим рудама обично има много пирита (FeS_2), као и сулфида разних обојених метала. У рудама се често налазе Zn , Pb , Ni , Mo а често и Ag и Au . На друго место по значају долазе оксидне руде бакра које садрже куприт Cu_2O , плави азурит 2CuCO_3 (слика 3.2), $\text{Cu}(\text{OH})_2$ и ређе малахит CuCO_3 , $\text{Cu}(\text{OH})_2$.



Слика 3.1 Халкопирит



Слика 3.2 Плави азурит

Понекад се срећу мешане сулфидно-оксидне руде бакра. Због ниског садржаја бакра у руди ($1-2\%$) она се подвргава обогаћивању поступком флотације чиме се одвојено добијају бакарни концентрат са $10-35\%$ бакра и цинкани или пиритни концентрат. Бакарне руде су сиромашне бакром па се прерађују само оне које га садрже више од $0,6\%$.

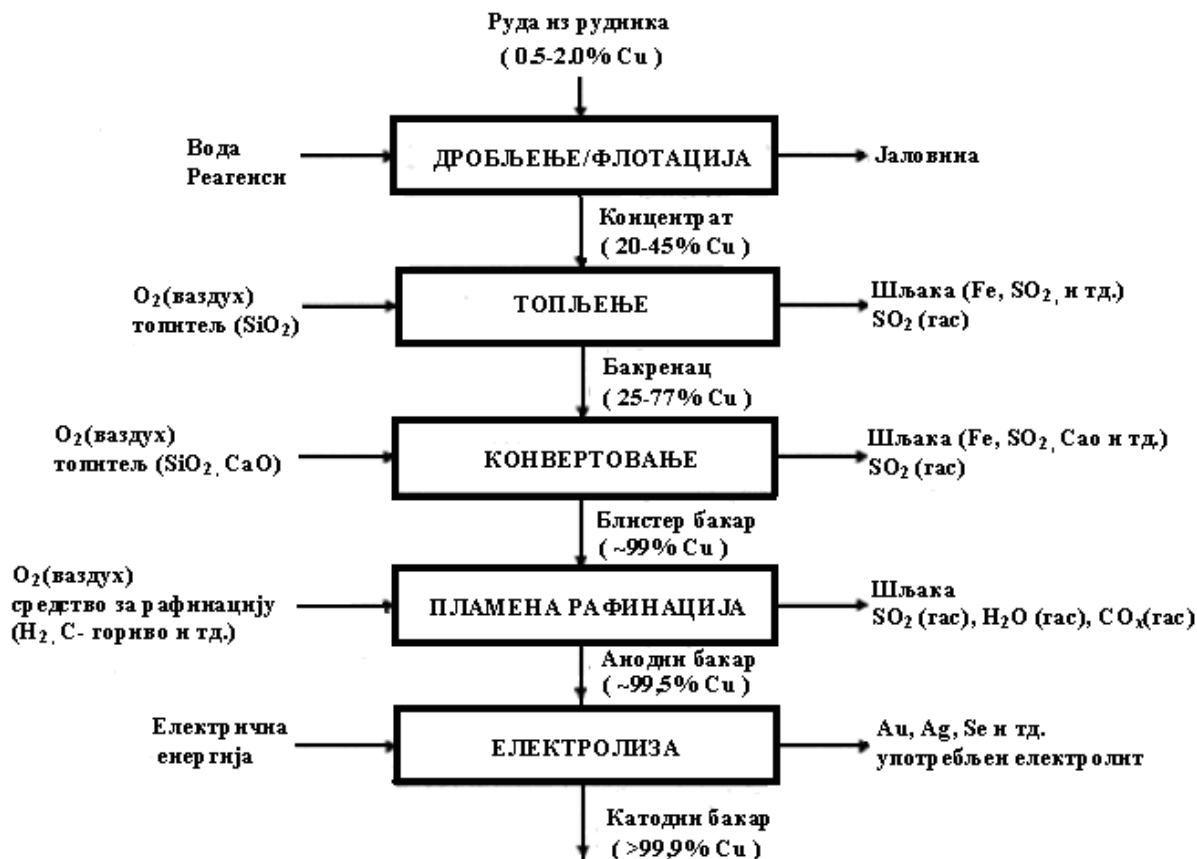
Бакар се издваја из руда различитим поступцима. Поступак производње бакра је врло сложен и одвија се у неколико фаза да би се на крају електролизом добио чист бакар. На тржиште бакар долази у облику плоча, лимова, шипки, цеви и жице. Код нас се бакар производи у Бору, а прерада топионичарског и електролитичког бакра врши се у Јагодини, Севојну и Новом Саду. За добијање бакра користе се пиromеталуршки поступци (који укључују добијање бакарног камена) а такође неке руде се успешно прерађују хидрометалуршким поступцима, као што је екстракција са сумпорном киселином. Пиromеталуршки поступак је најраспрострањенији.

Први део поступка, до добијања бакарног камена, може се изводити у различитим технолошким варијантама.

Упрошћена шема добијања бакра из сулфидних руда (слика 3.3) састоји се из следећих операција:

Бакар и његове легуре

- Обогаћивање руде флотацијом ради добијања концентрата који садржи 20-25% бакра,
- Делимичног пржења и топљења у пламеним пећима при чему се добија бакренац са око 30-40% бакра,
- Продувавања бакренца у конвертору ради добијања бакра чистоће 97-98,5%,
- Рафинације у пламеним пећима (рафинисани бакар) оксидационим поступком (топионички бакар) или електролизом (електролитички бакар),
- Електролиза.



Слика 3.3 Шема добијања бакра из сулфидних руда

У зависности од начина добијања бакар може бити катодни, безкисеоничан, кисеонични и дезоксиран.

Катодни бакар је основни облик електролитички рафинисаног бакра високе чврстоће. Служи за добијање безкисеоничног и дезоксираног бакра, а користи се и као анода у галванској техници.

Безкисеонични бакар се добија електролитичким путем, има врло високу чврстоћу, а претапа се у вакуму. Користи се за израду делова у електротехници од којих се захтева висока електрична проводљивост. Погодан је за заваривање, тврдо лемљење и веома је пластичан.

Кисеонички бакар се добија претапањем катодног бакра у оксидационој атмосфери. Ако је у ознаци присутан симбол Е, значи да је тада бакар погодан за израду делова у електротехници у којој се захтева добра електропроводљивост, а ако у ознаци нема симбола Е, онда се ради о топионичарском бакру намењеном за топљење или за израду легура.

Дезоксидисани бакар има врло велику чврстоћу са присуством фосфора и других елемената који потичу од средстава за дезоксидацију. Веома је пластичан, добро се заварује и тврдо лем. Ако се захтевају електрична својства примењују се квалитети који у ознаци имају симбол Е.

3.1. Флотационо обогаћивање руда

Флотација (слика 3.4) се ретко користи за обогаћивање гвоздених руда, а обично се примењује при обогаћивању сиромашних руда обојених метала. Међутим, она се обавезно примењује код обогаћивања комплексних руда, које садрже неколико обојених метала. Суштина флотације се састоји у селективном лепљењу појединих минералних честица (лебдећих у воденој средини) на површини ваздушних мехурова који подижу честице на површину. Кроз пулпу (густу мешавину течности и сићушних чврстих честица) пропуштају се мехурићи ваздуха. Услед различите квашљивости, честице једног минерала које вода лоше кваси (или друга течност у којој се врши обогаћивање) везују се за мехуриће ваздуха и подижући се са њима на површину стварају минерализовану пену, чиме се одвајају од честица оних минерала који се добро квасе и који остају у пулпи.



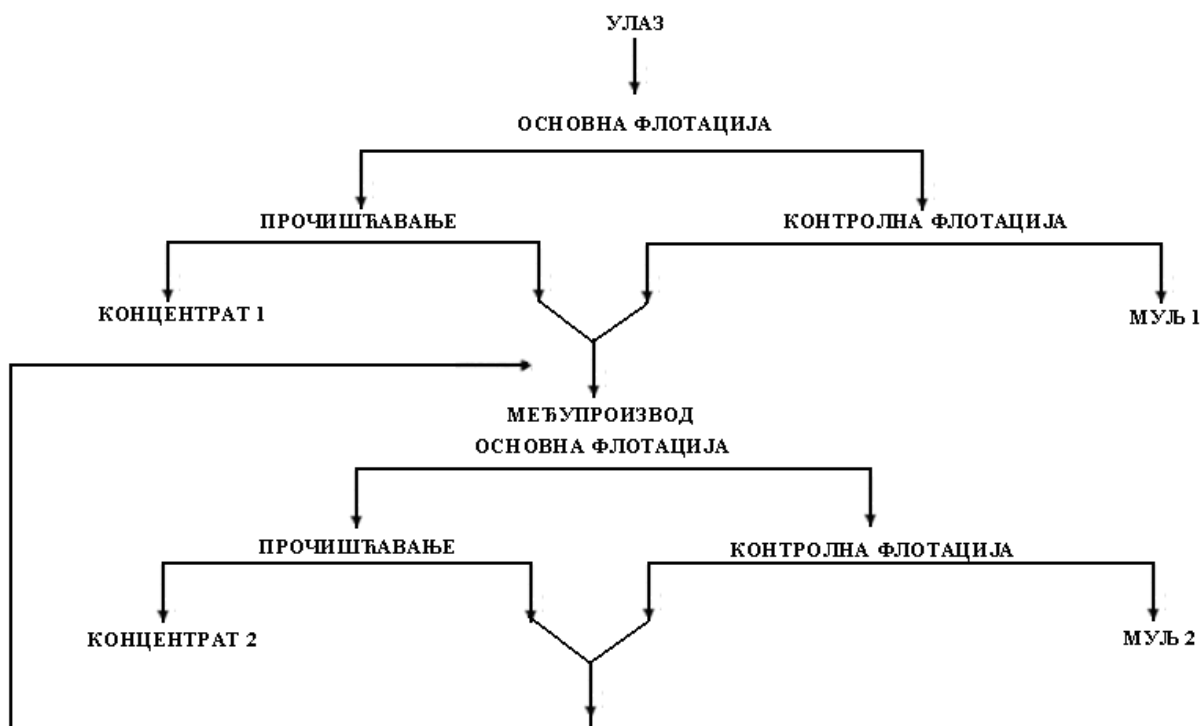
Слика 3.4 Флотација бакра

Да би се обогаћивање успешно остварило, неопходно је:

- руду ситно самлети, што омогућује да се добију честице руде које се састоје од само једног минерала, а не из неколико,
- добити у пулпи мноштво мехурића ваздуха и остварити услове за стварање стабилне пене на површини пулпе.

За флотационо обогаћивање користи се низ комплексних машина које дозвољавају брзо и вишеструко понављање процеса флотације, а исто тако и коришћење више различитих флотационих реагенса чијим се увођењем у пулпу појачавају или слабе неке њене физичке особине. Постоје следећи флотациони реагенси: пенушавци и колектори (сабираци). Пенушавци стабилизују мехуриће пене, а да не прскају и да не срастају. Колектори смањују квашљивост одређене групе минерала са водом и тако олакшавању њихово везивање за мехуриће ваздуха. Као колектори се користе сложена органска једињења. При флотацији се често користе и тзв. депресори који спречавају дејство колектора на неке минерале. Као депресори служе неоргански електролити (NaCN , CaO). Потрошња флотационих реагенса износи 50-300 грама по тони руде.

На слици 3.5 приказана је шема флотације бакра.



Слика 3.5 Шема флотације бакра

За флотационо обогаћивање руда користе се различите машине, као што су:

- За уситњавање руде – дробилице и млинови,
- За раздвајање – класификатори,

Уређаји за разлагање пулпе на течност и чврсте честице су – згушњивачи, филтери и флотационе машине.

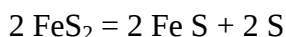
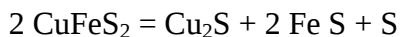
У машину се кроз бочну цев непрекидно додаје пулпа која се састоји из воде, ситних честица руде и флотационих реагенаса. Кроз цев се одозго увлачи ваздух помоћу брзо ротирајућег пропелера (300-600 о/мин). Пулпа у мешавини са мехурићима ваздуха циркулише у машини, при чему се ствара пена која се скупља у горњем десном делу машине, одакле се одводи из машине помоћу споро-вртеће мешалице. Преостала пулпа се прелива кроз отвор у бочном делу машине у суседну флотациону машину, којих има од 4-20 у низу. Прашкасти бакарни концентрат добијен флотационим обогаћивањем садржи 11-35% бакра, 15-35% сумпора, 15-37% гвожђа и мало Si, Al₂O₃, CaO, Zn и Ni.

3.2. Добијање бакарног камена

Камен је средњи продукт при добијању неких обојених метала из њихових руда. То је у ствари легура FeS са сулфидом метала који се жели добити. Добијање бакарног камена је најважнија операција прераде бакарне руде. Бакарни камен се ствара при топљењу бакарне руде, а састоји се претежно од сулфида бакра и гвожђа (80-90%), а остало су сулфиди Zn, Pb, Ni, и оксиди Fe, Si, Al који се издвајају са троском и само делимично растварају у камену. Течан бакарни камен добро раствара злато и сребро, уколико су присутни у руди. Циљ операције добијања бакарног камена јесте одвајање једињења бакра и гвожђа од примеса садржаних у руди. Добијени камен не сме да садржи ни сувише мало бакра јер онда процес у целини постаје нерентабилан, а такође ни веома много бакра јер се онда значајна количина губи у троски. Зависно од хемијског састава руде и њеног физичког стања, камен се добија или у шахтним пећима (ако је руда великог комада и са много сумпора) или у јамастим или електролучним пећима (уколико је полазна сировина

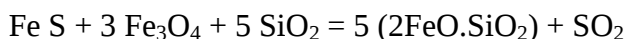
Бакар и његове легуре

прашкasti флотациони концентрат). Ако концентрати садрже више сумпора него што је неопходно за добијање нормалног камена, онда се претходним пржењем оксидише вишак сумпора или се концентрату додаје оксидна бакарна руда. Реакције при пржењу:



Сумпор се пржењем оксидише до SO_2 , који се хвата и употребљава за производњу сумпорне киселине.

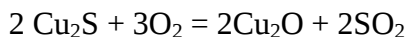
Температура топљења у јамастим пећима креће се од минималне $1250\text{--}1300^\circ\text{C}$, при чему се као гориво користе мазут, угљена прашина или природни гас. Током топљења долази до реакције делимичне редукције виших оксида гвожђа и бакра, оксидације сумпора и образовања троске:



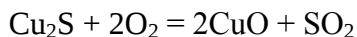
Сулфиди бакра и гвожђа топећи се дају примарни камен, при чему се одигравају реакције путем којих се растоп обогаћује са баком, а осиромашује у гвожђу:



Упоредо са овим се одигравају и друге реакције:



Или



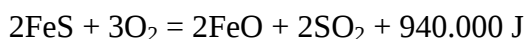
Густина бакарног камена износи око 5 g/cm^3 , а троске око $3,5 \text{ g/cm}^3$, па се зато бакарни камен скупља на дну, а троска у горњем слоју у пећи. Камен садржи 23-28% сумпора, 16-60% бакра и 50-15% гвожђа. Састав троске се мења у широким границама, али њене главне компоненте су SiO_2 (45-30%) и FeO (25-45%).

За добијање бакарног камена употребљава се јамаста пећ чије су димензије: дужина 35-40 m, ширина 7-10 m, а висина 3,5-4,5 m, док се капацитет креће у границама до око 1500 тона за 24 часа. Облога пећи се подешава у зависности од тога да ли у мешавини за топљење преовлађују кисели или базни оксиди. Тако су зидови израђени од магнезитних опека, а под се прекрива кварцним песком који се пре прве употребе пећи стапа у густу масу.

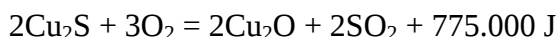
3.3. Добијање сировог бакра

Са прерадом и добијањем бакра из камена крајем XIX века (1886.) почео се користити конвертор. Бакар се добија у специјалном конвертору, путем продувавања ваздуха кроз истопљени бакарни камен. Најчешће су у употреби цилиндрични или бубњастии конвертори спољњег пречника 2,3-4 m и дужине 4,5-10 m. Највећи конвертори имају капацитет до 100 тона бакра по једном циклусу. Облажу се магнезитним и хром-магнезитним опекама. Ваздух се удубава кроз низ отвора распоређених дуж цилиндричног омотача конвертора.

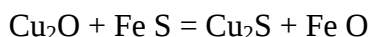
Цилиндар се ослања са два своја бандажа на четири пара ваљака, који му омогућују постављање под углом који је неопходан за уливање бакарног камена и за изливање продуката топљења. Процес прераде бакарног камена у конвертору одвија се у две фазе. У конвертор се прво убацују велики комади кварца, на који се улива растопљени бакарни камен, па се затим продувава са ваздухом, који енергично мешајући бакарни камен оксидише сулфиде бакра и гвожђа:



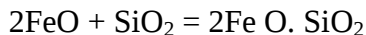
Бакар и његове легуре



При томе, Cu_2O реагује са FeS и поново прелази у сулфид:



Тако се у првој фази практично одиграва једино оксидација гвожђа и прелазак феро-оксида у треску:

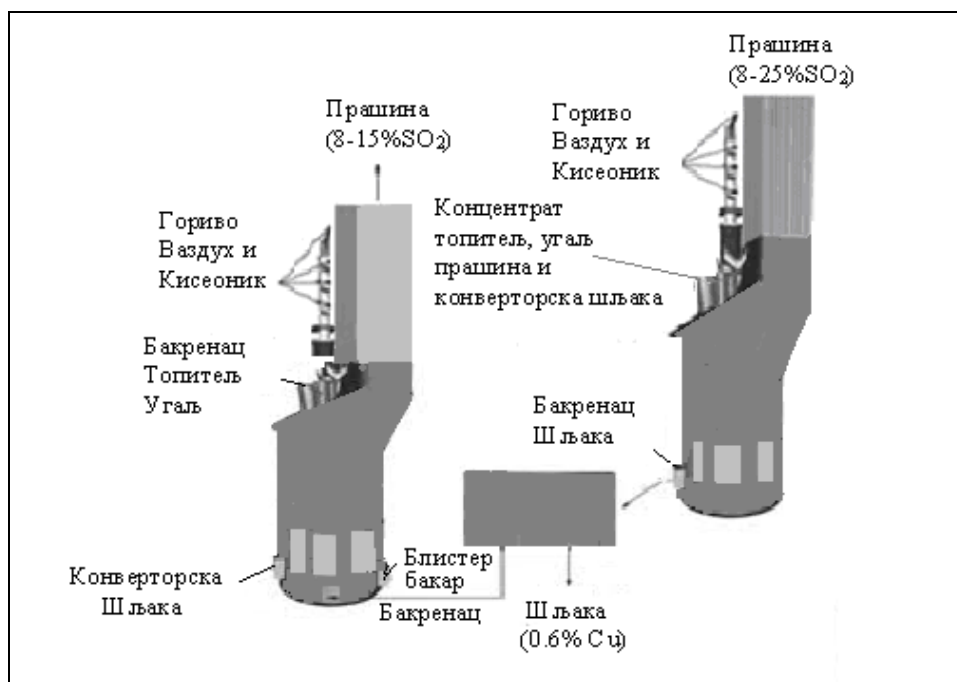


Створена треска се периодично испушта из конвертора, а додају се свеже количине бакарног камена и комадастог кварца. Температура бакарног камена при уливању у конвертор износи око 1200°C , а током дувања ваздуха, услед великог издвајања топлоте при оксидацији сулфида, температура се повећава до 1350°C . Трајање прве фазе зависи од количине бакра у бакарном камену и износи 6-20 часова. Прва фаза се завршава када је у бакарном камену оксидисан целокупан FeS . После тога се пажљиво одваја треска и продужава се дување без додавања бакарног камена или кварца. Овим започиње друга фаза, у којој се одвија оксидација белог бакарног камена (Cu_2S) до бакар-оксида (Cu_2O) који реаговањем са Cu_2S омогућује појаву металног бакра:



Друга фаза се завршава када се сав бели бакарни камен у конвертору претвори у бакар, што се обично одиграва у току од 2-3 часа.

У другој фази рада конвертора образује се мала количина треске богате са бакром, која остаје у њему после изливања сировог бакра, а прерађује се у следећем циклусу.



Слика 3.6 Комбинација пећи (топљење, раслојавање, конвертовање)

Конверторска треска из прве фазе се шаље на прераду у јамасту пећ. Конверторски гасови садрже 12-17% SO_2 . Они се пажљиво сакупљају и после одвајања прашине, користе се за добијање сумпорне киселине. По завршетку конверторског процеса, сирови бакар се нагињањем конвертора излива у лонац, одакле се лије у металне калупе. Бакар добијен у конвертору зове се сирови или црни бакар, јер још увек садржи 1-2% примеса и то: Fe, Zn, Ni, As, Sb, O и S и друге примесе, а такође и растворене племените метале (до 3%).

3.4. Рафинација бакра

Сирови бакар се увек подвргава рафинацији ради издвајања примеса, које му погоршавају особине, а такође ради издвајања племенитих метала, као што су злато и сребро. У савременој пракси рафинација се изводи наизменично помоћу два у принципу различита поступка:

- Пирометалуршког и
- Електролитичког поступка.

3.4.1. Пирометалуршка рафинација бакра

Пламена или пирометалуршка рафинација бакра изводи се у јамастим пећима. За разлику од јамастих пећи за добијање бакарног камена, ове пећи су мањих димензија (ширина 5 m, дужина 12-15 m и дубина 9 m). У ове пећи може да стане око 400 тона бакра. Када пећи се облаже са магнезитним опекама. Пећ се загрева са мазутом, гасом или угљеном прашином. Читав циклус пламене рафинације састоји се од следећих операција:

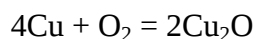
- Пуњења пећи,
- Топљења,
- Оксидације примеса,
- Удаљавања растворених гасова,
- Дезоксидације бакра и ливења анода (слика 3.7), за што је потребно 12-16 h.



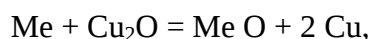
Слика 3.7 Изливање анода

Ако се рафинација врши у истој фабрици где се производи и сирови бакар, онда се пећ за рафинацију пуни са течним металом, чиме се трајање рафинације знатно смањује. Оксидација примеса у сировом бакру врши се ваздухом, који се удубава кроз челичну цев пречника 20-40 mm. Ова цев је обложена са ватросталним материјалом и уроњена у ватростални бакар. Оксидација се одвија на површини ваздушних мехурића.

Пошто је брзина оксидације пропорционална концентрацији метала у кади, најбрже ће се оксидисати бакар:



Бакар-оксид се раствара у растопљеном бакру до 10% и захваљујући мешању са ваздухом брзо се распростире по читавој запремини каде, па се оксидација примеса углавном дешава посредством бакар-оксида по општој реакцији:



где се са Me означавају све металне примесе. Оксиди примеса испливавају на површину метала и стварају троску, чије брзо одвајање доприноси дубљој рафинацији. На

Бакар и његове легуре

тај начин се одстрањује главни део таквих примеса, као што су : Al, Si, Mr, Zn, Sn, Fe, Ni, Pb, S и делимично Sb, As и Bi.

У бакуру остају неоксидисани злато и сребро, а такође и селен и телур. Да би се из бакра одстранили растворени гасови, у каду са металом се потапају дрвене облице, из којих се при томе издвајају гасовити угљоводоници. Они бурно мешају бакар и одстрањују из њега сумпор и друге гасове. Неке фабрике уместо дрвета користе природни гас, смешу паре и мазута или друга гасовита средства за редукцију, која су отпадак у некој другој производњи. После удаљавања гасова, за добијање пластичног бакра врши се дезоксидација, пошто садржи Cu_2O у металу после оксидације достиже 12%. Као дезоксиданси служе гасовити угљоводоници који се удувавају у метал кроз посебну металну цев.

Процес се одвија по реакцији:



Троске добијене при рафинацији садрже 5-40% SiO_2 , 5-10% Fe, 35-45% Cu, углавном у облику оксида. Осим њих у троски могу бити ZnO, NiO и друге примесе. После пламене рафинације бакар се лије у квадратне плоче са ручицама, дебљине 40-50 mm и по метар дужине и ширине (маса 250-320 kg). Ове плоче се користе као аноде за електролитичку рафинацију бакра, јер њихова чистоћа од 99,8% Cu, није довољна за потребе електротехнике. Бакар ове чистоће може се прерађивати у лимове, цеви, чауре, ливене предмете и друго.

3.4.2. Електролитичка рафинација бакра

Електролитичка рафинација бакра врши се у кадама напуњеним раствором бакар сулфата, који је потопљен са сумпорном киселином. У кадама дужине 3-5 m, ширине 1,0-1,1 m и дубине 1,0-1,3 m, постављено је 45 катода и 44 аноде. Каде се праве од бетона или дрвета, а зидови су обложени пластиком, оловом или другим кисело-отпорним материјалом. Аноде се повезују са позитивним полом извора једносмерне струје. Паралелно свакој аноди поставља се основа катоде, коју чине танки листови (0,2-0,3 mm) електролитичког бакра. Катоде су обично шире и дуже од аноде. На слици 3.8 приказана је када напуњена анодама и катодама.

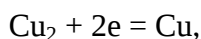


Слика 3.8 Изглед када напуњених анодама и катодама

При електролизи бакар из аноде прелази у раствор:



На катоди се јони бакра редукују по реакцији:



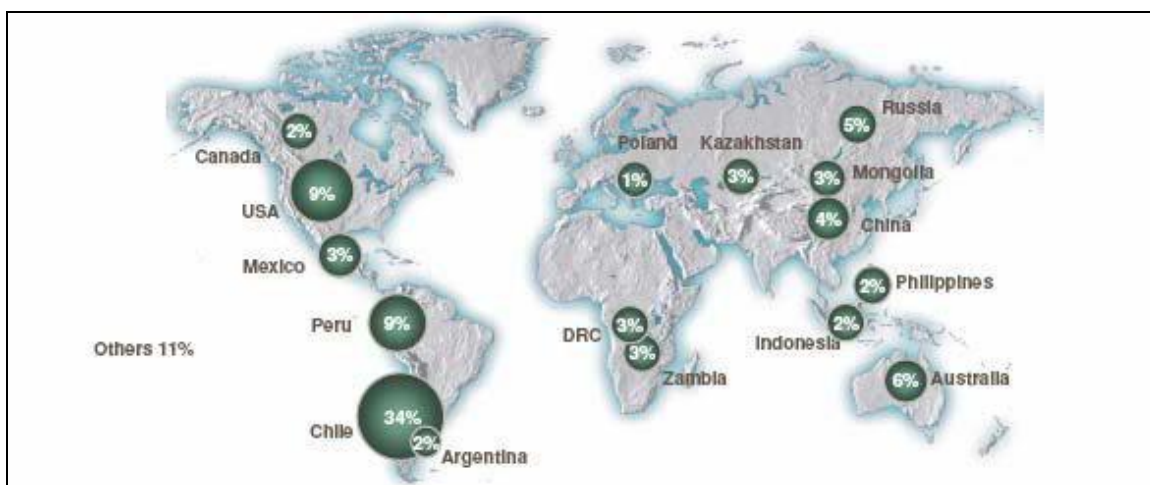
градећи при томе густе кристале на катодној основи. Примесе које имају негативнији потенцијал од бакра Zn, Fe, Bi, Ni, Sn, Sb, As, и друге, прелазе у раствор, али се не

Бакар и његове легуре

издвајају на катоди све док је у раствору присутна значајна количина јона бакра. Злато и сребро не прелазе у раствор већ се таложе на дну каде заједно са тешко растворљивим једињењима Sb, As, S, Se и Te образујући анодни муљ. Напон између аноде и катоде износи 0,3 V при густини струје 150-250 A/m², а електролит садржи 30-40 g/l бакра и око 200 g/l. H₂SO₄. Температура електролита се одржава у границама од 50-55°C. Потрошња електричне енергије је 230-240 kW/h. Електролит у кадама непрекидно циркулише преливајући се из једне каде у другу и периодично се пречишћава од накупљених примеса. Растварање аноде траје 25-30 дана, зависно од њихове масе и услова електролизе. Остаци анода који чине 15% од њихове првобитне тежине, извлаче се и замењују новим анодама. Катоде се ваде после 5-12 дана да би се избегао кратак спој катодног талоба са анодом. Муљ се периодично вади при чишћењу каде и даље прерађује ради издвајања корисних компонената. У муљу често има 35% Ag, 14-16% Cu, 5-6% Sb, 6% Se, 3% Te и до 1% Au. После вађења из каде, катоде се испирају са водом, а потом шаљу у производњу легура или се потапају у електричним пећима после чега се лију у полупроизводе за ваљање или иду на континуирано ливење. Електролитички бакар је чистоће 99,98%.

3.5. Произвођачи бакра

Најважнији произвођачи бакра су Чиле, САД, Индонезија, Аустралија, Перу, Замбија и ДР. Конго. На слици 3.9 се могу видети процентуални удели залиха бакра у целом свету. Такође, можемо видети и да је Чиле далеко испред осталих држава света по залихама бакра.



Слика 3.9 Проценат удела залиха бакра у свету

Једина европска држава наведена на карти са свега 1% удела залиха бакра је Пољска, што не искључује постојање бакра и његових руда на нашим просторима. Међутим, сама логика намеће закључак да се ради о подручју сиромашним баком и да данас активни рудници, талионице и остала постројења везана за бакар служе као евентуална туристичка атракција или као докази да се у овим крајевима бакар вадио и прерађивао.

4. Бакар и његове легуре

Легуре бакра се могу класификовати према:

1. Начину израде,
2. Намени,
3. Броју главних легирајућих елемената,
4. Природи главних легирајућих елемената.

1. Према начину израде разликују се:

Легуре за ливење, које се одликују ливењем у пешчане калупе, лију се центрифугално или под притиском.

– Легуре за гњечење, које се обликују пресовањем, ваљањем, вучењем итд.

2. Према намени разликују се:

– Легуре за додавање и дезоксидацију, и

– Легуре за спајање, лемљење и заваривање.

3. Према броју легирајућих елемената постоје:

– Двокомпонентне,

– Трокомпонентне и

– Сложене Cu-легуре

У машинству легуре бакра имају знатно већу примену од чистог бакра. Бакар се успешно легира многим елементима као што су: Zn, Pb, Al, Sn, Mn, Si...(табела 4.1).

Табела 4.1 Преглед легура бакра и њихови уобичајени називи

Основа система	Евентуални даљи додаци	Назив
Cu – Zn	Pb	Месинг и томбак
Cu – Zn	Ni, Sn, Al, Pb, Mn, Fe, Si	Специјални месинг
Cu – Sn	Zn, P	Бронза (калајна)
Cu – Al	Ni, Fe, Mn	Алуминијумска бронза
Cu ⁺ →	Mn, Si, Ni, Cd, Be	Специјална бронза
Cu – Ni – Zn	Pb, Mn, Fe, Al	Ново сребро
Cu ⁺ →	Zn, Ni, Mn, Si, Ag, P	-

4.1. Технички чист бакар

Технички чист бакар је мек и сјајан метал, црвенкасте боје, врло велике топлотне и електричне проводљивости. Заступљен је у земљиној кори у виду минерала.

Технички бакар је веома пластичан, па се лако обрађује ваљањем, ковањем, пресовањем, извлачењем на хладно и топло. На ваздуху чист бакар оксидише, а у присуству влаге превлачи се танким слојем зелене патине која га штити од даље корозије. Технички чист бакар је веома постојан метал, па се због тога користи за израду ваздушних водова у свим поднебљима. На слици 4.1 је приказана микроструктура полираног чистог бакра.



Слика 4.1 Микроструктура полираног чистог бакра

4.2. Нисколегирани бакар

У пракси се врло често не примењује чист бакар већ нисколегирани бакар, који у свом саставу има у извесним количинама додатне елементе који му знатно побољшавају својства.

Бакар са врло садржајем сребра, типа CuAg0,1P , примењује се за израду комутатора, ламела колектора, електричних контаката, с обзиром на врло високу проводљивост. Израђује се у облику полупроизвода намењених електротехници.

Бакар са врло малим садржајем арсена, типа CuAsP , примењује се за израду лежишта, цевовода, кондензаторских цеви и сл. Веома је отпоран према морској води и има средњу затрзну чврстоћу од 400-600 Мпа.

Бакар са малим садржајем кадмијума, типа CuCd0,5 , средње затезне чврстоће са врло високом електричном проводљивошћу и повећаном постојаношћу према високим температурама. Примењује се за израду ужади, електричних ваздушних водова и сл.

Бакар са садржајем кадмијума, типа CuCd1 , примењује се за израду електрода за тачкасто и шавно заваривање. Врло је високе електричне проводљивости и постојаности на повишеним температурама и средњом затезном чврстоћом.

Бакар са садржајем мангана, типа CuMn2 и CuMn5 , веома је постојан према високим температурама и према корозији због чега се примењује у хемијској индустрији.

Бакар са садржајем силицијума, типа CuSi2Mn и CuSi3Mn , има веома добру способност заваривања, са високом постојаношћу на вишим температурама и високом постојаношћу према корозији. Примењује се за израду делова апарата за хемију, на пр. чепова, навртки, завртња и сл.

Бакар са малим садржајем сумпора, типа CuSP као и бакар са малим садржајем телура, типа CuTeP , располажу врло високом електричном проводљивошћу. С обзиром да се веома добро машински обрађује примењује се за израду делова на машинама аутоматима, а такође се веома добро обрађују деформисањем како у хладном тако и у топлом стању.

Бакар са малим садржајем магнезијума, типа CuMg0,4 , с обзиром на врло високу електричну проводљивост и високу затезну чврстоћу (око 600-1000 МПа), користе се за електроваздушне проводнике.

Бакар са нешто већим садржајем магнезијума, типа CuMn0,7 , примењује се за електро ваздушне водове.

Бакар са садржаје берилијума, типа CuBe1,7 и CuBe2 имају врло високу затезну чврстоћу (преко 1000 МПа) и средњу електричну проводљивост. Такође их карактерише и велика отпорност на повишеним температурама. Примењује се за израду опруга, мембрана, као и делова алата који не смеју да варниче.

Бакар са садржајем кобалта и берилијума, типа CuCoBe , средње електричне проводљивости, а с обзиром на веома високу отпорност на повишеним температурама,

Бакар и његове легуре

примењује се за проводнике за тачкасто заваривање, као и за електроде за шавно заваривање.

Бакар са садржајем хрома, типа CuCr, има врло високу електричну проводљивост, средњу затезну чврстоћу, врло високу отпорност на повишеним температурама.

Бакар са садржајем никла, типа CuNi1,5Si, CuNi2Si и CuNi3Si имају високу затезну чврстоћу и средњу електричну проводљивост, а примењују се за израду завртња, чепова и сл.

4.3. Легуре бакра са цинком-месинзи

Легуре бакра са цинком се могу поделити на следеће групе:

- Двокомпонентне легуре Cu-Zn (обични месинг и томбак)
- Специјалне легуре Cu-Zn (специјални масинг)
- Трокомпонентне легуре Cu-Ni-Zn (ново сребро)
- Трокомпонентне легуре Cu-Zn-Sn (црвени лив). То су легуре које представљају прелаз од месинга ка бронзама.

4.3.1. Легуре бакра са цинком (Обични месинг)

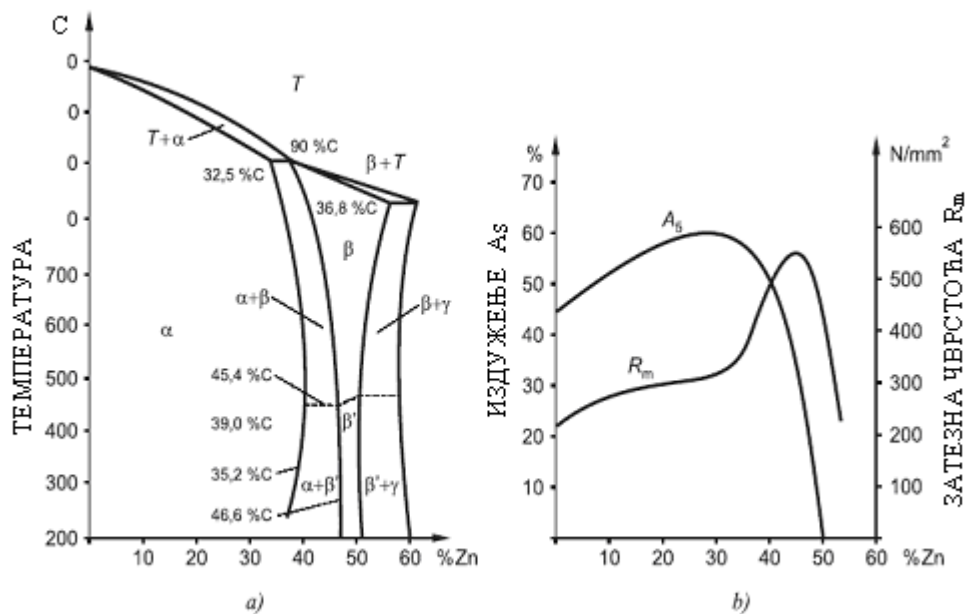
Легуре бакра са цинком, које се у пракси називају обични месинзи, имају у свом саставу више од 50% бакра, а одликују се високом отпорношћу према корозији као и добрим механичким својствима због чега је широко примењен материјал у машинству. Месинг може бити и вишекомпонентна легура, јер ипак се под месингом подразумева легура бакра и цинка.

Може се рећи да се најбољи однос механичких својстава постиже при садржају цинка од око 40%. Наиме затезна чврстоћа расте све до 44- 45% цинка, али пластичност (издужење) благо опада већ после 30% цинка. Механичка својства месинга зависе како од садржаја цинка у легури, тако и од степена евентуалне механичке обрададе.

Група легура бакра и цинка у којој је проценат цинка знатно нижи (од 5 до 20%) назива се **томбак**. Томбак се употребљава у декоративне сврхе, јер су му сјај и боја слични злату. Поседује веома добру отпорност на корозију па се примењује за унутрашњу архитектуру, уметничко занатство и сл.

У том смислу се код месинга, с обзиром на степен извршене хладне деформације, разликују следећа стања:

- Меко,
- Полутврдо, и
- Тврдо стање.



Слика 4.2 а) Дијаграм стања Cu-Zn, и б) Приказ утицаја цинка на механичка својства

Главне легуре бакара с цинком, месинзи, су најраспрострањеније легуре бакара с врло разноликом применом која следи на основу следећих својстава: добре електричне и топлотне проводљивости, добрих механичких својстава, могућности прераде у хладном и топлом стању и антикорозивности. Везу између микроструктуре и механичких својстава месинга може се пратити применом равнотежног дијаграма стања Cu-Zn и дијаграма у којем је приказана зависност чврстоће и издужења од удела цинка (слика 4.2).

При перитектичној температури од 902°C бакар раствара до 32,5 %Zn. Растворљивост расте до 39 % са снижењем температуре на 454°C . Уз врло споро хлађење, што омогућава постизање равнотеже, растворљивост цинка у баку опада до 35,2 % при 250°C . Дифузија цинка је врло спора, тако да уз индустријске брзине хлађења остаје на собној температури око 37 % Zn раствореног у кристалним зрнцима бакара означених α . Порастом удела цинка у легури изнад 37 % појављује се у микроструктури интерметална фаза β' (сређена структура) која одговара саставу Cu-Zn. β' -фаза је тврда, али прилично жилава на собној температури. Загревањем изнад 454°C прелази у облик β (несређена структура) која може мењати облик деформисањем. Између 45 и 50 % Zn легура је монофазна. Микроструктура се састоји само од интерметалне фазе β' . Даљи пораст удела цинка изнад 50 % доводи до појаве γ -фазе у микроструктури. Она је врло крта и због тога је легура неповољна за инжењерску примену. Због таквих својстава појединих фаза техничке легуре не садрже више од 44 %Zn.

Месинг ојачан услед извршене хладне деформације, може се поново довести у пластично стање ако се изврши његово рекристализационо жарење на температури од $500\text{--}700^{\circ}\text{C}$. При овоме се уклањају и штетна унутрашња напрезања и постиже најбоља пластичност. Месинг је склон спонтаној појави прелина у току дужег времена, ради постојања заосталих напона као последице обраде деформацијом. Основни разлог за ово лежи у тзв. напонској корозији. Ово се може избећи вишесатним нискотемпературним жарењем (на 250°C). Међутим потпуна ефикасност се постиже само применом потпуне рекристализације на око 600°C . На слици 4.3 приказана је микроструктура легуре бакара и цинка.



Слика 4.3 Микроструктура легуре бакра и цинка (месинга)

Основна подела месинга према технолошкој намени је следећа:

- Месинг за гњечење,
- Месинг за ливење.

Посебна разлика између ових врста не постоји. Треба напоменути да је обрада деформацијом у хладном стању тежа уколико расте садржај цинка у легури (расте тврдоћа, опада пластичност). Ако је садржај цинка око 36%, месинг се нормално обрађује деформацијом у хладном стању. При садржају од 36- 42% цинка, може се обрађивати и у хладном и у топлом стању. Пластичност месинга расте са опадањем садржаја цинка до 28%, тако да су легуре са 28 до 33% цинка изузетно погодне за хладно обликовање.

На основу претходних разматрања месинзи се могу разврстати на:

- Хладно и
- Топло гњечене (обликоване) легуре.

Хладно гњечене легуре α - месинзи су по микроструктури једнофазне хомогене легуре.

Топло гњечене легуре ($\alpha + \beta$) - месинзи су легуре са више од 37 %Zn и до 60 %Cu готово су потпуно обрадљиве топлом прерадом.

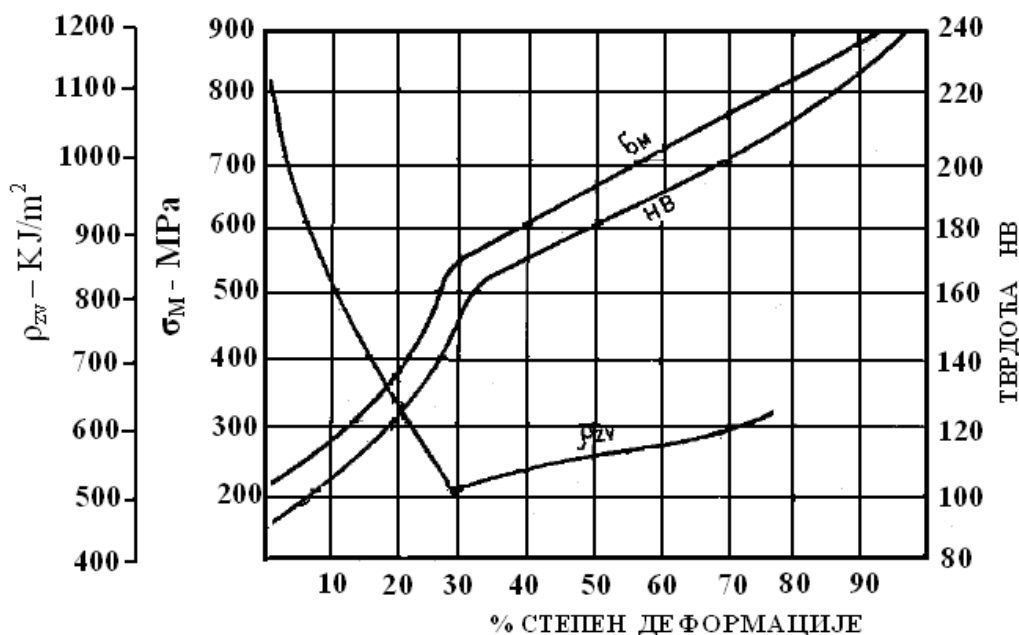
Ливени месинзи имају по правилу 36% до 43% Zn и 1% до 3% Pb, а посебни месинзи имају још и никл, алуминијум, гвожђе или манган. Ове легуре нису предвиђене за хладно обликовање због хетерогене ($\alpha + \beta$) микроструктуре, па се примењују у ливеном стању због повишене чврстоће.

Месинг типа CuZn10 и CuZn15 веома се добро хладно деформишу, па се користе за пресовање, ковање и извлачење.

Месинг типа CuZn20 и CuZn28 користи се за прављење цеви манометара као и за друге врсте опружних цеви.

Месинг типа CuZn30 има веома добро својство пластичности, због чега се користи за израду дубоким извлачењем, тј. примењује се за израду цеви кондензатора и измењивача топлоте.

Месинг типа CuZn33 се добро пластично обрађује, посебно при сабијању, због чега се најчешће користи за траке хладњака и шупље закивке. На слици 4.4 приказане су зависности тврдоће, затезне чврстоће и ударне жилавости од степена деформације.



Слика 4.4 Зависност тврдоће, затезне чврстоће и ударне жилавости од степена деформације за месинг CuZn33

Месинг типа CuZn37 и CuZn40 се добро пластично обрађују извлачењем, ковањем, пресовањем, савијањем и ваљањем. Користе се за траке за хладњаке, завртње за дрво, опруге и сл.

4.3.2. Специјалне легуре Cu-Zn (Специјални месинзи)

Ово су сложене легуре које уз бакар и цинк садрже алуминијум, никл, манган, гвожђе и силицијум и то појединачно или у комбинацији. Имају боља механичка својства и већу отпорност према корозији од легура бакра са цинком и оловом.

Додатак алуминијума има највећи утицај на механичка својства у односу на све састојке у специјалном месингу, али истовремено изазива крти лом. Тако садржај алуминијума повећава затезну чврстоћу и границу течења, при лему опада издужење и сужење. Пример ове врсте специјалног месинга је типа CuZn21Al2 који се користи за израду цеви за кондензаторе и измењиваче топлоте (слика 4.6) и пужне преноснике (слика 4.5).

Додатак калаја је позитиван у случају ак се он налази у чврстом раствору α - фазе (највише 1-1.2 %), док већи садржај изазива знатан пораст тврдоће, али и нагли пад пластичности и ударне жилавости. Пример специјалног месинга са калајем је типа CuZn28Sn1 и CuZn38Sn1 који се користе за израду цеви за кондензаторе и размењиваче топлоте, односно за окове моторних чамаца.

Додатак гвожђа у малим количинама (0.2-1.5%) има утицаја на уситњавање структуре због чега утиче на незнатно повећање својства чврстоће. Поред тога присуство гвожђа омогућује термичку обраду путем старења чиме се постиже повећање тврдоће за 30-40%.

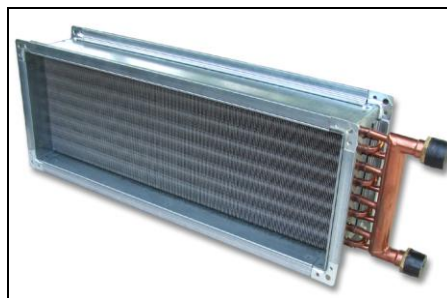
Додатак мангана код специјалног месинга везан је за присуство алуминијума и гвожђа и његов садржај треба да буде ограничен на 1 %. Заједно са алуминијумом и гвожђем, манган утиче на повећање границе течења.

Специјални месинг типа CuZn39AlFeMn4 је легура са високом вредношћу ударне жилавости и средњом чврстоћом. Отпоран је према атмосферској средини.

У стандардне врсте ових легура спадају: P.CuZn25Al6Fe3Mn3.001; CuZn38Al2Mn3Ni.00.



*Слика 4.5 Пужни преносник
од бакра*



*Слика 4.6 Измењивач топлоте
са бакарним цевима*

4.3.3. Легуре бакра са калајем и цинком (Црвени лив)

Садрже 4 до 8% калаја и 2 до 6% цинка, а могу имати и до 8% олова. Затезна чврстоћа износи им од 200 до 250 N/mm², издужење од 10 до 20%, а тврдоћа од 60 до 80НВ. Одликују се добрим клизним својствима па се користе за израду клизних лежишта. Од њих се производе и кућишта пумпи, арматура за воду и гасове, мембране, опруге и манометарске цеви. Примењује се као легура за:

- Легура за гњечење, и
- Легура за ливење.

4.3.3.1. Легура бакра са калајем и цинком – црвени метал за гњечење

Додатак цинка у легури црвеног метала у садржају од 3-5% и калаја 3-5% и евентуално и олова, добија се веома добра легура за гњечење.

Црвени метал CuSn4Zn4 користи се за манометарске цеви и за опруге.

Црвени метал CuSn4Zn4Pb4 користи се за клизна лежишта.

4.3.3.2. Легура бакра са калајем и цинком – црвени лив

Црвени лив у односу на црвени метал има знатно већи садржај калаја који се креће у садржају од 11- 4% и цинка од 6 - 1% уз додатак олова 2 - 6%.

Црвени лив типа P. CuSn10Zn2, C. CuSn10Zn2 и 4N.CuSn10Zn2 је тврда легура која се примењује за напегнута клизна лежишта и плоче, за пужне точкове малих брзина и сл.

Црвени лив типа P.CuSn7Pb6Zn4, C.CuSn7Pb6Zn4 и N. CuSn7PbZn4 је средње тврда легура са добрим клизним својствима у условима слабог подмазивања. Примењује се за клизна лежишта, односно шкољке лежишта бродских вентила и сл.

4.3.4. Треће компоненте у месингу

Алуминијум(Al)- Алуминијум знатно повећава чврстоћу, а не мења издужење и пластичност. Додаци алуминијума на површини формирају танке оксидне филмове, што на температури жарења знатно штити од оксидације. Додатком 2% алуминијума потпуно престаје оксидација месинга на вишим температурама.

Гвожђе - (Fe) у месингу уситњује његово кристално зрно. Додаци изнад 0.2%Fe повећавају чврстоћу и температуру рекристализације месинга.

Никал(Ni) - Додаци Ni у месингу повећавају његову отпорност према корозији и уситњавају зрно код жарења. Легурама из $\alpha + \beta$ подручја знатно повећавају чврстоћу, док се тај утицај у легурама из α -подручја не примећује.

Манган(Mn) - Mn повећава антикорозност месинга у морској води. До 4% Mn повећава чврстоћу, без смањења жилавости и пластичности. Већи додаци Mn смањују знатно дуктилност. Mn даје месингу лепу смеђу боју.

Фосфор(P) – P у месингу уситњава зрно и смањује унутрашња напрезања.

Бакар и његове легуре

Силицијум(Si) - Si утиче углавном на ливкост месинга.

Олово(Pb)- Pb се додаје месингу ради повећања његове могућности резања. Месингу се олово додаје ако је намењен обради на аутоматима. На слици 4.7 је приказана микроструктура месинга са садржајем олова.



Слика 4.7 Микроструктура месинга са садржајем олова

4.4. Легуре бакра без цинка – бронзе

Легуре бакра без цинка – бронзе су двокомпонентне, трокомпонентне и сложене Cu легуре. На слици 4.8 је приказана микроструктура бронзе. Бронзе могу бити:

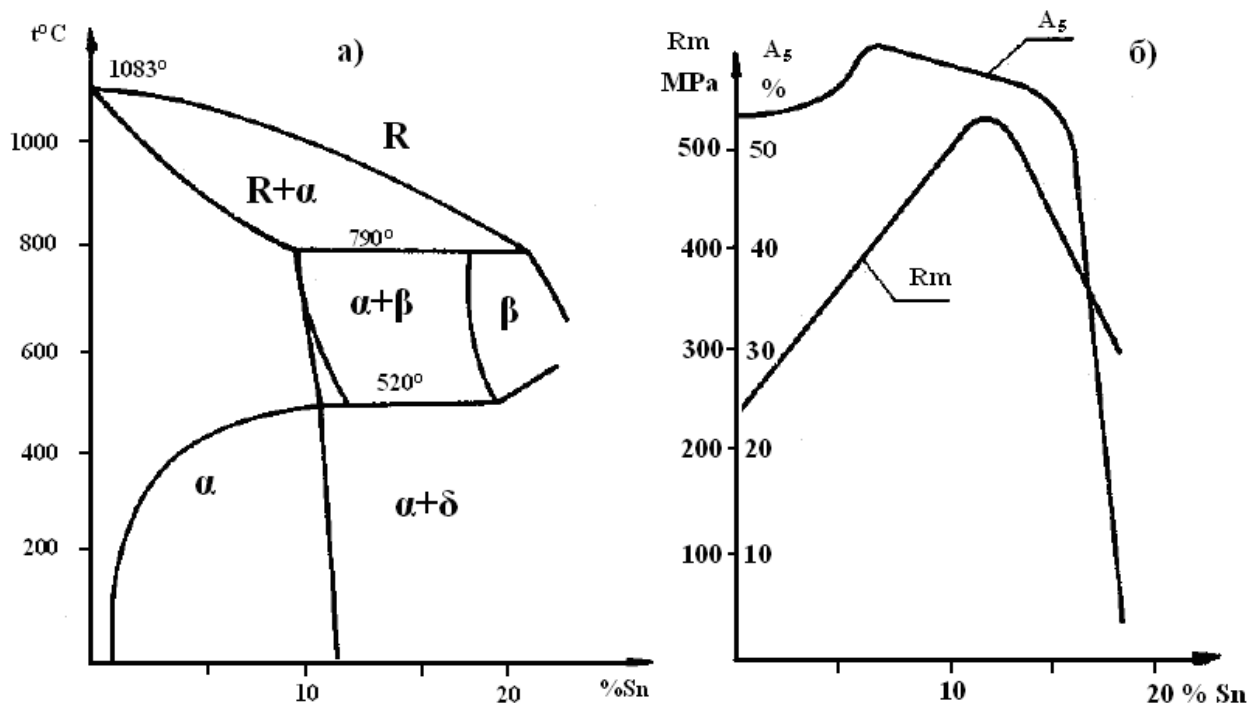
- Калајна бронза - легуре Cu-Sn
- Алуминијумска бронза - легуре Cu-Al
- Никлова бронза - легуре Cu-Ni
- Оловна и оловнокалајна бронза - легуре Cu-Pb и Cu-Sn-Pb
- Силицијумска бронза легуре Cu-Si
- Берилијумска бронза
- Манганска бронза



Слика 4.8 Микроструктура бронзе која има дендритну (у облику јелке) структуру

4.4.1. Калајна бронза - Легуре Cu-Sn

Под бронзом се подразумева легура бакра и калаја. Бронзе добијају име према главном додатном елементу. Легуре бакра, које као основни додаток садрже калај, чине базни тип бронзи. Те легуре имају висок ниво карактеристика на чврстоћу, отпорне су на хабање и корозионо су постојане. На слици 4.9-а) дат је дијаграм стања двојне легуре бакра са калајем. У том систему базна фаза је α и она представља чврсти раствор калаја у бакру, а има површински центрирану кубну решетку.



Слика 4.9 а) Део дијаграма стања двојне легуре Cu-Sn , б) Утицај садржаја калаја на својство легуре Cu-Sn

Са гледишта садржаја калаја у бронзама могу се поделити на четири основна типа:

- Легуре, са садржајем Sn до 8 %, предвиђене за израду лимова и жица. Ове су легуре пластичне и деформибилне на хладно.
- Легуре, са садржајем Sn 8-12 %, користе се за израду машинских елемената, високо оптерећене лежачеве и арматуре отпорне на корозију, нпр. у морској води.
- Легуре, са садржајем Sn 12-20 %, широко се користе за лежачеве.
- Легуре, које садрже 20-25 %Sn, користе се за израду црквених звона. Ове легуре су веома тврде и релативно крте, па се првенствено користе у ливеном стању.

Ипак је само мали број технички коришћених бронзи конструисан само на основу бакра и калаја, наиме обично су техничке варијанте бронзи комплексније легиране, да би се достигао виши ниво тражених механичко-металуршких особина.

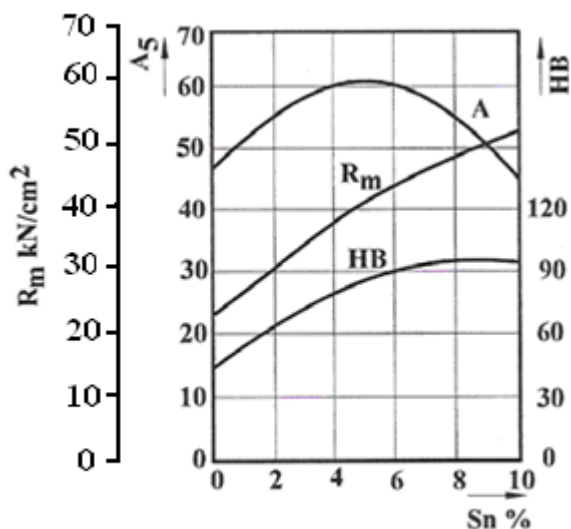
У калајним бронзама највећи садржај калаја не иде преко 20%. Присуство калаја у легури утиче на повећање њене чврстоће и истовремено опадање пластичности. Ово опадање пластичности није посебно велико до садржаја калаја до 5%, али је после тога знатно брже. Због тога је код бронзи за ливење садржај калаја већи него код бронзи за обраду деформацијом. Чврстоћа расте све до 15% калаја, а затим почиње да опада.

Растворљивост калаја у бакру зависи од температуре легуре. Тако највећа растворљивост износи 15.8% на температури 520°C. Повећањем температуре опада растворљивост на 13.5% Sn на температури 790°C, а снижавањем температуре растворљивост опада на 1.3% Sn на температури 200°C.

Структура ливених бакар-калајних легура значајно одступа од равнотежне структуре јер се у легурама већ при садржају 6%Sn јавља се поред неједнородног α-чврстог раствора богатог оловом и еутектика α+δ. Настанак веома крте δ-фазе у структури калајне бронзе омогућује пластичну прераду због чега се бронзе са садржајима Sn већим од 5-6% користе искључиво као легуре за ливење. Калајна бронза се одликује добром ливкошћу и малим скупљањем које износи 1%, што је у односу на ливено гвожђе и челични лив знатно мање. Утицај садржаја калаја на затезну чврстоћу и способност деформације одређен је

дијаграмом на слици 4.9- б). Највећа затезна чврстоћа је за калајну бронзу са око 12% калаја, а при нешто већем садржају јавља се нагли пад способности деформације услед појаве δ -фазе.

Калајне бронзе се с обзиром на основну технолошку намену деле на бронзе за обраду деформацијом и бронзе за ливење. Механичка својства калајних бронзи за гњечење зависе, како од њеног састава, тако и од стања односно степена претходне пластичне деформације у хладном стању. Механичка својства бронзе у зависности од садржаја калаја приказана су на слици 4.10. У том смислу се код бронзи за гњечење разликују следећа стања: меко, жарено, полутврдо и тврдо.



Слика 4.10 Механичка својства бронзе у зависности од садржаја калаја

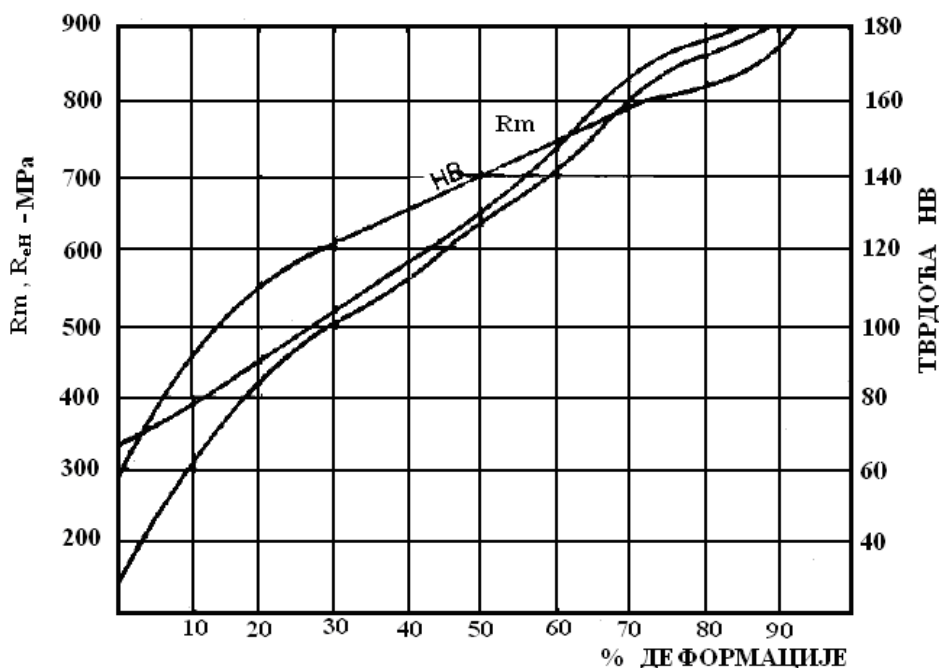
Бронзе за ливење имају својство доброг испуњавања калупа, али су уједно веома отпорне према хабању и корозији што их чини посебно погодним за израду клизних лежишта, пужних преносника, делова пумпи и слично. Уопште се може рећи да је код калајне бронзе остварена погодна комбинација добре корозионе отпорности, обрадивости и механичких својстава. Овome треба додати и добру обрадивост резањем.

Према технолошкој намени калајне бронзе могу се поделити на:

- Легуре за гњечење,
- Легуре за ливење.

4.4.1.1. Калајна бронза за гњечење

Калајна бронза за гњечење у свом саставу има 3-10% калаја и додатак малих количина фосфора. Калајна бронза типа $CuSn_5$ примењује се за кабловске спојнице, папуче, опруге које спровode електричну струју. Калајна бронза типа $CuSn_7$ примењује се за опруге свих врста за електроиндустрију, савитљиве цеви манометара, металне тканине, мреже за сита, клизајућа тела и сл. Калајна бронза типа $CuSn_9$ користи се исто као код типа $CuSn_7$, али у случајевима када је потребна још већа отпорност на хабање, а и већа корозиона постојаност. На својства чврстоће калајне бронзе утиче примењени степен хладне деформације. Тако да са порастом процента деформације расте тврдоћа, затезна чврстоћа и граница течења што илуструје слика 4.11. Последњих година, с обзиром на цену калаја, примењују се бронзе у којима се калај замењује цинком. Ради побољшања обрадивости резањем овим легурама се додаје олово, а ради повећања затезне чврстоће легурама се додаје никл или манган. Калајне бронзе за гњечење служе за израду опруга, завртњева, жичаног намотаја, кондензаторских цеви.



Слика 4.11 Утицај степена деформације на затезну чврстоћу, границу течења и тврдоћу калајне бронзе CuSn5

4.4.1.2. Калајна бронза за ливење

Калајне бронзе за ливење имају у свом саставу 9-15% калаја са додатком фосфора који игра улогу дезоксидатора ради одстрањивања врло кртих облика оксида калаја SnO. Структура ливене калајне бронзе у знатној мери се разликује од равнотежног стања, јер већ и при садржају 5% калаја се у структури јавља δ -фазе. Тако неједнородни α -чврсти раствор у процесу очвршћавања ствара дендритну структуру, а појава δ -фазе отежава пластичну прераду. Калајна бронза има веома мало скупљање, испод 1 %, због чега се она може применити и за уметнички лив. Међутим, има слабу житкост због чега у целокупној запремини се јављају ситне поре које умањују херметичност.

Калајна бронза типа P.CuSn12 је једна од најчешће примењених бронзи овог типа, а користи се за израду клизних лежишта и клизних плоча. Калајна бронза типа P.CuSn12, C.CuSn12 и N.CuSn12 су веома отпорне према хабању због чега се примењују за клизне плоче. Калајне бронзе типа P.CuSn10 и N.CuSn10 су веома отпорне на хабање и примењују се за арматуре, пужне точкове, клизна лежишта и сл. Калајне бронзе се ради побољшања својстава термички обрађују путем хомогенизационог жарења, рекристализационог и жарења ради отклањања унутрашњих напона. Хомогенизационо жарење изводи се загревањем на температури 650-750°C у трајању неколико десетина часова. То дуготрајно жарење је неопходно због врло мале брзине дифузије калаја у бакру. Потпуна једнородност структуре настаје тек после вишеструког жарења и изведене пластичне прераде.

Рекристализационо жарење изводи се у току хладне пластичне обраде као међуоперација ради побољшања способности пластичне обраде на хладно. Загревање се врши на температури 600-650°C, зависно од степена претходне пластичне деформације, у релативно кратком времену.

Жарење ради отклањања унутрашњих напона изводи се загревањем на 200°C после изведених технолошких процеса као што су ливење и топла пластична обрада. С обзиром на наведена својства калајне бронзе се најчешће користе за машинске делове који су изложени јаком трењу, притиску, динамичком оптерећењу и корозионим утицајима. Од

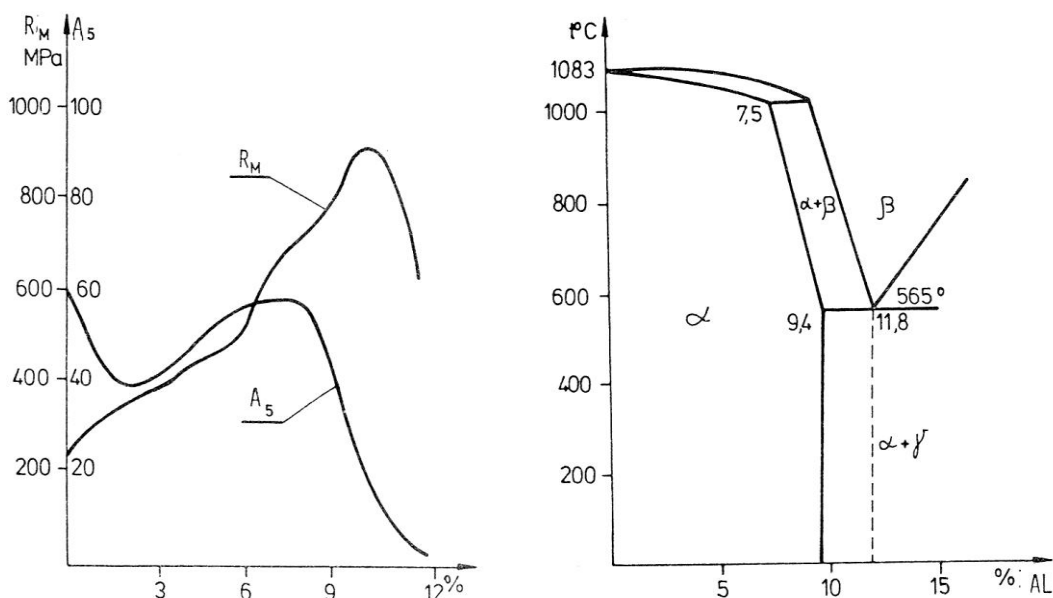
Бакар и његове легуре

ливених калајних бронзи израђују се клизна лежишта, пужни преносници, делови пумпи, различита арматура.

4.4.2. Алуминијумска бронза Cu-Al

Легуре бака са алуминијумом и другим пратећим елементима (манган, никл, гвожђе и др.) у пракси се називају алуминијске бронзе и у свом саставу имају највише до 11,5% алуминијума. Растворљивост алуминијума у баку износи 9,4% и она се не мења при загревању до температуре 565°C, а даљим загревањем та растворљивост опада до садржаја 7,5%.

Повећањем садржаја алуминијума преко 9,4%Al поред α -фазе јавља се β -фаза која се при нагом хлађењу-каљењу на температури 850-900°C распада на две фазе, односно у α -фазу и β -фазу. Повећањем садржаја алуминијума у легури система Cu-Al расте затезна чврстоћа, а при садржају око 10% постиже свој максимум (слика 4.12-а). Међутим, способност деформације са повећањем садржаја алуминијума опада до 2%Al, а затим расте и постиже свој максимум при 8%Al. На слици 4.12-б) приказан је дијаграм стања легуре бакар-алуминијум.



Слика 4.12 а) Утицај садржаја алуминијума на својства чврстоће алуминијумске бронзе,
б) Дијаграм стања легуре бакар са алуминијумом

. У пракси се у легуре бака и алуминијума додаје:

- Гвожђе које утиче на ситнозрност структуре што утиче на повећање чврстоће, тврдоће и отпорности на хабање.
- Никл који утиче на повећање топлотне и електричне проводљивости, а повећава и густину одливка.
- Манган који утиче на повећање својстава чврстоће и смањење пластичности уз повећање отпорности према корозији, посебно према морској води.

Поред поменутих елемената у алуминијумским бронзама се јавља арсен, антимон, олово, цинк, силицијум и др.

4.4.2.1. Алуминијумска бронза за гњечење

Алуминијумске бронзе се одликују добрим клизним својствима и чврстоћом, која се приближава вредностима чврстоће угљеничних челика, због чега у потпуности замењују калајне бронзе, што је веома значајно због дефицитарности калаја. Алуминијумске бронзе за гњечење користе се у хемијској и прехранбеној индустрији ради:

Бакар и његове легуре

- високе чврстоће при повишеним температурама,
- високе динамичке чврстоће,
- високе отпорности према корозији,
- отпорности према води, а посебно према морској води,
- добре ватроотпорности,
- добре постојаности према ерозији.

Алуминијумска бронза типа CuAl5 се примењује у хемијској индустрији и рударским постројењима. Алуминијумска бронза типа CuAl8 је веома отпорна према сумпорној и сирћетној киселини и морској води. Алуминијумска бронза типа CuAl8Fe3 примењује се у хемијској индустрији за ватроотпорне предмете обраде. Алуминијумске бронзе типа CuAl10Fe5Ni5 и CuAl9Mn₂ користе се за кондензаторске плоче (повећана електропроводљивост због додатка гвожђа и никла), за елементе хидрауличних уређаја и сл. Алуминијумске бронзе се, ради побољшања својстава, термички обрађују путем рекристализационог жарења, каљења и отпуштања и жарења ради отклањања унутрашњих напона.

Рекристализационо жарење изводи се загревањем на температури 650°C са циљем, као и код калајних бронзи, да се измене механичка својства и омогући даља механичка обрада.

Каљење и отпуштање алуминијумских бронзи користи се код типова бронзи које у свом саставу имају изнад 9,5%Al. Операција каљења састоји се из загревања на температури 850-900°C и наглог хлађења у води.

Загревањем изнад температуре 850°C у структури се јавља само β фаза, која при хлађењу неком брзином већом од критичне брзине хлађења, се трансформише путем бездифузионог процеса (као и код каљења челика) у игличасту структуру мета-стабилну фазу која се одликује знатно већом тврдоћом. После каљења алуминијумских бронзи у води врши се отпуштање на температурама 300-565°C. Тако нпр. отпуштање на температури 300°C даје тврдоћу 185НВ, а температури од 450°C даје тврдоћу 160НВ.

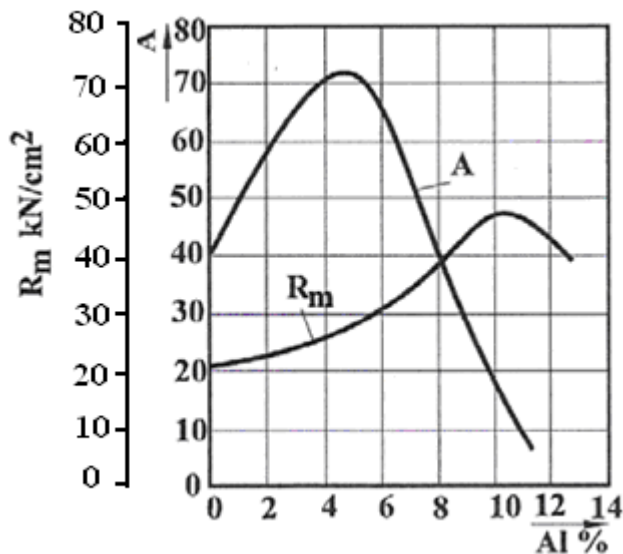
Жарење ради отклањања унутрашњих напона изводи се загревањем на температури 150-220°C у току неколико часова.

4.4.2.2. Алуминијумска бронза за ливење

Алуминијумске бронзе за ливење склоне су да стварају крупно-зрнасту структуру ради чега се често одливци брзо хладе, нпр. после ливења у калупима на ваздуху, а понекад и у води. Поред тога легуре система Cu-Al имају уски интервал кристализације због чега им је одлична ливкост, али зато је присутна појава концентрисане шупљине. Алуминијумска бронза типа P.CuAl9 и K.CuAl9 има веома добру отпорност према корозији због чега се користи за арматуре облика одливка у хемијској и прехранбеној индустрији. Алуминијумска бронза типа P.CuAl10Fe3 и K.CuAl10Fe3 због додатка гвожђа има знатно већу чврстоћу због чега се користе за арматуре облика одливака, за хемијску и прехранбену индустрију од којих се захтева отпорност према киселинама и висока чврстоћа. Алуминијумска бронза типа P.CuAl10Fe5Ni5 и K.CuAl10Fe5Ni5 због додатка гвожђа и никла има високу чврстоћу која достиже вредности чврстоће угљеничких челика и користе се за пужне преноснике (пуж и пужни точак), зупчанике са завојним зубима и друге елементе арматуре у хемијској и прехранбеној индустрији отпорне према хабању. Алуминијумска бронза типа P.CuAl11Fe6Ni5 користи се за веома оптерећене пужне преноснике, клизна лежишта и сл. У алуминијским бронзама садржај алуминијума износи најчешће до 13%, а најбоља чврстоћа се постиже при садржају алуминијума око 10%. Овим бронзама се због побољшања механичких својстава додају често мање количине гвожђа, мангана и никла. Поред добре чврстоће, алуминијумске бронзе се одликују и великом отпорношћу према корозији због чега се много употребљавају у хемијској индустрији.

Алуминијумске бронзе са 8 до 12% алуминијума, користе се као легуре за ливење.

Слика 4.13 показује зависност механичких особина алуминијумских бронзи од садржаја алуминијума. На механичке особине алуминијумске бронзе утиче хемијски састав и претходна механичка и термичка обрада.



Слика 4.13 Зависност затезне чврстоће и издужења алуминијумске бронзе од садржаја алуминијума

4.4.3. Калајна и оловно کالاјна бронза

Легуре бакра са оловом и легуре бакра са оловом и کالاјем, које се у пракси називају оловно и оловно کالاјна бронза, имају најширу примену као висококвалитетни антифрикциони материјал. Оловна бронза типа P.CuPb25 користи се за јако напрегнута клизна лежишта са челичним шкољкама, нпр. код клипњача за моторе са унутрашњим сагоревањем. Оловно کالاјна бронза типа P.CuPb5Sn10 има средњу чврстоћу, веома добру отпорност према хабању и веома је постојана према сумпорној и хлороводоничној киселини. Примењује се за клизна лежишта са већим специфичним притисцима и елементе арматуре за рад с киселинама.

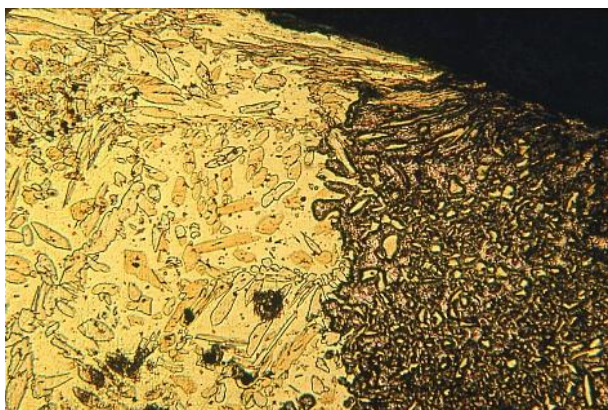
Оловно-калајна бронза типа P.CuPb10Sn10 одликује се веома добром отпорношћу према корозији и dobrим клизним својствима. Примењује се за клизна лежишта са великим специфичним притисцима, нпр. код лежишта на возилима. Оловно کالاјна бронза типа CuPb15Sn8 користи се за веома велике специфичне притиске какви су код лежишта ваљачних станова као и најоптерећенија лежишта са челичном шкољком. Веома је отпорна на сумпорну киселину. Оловно کالاјна бронза типа CuSn5Pb22 је веома мека легура одличних клизних својстава. Погодна је за лежишта која се слабо подмазују. Примењује се за израду клизних лежишта ваљачних станова, млинских машина, пумпи, станове за хладно ваљане лимове. Постоје потешкоће у технологији ливења што се отклања посебним технолошким мерама. Садржај олова у оловним бронзама може бити врло различит и креће се од 4 до 35%. Поред олова оне могу да садрже још کالاја (11%), никла и цинка (3 до 4 %).

4.4.4. Манганске бронзе

Манганске бронзе садрже у себи најчешће 5-6% Mn и оне се могу пластично обрађивати на хладно услед чега ојачавају. Врло често манганске бронзе у себи садрже и друга елементе као нпр. никл, алуминијум и силицијум. Манганске бронзе могу у свом саставу имати и 12-15% Mn и других легирајућих елемената, али се ова врста бронзи може само пластично обрађивати на топло. На слици 4.14 је приказана микроструктура легуре

Бакар и његове легуре

бакра са манганом. У пракси је познато више врста манганских бронзи, али оне нису предвиђене нашим стандардима ради чега се посебно и не анализирају.



Слика 4.14 Микроструктура манганске бронзе

4.4.5. Силицијумска бронза

Силицијумске бронзе у своме саставу имају 3-4% силицијума који веома повољно делује на побољшање ливкости и испуњавање калупа и веома лепу и чисту површину. Силицијумске бронзе које се примењују у пракси у свом саставу поред бакра и силицијума имају и додатке мангана, гвожђа, фосфора, антимона, бизмута и др. Међутим оне, нашим стандардима нису предвиђене.

4.4.6. Оловне бронзе

Садрже 8-10 % Sn и 4-12% Pb, имају добра лежишна својства, па се користе као антифрикциони материјали за клизна лежишта. Такозвана трговачка бронза је легура Cu-Sn-Zn-Pb, где Pb у износу 2-3% углавном повећава ливкост, обрадљивост и лежишна својства.

4.4.7. Берилијумске бронзе

Берилијумске бронзе у свом саставу имају 1,9-2,6% берилијума, али и других легирајућих елемената као што су никл, кобалт, цинк и др. Основне одлике берилијумских бронзи су веома добра механичка својства, висока тврдоћа и еластичност, а користе се у електротехници за елементе од којих се у раду јављају искре, нпр. мембране, опруге и слично. Веома су отпорне на корозију, заварљиве су, а добро се обрађују резањем.

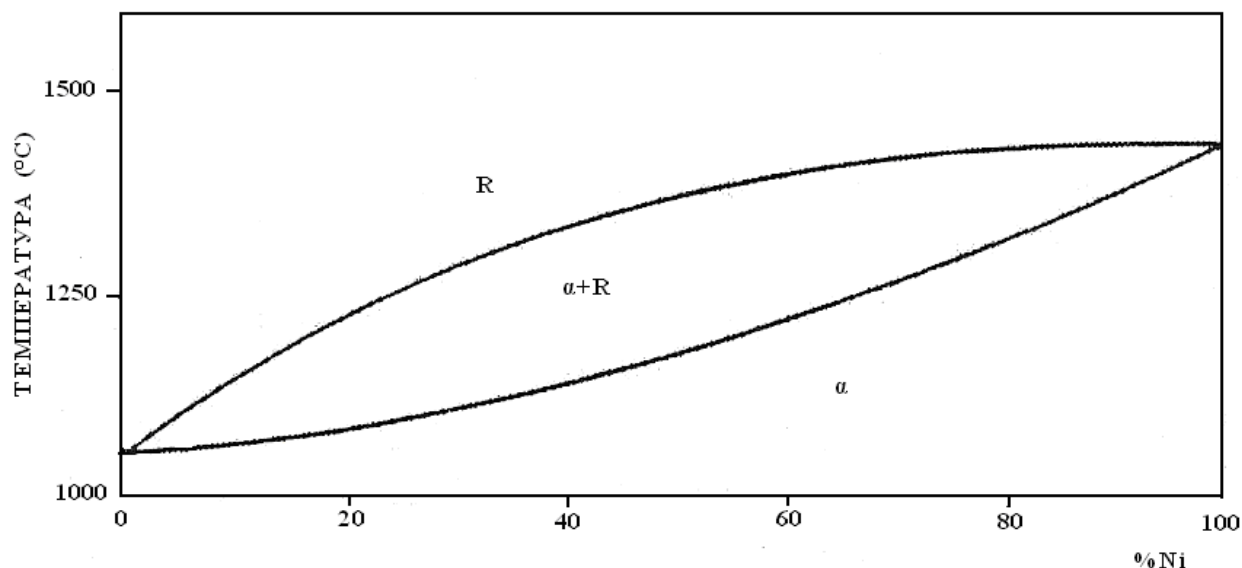
4.4.8. Фосфорне бронзе

У легурама бакра са калајем – калајној бронзи садржај фосфора се креће највише до 0,4%. Међутим, тај се садржај повећава чак и до 1% фосфора када говоримо о фосфорној бронзи која није предвиђена нашим стандардима.

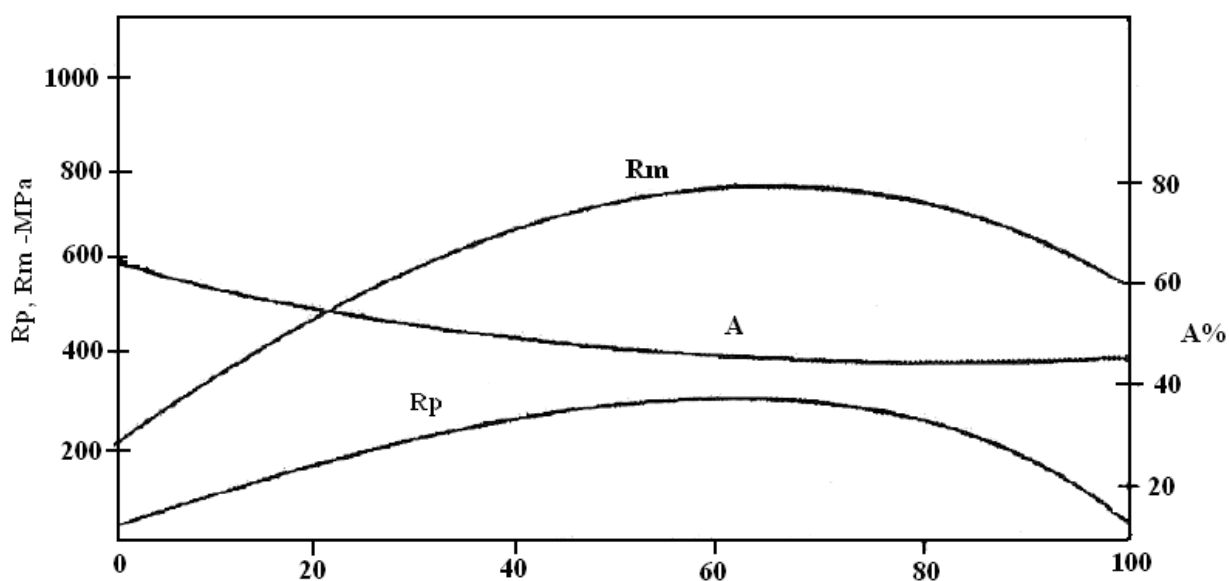
Учешће фосфора у легури повећава тврдоћу и чврстоћу, побољшава ливкост, а такође и отпорност према корозији у атмосферској и морској води. Међутим, учешће фосфора преко 0,2% у легури ствара врло крто хемијско једињење Cu_3P које гради еутектикум који се смешта у простору између кристала. Исто тако фосфор ствара склоност легуре ка сегрегацији елемената и неповољно утиче на једнородност структуре. Фосфорна бронза се примењује за израду клизних лежја оптерећених динамичким оптерећењима у активним корозионим срединама.

4.4.9. Легуре бакра са никлом – Ново сребро (Никлова бронза)

Посебно су значајне легуре бакра са никлом. Равнотежни дијаграм Cu-Ni наведен је на слици 4.15 и показује да су бакар и никл међусобно потпуно растворљиви и у течном и у чврстом стању. Корозиона постојаност те легуре повећава се са садржајем никла. Узајамна веза између садржаја никла и достигнутог нивоа механичких особина дата је на слици 4.16.



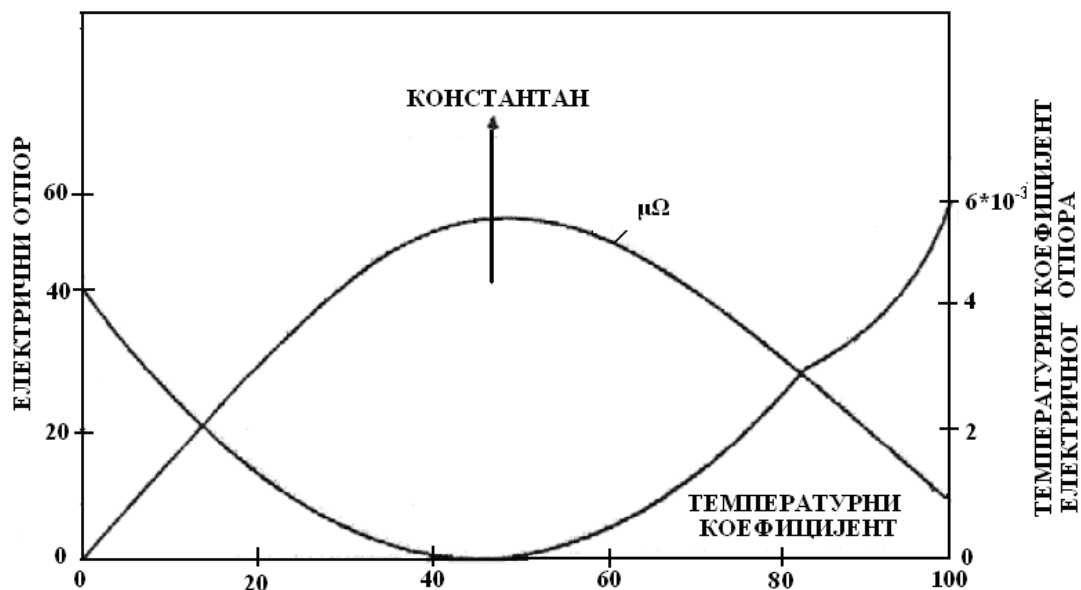
Слика 4.15 Бинарни дијаграм Cu-Ni



Слика 4.16 Утицај додатка Ni на механичке особине Cu

Основне варијанте Cu-Ni деле се у следеће групе:

- Константан, садржи 45%Ni
- Бакар-никл, садржи до 35%Ni
- Никлово сребро, садржи до 30%Ni и 20%Zn



Слика 4.17 Утицај додатка Ni на електричне карактеристике Cu

Додатак никла баку значајно модификује обојеност бакра, тако да су легуре са 20% Ni беле боје. Јак утицај додатака никла на електрична својства бакра види се из зависности, која је наведена на слици 4.17. Легура са садржајем 55%Cu и 45% Ni има висок електрични отпор и екстремно низак топлотни коефицијент електричног отпора. Легура тог типа позната је под називом константан и користи се за израду термопарова.

Легура бакра са никлом се у новије време назива и ново сребро.

Ново сребро типа CuNi18Zn20 и CuNi15Zn20 се одликује веома добром обрадивошћу на хладно извлачење и имају постојани сјај. Примењују се за израду прибора за јело, украсне предмете, елементе унутрашње архитектуре. Може се користити и за опруге.

Ново сребро типа CuNi18Zn27 представља легуру која се користи за опште сврхе.

Ново сребро типа CuNi12Zn24 се одликује добром обрадивошћу на хладно извлачење. Примењује се као ново сребро CuNi18Zn20.

Ново сребро типа CuNi8Zn19Pb се због додатка олова веома добро обрађује скидањем струготине на машинама са великом брзином. Има постојан сјај. Примењује се за делове fine механике.

Ново сребро типа CuNi10Zn45 се веома добро пластично обрађује путем ковања и пресовања, а погодно је и за израду делова скидањем струготине.

4.5. Легуре бакра за лемљење и заваривање

Легуре бакра за лемљење и заваривање могу бити:

- Месингани лем, и
- Сребрни лем.

Лемљење је процес спајања метала, где се додатни материјал загрева и распоређује капиларним путем између два блиско постављена радна комада

Месингани лем је легура бакра Cu (40-86%) и цинка. Радна температура се креће од 845-1020°C. Месингани лем са 60% бакра се означава са: S. Cu₆₀Zn. Месингани лем је погодан за:

- Лемљење месинга,
- Лемљење бакра,
- Лемљење бронзе,
- Лемљење челика и сивог лива.

Бакар и његове легуре

Сребрни лем је легура сребра (7-28%), бакра (40-55%) и цинка, и евентуално још неког елемента у малом проценту. Радна температура сребрног лема се креће од 730-870°C. Веже се само за чисте, неоксидисане металне површине. Сребрни лем се користи за:

- Поправке и готове производе, серијско лемљење у индустрији за лемљење бакра, легуре бакра и легуре никла,
- За лемљење тестера, уређаја за хлађење, уљне горионике,
- У електроници и инсталацијама.

5. Обрадивост бакра и његових легура

Бакар је метал осредње чврстоће. Бакар се веома добро пластично деформише и у хладном и у топлом стању. Може да се обликује пластичном деформацијом на собној температури. Због великих издужења може се извлачити у врло танке жице и ваљати у танке лимове дебљине до 0,003 mm.

Добро се меко и тврдо леми, а теже заварује због брзе оксидације и добре проводљивости топлоте. Слабије се обрађује скидањем струготине јер се због мекоће и жилавости материјал чупа из површине и лепи за оштрицу, па се не може добити глатка површина обрађеног предмета.

5.1. Пластична деформација бакра и његових легура

Чист бакар је веома пластичан материјал, може да се обрађује пластичном деформацијом, како у хладном, тако и у топлом стању. Поседује велику дуктилност и може се веома добро полирати. На температурама од 800-900°C је нарочито истегљив. Има својство да кад се загрева не прелази у течну агрегатно стање, већ најпре омекша. На тој температури бакар се лако кује, ваља и извлачи.

Месинг се добро пластично обрађује деформацијом у топлом стању, али и деформацијом у хладном стању због чега му се повећава кртост. Месинг се у пракси примењује у различитим степенима хладне деформације, због чега се због насталих структурних промена на материјалу, може применити и термичка обрада.

Бронзе се као и месинзи могу добро обликовати деформацијом. Деформацијом се могу обрађивати бронзе са садржајем калаја мањим од 10%. Већим садржајем калаја у бронзи повећава се отпор пластичној деформацији.

5.2. Термичка обрада бакра и његових легура

Чист бакар се може само обрађивати рекристализационим жарењем, због одсуства својства алотропије, која се изводи после хладне деформације. Хладно деформисани бакар се рекристализационим жарењем враћа у првобитно стање. Код жарења и загревања мора се пазити да бакар не дође у додир са водоником, јер водоник дифундира у њему и везује се са кисеоником стварајући при загревању унутрашње пукотине – водоникову болест бакра.

Термичка обрада месинга се изводи после обраде деформисањем на хладно или после ливења ради уклањања структурних измена или заосталих унутрашњих напона. Месинг се може термички обрађивати рекристализационим жарењем, хомогенизационим жарењем и жарењем ради уклањања унутрашњих напона.

- Рекристализационо жарење се врши после обраде метала деформацијом на хладно на температури од 500-700°C.
- Хомогенизационо жарење врши се после ливења на температури 700°C око 6h.
- Жарење ради уклањања унутрашњих напона се врши после деформисања на топло на температури од 200-300°C неколико сати.

Бронза се такође термички може обрађивати путем хомогенизационог жарења, рекристализационог жарења и жарења ради уклањања термичких напона.

- Хомогенизационо жарење се врши после пластичне деформације загревањем на температури од 650-750°C у трајању од неколико десетина часова, због врло мале брзине дифузије калаја у бакру.
- Рекристализационо жарење се врши у току пластичне обраде као међуоперација ради побољшања способности пластичне обраде на хладно. Загревање се врши у релативно кратком времену на температури од 600-650°C зависно од степена претходне пластичне деформације.
- Жарење ради уклањања заосталих унутрашњих напона врши се загревањем на температури око 200°C, после извршених технолошких процеса као што су топла пластична деформација и ливење.

5.3. Обрада бакра и његових легура ливењем

Чист бакар се лоше лије, јер раствара гасове са којим долази у додир, као што су кисеоник, угљен-диоксид и други, што доводи до стварања шупљина и кртих места. При очвршћавању он испушта те гасове и на месту где је био гасни мехур остаје пора. Тако се одливку слабе механичка својства. Зато му се додаје фосфор за дезоксидацију, чиме му се способност ливења знатно побољшава.

Бронзе се добро лију, стварајући крупнозрнасту структуру, због чега се одливци брзо хладе на ваздуху, а понекад и у води.

5.4. Обрада бакра и његових легура заваривањем

Технички чист бакар и легуре бакра су слабо заварљиве, због веома велике склоности да у себе упијају штетне материје. Нису погодне за заваривање, јер стварају тешкоће код потребног брзог одвођења топлоте. Услед гасног заваривања бакра, због склоности упијања гасова, може се појавити повећана порозност и кртост.

6. Основне особине бакра и његових легура

У табели 6.1 дат је приказ неких општих особина бакра.

Табела 6.1 Приказ општих особина бакра

Општи подаци о бакру	
Име, симбол, атомски број	Бакар, Cu, 29
Припадност скупа	Прелазни метал
Група, периода	VIIIB, 4
Густина, тврдоћа	8920 kg/dm ³
Боја	Црвенкаста
Особине атома	
Атомска маса	63,546 u
Атомски радијус	135 (145) pm
Ковалентни радијус	138 pm
Ван дер Валсов радијус	140 pm
На енергетским нивоима	2,8,18,1
Оксидациони бројеви	1,2,3,4
Особине оксида	Средње базни



Слика 6.1 Чист бакар

Основне особине бакра су:

➤ **Електропроводљивост;**

Највећу електро-проводљивост поседују: платина, злато, сребро и бакар. Обзиром да је од свих поменутих метала бакар:

- најјефтинији и
- количински најраспрострањенија његова употреба у поступку преношења електричне енергије је најисплативија и практично, незаменљива.

➤ **Одлична топлотна проводљивост;**

Бакар и његове легуре

Бакар се користи у изради најразличитијих производа (за које се превасходно користе бакарне цеви разноврсних облика и димензија) чија је примарна намена загревање или расхлађивање. Уједно, због својства брзог преноса топлоте, бакар је материјал који се користи и за израду посуђа за спремање хране.

➤ **Дуговечност;**

Постојаност производа од бакра је чињеница коју треба посебно апострофирати. Само постојање многих система за снабдевање водом израђених од бакарних цеви (више миленијума пре Христовог рођења, на простору старог Египта) и њихова ниучему непромењена употребна вредност је сасвим довољан доказ дуговечности.

➤ **Висока пластичност;**

Бакар је материјал невероватно погодан за скоро све врсте обраде и израду најразличитијих форми.

➤ **Отпорност;**

Производи направљени од бакра отпорни су на разноврсне спољне утицаје (бакарне цеви трпе високе притиске флуида који се кроз њих пропуштају и имају одличну отпорност на агресивне спољне факторе).

➤ **Бактерицидно својство;**

Бакар поседује анти - бактеријско дејство (спречава развој бактерија). Имајући у виду дато својство, бакарне цеви се препоручују за транспорт воде за пиће.

➤ **Сигурност у употреби;**

Производи од бакра, уколико се користе на прописан начин, могу послужити и генерацијама које долазе (као пример наводимо да водоводни системи израђени од бакарних цеви подносе више циклуса потпуног замрзавања-одмрзавања, без промене њихових својстава – без икаквог оштећења,

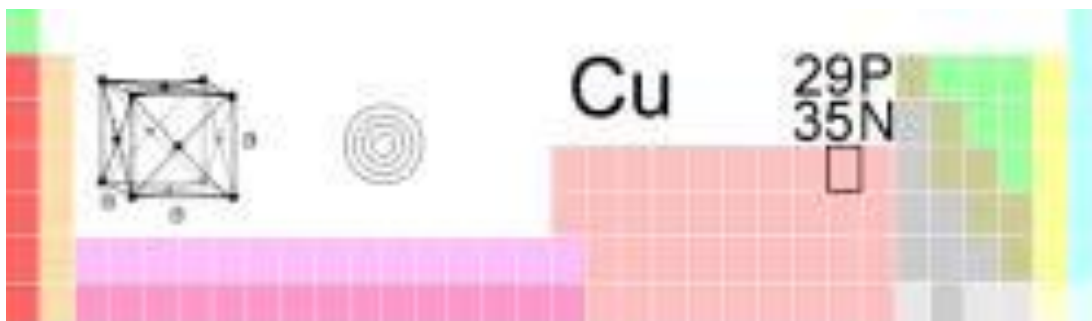
➤ **Могућност рециклирања;**

Могућност рециклирања и поновна употребе бакра без икакве промене његових својстава (са минималним губицима приликом поступка рециклирања 0,01%) је једно од његових главних карактеристика. На основу података Европског Института за бакар, према тренутно доступним подацима, од 15.000.000 тона бакра колико се годишње утроши у свету – читавих 40% (или 6.000.000 тона) долази из рециклирања отпадног бакра (бакра из различитих форми/облика).

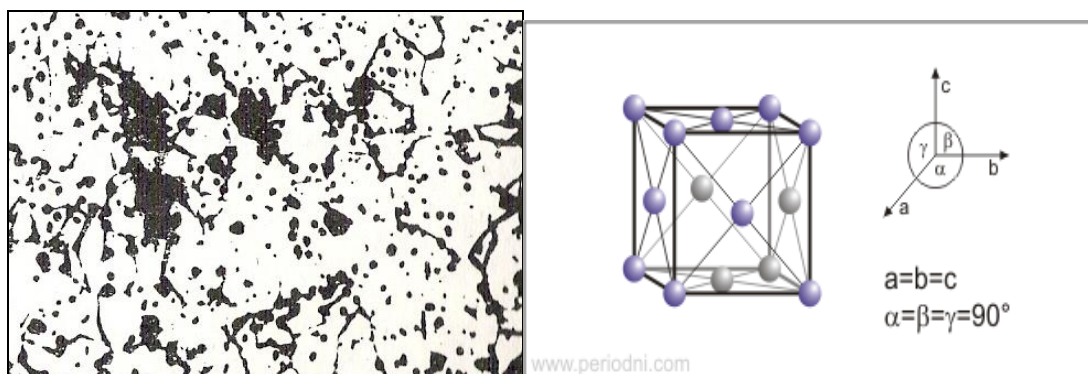
Поступак рециклирања је, уједно, и вид уштеде (тј. рециклирање даје могућност да се залихе бакра из земљине коре експлоатишу умереније). Са становишта потрошње енергије и ангажовања материјалних ресурса, рециклирање (у односу на комплетан поступак производње од руде до метала) представља најјефтинији начин доласка до бакра. Око 80% бакра, икада произведеног, још увек је у употреби.

6.1. Микроструктурне особине бакра

Бакар припада првој групи Периодног система елемената (слика 6.2) и има кубну површински центрирану решетку и структуру облика полиедарских кристала (слика 6.3).



Слика 6.2 Положај бакра у Периодном систему елемената



Слика 6.3 Микроструктура бакра у жареном стању

Повећање механичких својстава бакра могуће је само путем хладне пластичне деформације. Са повећањем степена хладне деформације долази до знатног пораста својства чврстоће, а пластичност се смањује.

6.2. Хемијска својства бакра

- Оксидира на чистом, влажном или сланом зраку. Уз CO_2 настаје патина, која се шири до пропадања,
- Нагриза га морска и обична вода, али не дестилирана,
- Разара га амонијак и сумпор, па се не сме на њега постављати гумена изолација,
- Топи се у сумпорној киселини,
- Електронска конфигурација бакра је: $\text{Cu } 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^1$
- Соли бакра и његових легура су веома отровне,
- Кроз њега не пролазе хидрокарбонати и кисеоник

6.3. Физичке особине бакра

- Метал је црвенкасте боје,
- Густина бакра је велика $\rho=8.96\text{g/cm}^3$
- Спада у такозване тешке метале, што је последица малог радијуса и запремине његовог атома.

Неке физичке особине бакра дате су у табели 6.2.

Табела 6.2 Табеларни приказ неких физичких особина бакра

Физичке особине	
Агрегатно стање	Чврсто
Температура топљења	1357,6 К (1084,4°C)
Температура кључања	2840 К (2567°C)
Молска запремина	$7,11 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{mol}$
Топлота испаравања	300,3 KJ/ mol

6.4. Технолошке особине бакра

- Пластичан је,
- Добро се кује,
- Ваља се у танке лимове,
- Извлачи се у веома танке жице (у хладном и топлом стању),
- Лоше се обрађује резањем,
- Добро се леми, али се тешко заварује,
- Лоше се лије,
- Веома добра корозиона отпорност.

6.5. Механичке особине бакра

У табелама 6.3 и 6.4 дате су опште механичке особине бакра и механичке особине бакра у зависности од стања прераде.

Табела 6.3 Механичке карактеристике бакра

Механичке карактеристике	
Граница течења	57 МПа
Затезна чврстоћа	227 МПа
Ударна жилавост	1080 J
Тврдоћа	32.7 НВ
Модул еластичности	$12.7 \cdot 10^4$ МПа
Модул клизања	$4.8 \cdot 10^4$ МПа

Табела 6.4 Механичка својства бакра у зависности од стања прераде

Особине	Стање прераде		
	Ливено	Жарено	Хладно деформисано
Затезна чврстоћа, R_m (МПа)	150-200	210-240	300-440
Напон течења, R_{eH} (МПа)	-	40-80	200-390
Издужење, A_5 (%)	25-15	50-35	25-2
Тврдоћа по Бринелу, НВ	50	40-50	75-90

6.6. Основне особине калајне бронзе

- Врло добра клизна својства,
- Добро подносе ударце,
- Добро се леме.

Бакар и његове легуре

Механичке особине калајне бронзе дате су у табели 6.5.

Табела 6.5 Механичке особине калајне бронзе

Ознака материјала		Механичке особине				
Према ознакама производње	Поступак ливења	Затезна чврстоћа	Издужење А %	Тврдоћа НВ	Масени удео	Процент нечистоће
P. CuSn10 K. CuSn10 C. CuSn10	P K C	270	18	70	Cu 88,0-90,0 Sn 9,0-11,0	Ni 2,0 Pb 1 P 0,2 Sb 0,2
P. CuSn12	P	260	12	80	Cu 84,0-88,5 Sn 11,0-13,0	Ni 2,0 Pb 1 P 0,4 Sb 0,2

6.7. Основне особине црвеног лива

Табела 6.6 Механичке особине црвеног лива

Ознака материјала		Механичке особине				
Према ознакама производње	Поступак ливења	Затезна чврстоћа	Издужење	Тврдоћа НВ	Масени удео	Нечистоће %
P. CuSn2ZnPb K. CuSn2ZnPb C. CuSn2ZnPb	P	210	18	60	Cu 80,0-85,0 Sn 1,5-3,0 Zn 7,0-9,0 Pb 1,0-6,0 Ni 1,5-2,5	Sb 0,25 Fe 0,3 P 0,05 S 0,1
P. CuSn10Zn K. CuSn10Zn C. CuSn10Zn	P K C	260	15	75	Cu 86,0-89,0 Sn 9,0-11,0 Zn 1,0-3,0	Ni 2,0 Pb 1,5 Fe 0,25 P 0,05 S 0,1
P. CuSn10Zn2 K. CuSn10Zn2 C. CuSn10Zn2	P K C	240	12	75	Cu 86,0-89,0 Sn 9,1-11,0 Zn 1,0-3,0	Pb 1,5 Ni 3,0 P 0,05 Si 0,01 Fe 0,2 Sb 0,3 Al 0,01 Mn 0,2

У табели 6.6 дат је приказ механичких особина црвеног лива.

Особине црвеног лива су:

- Релативно добра механичка својства,
- Врло добра клизна својства,
- Врло су отпорни на трошење,

Бакар и његове легуре

- Отпорни су на корозију и агресивност морске воде,
- Добро се леме.

6.8. Основне особине месинга

Неке основне особине месинга су:

- Отпорни су на корозију,
- Имају релативно добру електричну проводљивост,
- Имају релативно добру топлотну проводљивост,
- Врло се лоше варе,
- Добро се леме.

У табелама 6.7 и 6.8 дат је приказ механичких особина месинга за ливење и гњечење.

Табела 6.7 Механичке карактеристике месинга за ливење

Назив легури	Механичке карактеристике							
	Ознака	Напон течења daN/mm^2	Затезна чврстоћа daN/mm^2	Процент издужења %	Тврдоћа HB	Модул еластичности daN/cm^2	Модул клизања daN/cm^2	Коефицијент ширења
Месинг	P.Cu64Zn	6	15	10	55	$0,9 \cdot 10^6$ до $1,4 \cdot 10^6$	$0,35 \cdot 10^6$ до $0,37 \cdot 10^6$	$19 \cdot 10^6$
	K.Cu62Zn	8	25	25	85			
	T.Cu60Zn	8	25	8	85			
Специјални месинг	T.Cu60ZnMn1C30	10	30	15	80			
	P.Cu58ZnMn2C45	15	45	20	125			
	P.Cu58ZnMn2C60	25	60	15	150			

Табела 6.8 Механичке карактеристике месинга за гњечење

Назив легури	Механичке карактеристике							
	Ознака	Затезна чврстоћа <i>daN/mm²</i>	Издужење %		Тврдоћа HB	Модул еластичности <i>daN/cm²</i>	Модул клизања <i>daN/cm²</i>	Густина <i>ρ</i> Kg/dm ³
			<i>A_{11,3}</i>	<i>A_{5,65}</i>				
Месинг	Cu58ZnPb	37-51	25-5	28-6	75-125	0,9*10 ⁶ до 1,4*10 ⁶	0,35-10 ⁶ до 0.42*10 ⁶	8,4-8,8
	Cu60Zn	34-48	30-10	33-12	70-125			
	Cu62ZnPb	29-41	45-15	48-17	60-95			
	Cu67Zn	28-50	40-5	45-6	55-115			
	Cu72Zn	25-38	40-18	45-20	50-90			
Специјални месинг	Cu58ZnPb1Mn	-	-	-	-	1,1*10 ⁶ до 1,2*10 ⁶	0,42*10 ⁶ до 0,46*10 ⁶	8,8
	Cu58ZnAl1	-	-	-	-			
	Cu70ZnAl1Si	-	-	-	-			
	Cu71ZnSn1	-	-	-	-			
	Cu76ZnAl2	-	-	-	-			

6.9. Основне особине алуминијумских бронзи

Неке од основних карактеристика алуминијумских бронзи су:

- Врло добра механичка својства,
- Добра клизна својства,
- Веома су погодне за заваривање,
- Не могу се лемити,
- Отпорне су на киселине,
- Отпорне су на топлоту.

Механичке карактеристике алуминијумске бронзе приказане су у табели 6.9.

Tabela 6.9 Механичке карактеристике алуминијумске бронзе

Механичке карактеристике			
Ознака	Затезна чврстоћа R_M -МПа	Граница течења R_T -МПа	Тврдоћа HB
CuAl15	350	100	80
CuAl8	380	120	90
CuAl8Fe3	480	200	110
CuAl10Fe3	700	350	180
CuAl9Mn2	500	250	110

7. Примена бакра и његових легура у пракси

Бакар се масовно употребљава за производњу:

- Електричних проводника - жице (и уопште у електроници)(слика 7.1);
- Цеви (намењене инсталационим системима водоснабдевања и гаса, грејања, расхладним постројењима и уређајима, колекторима за коришћење сунчеве енергије, измењивачима топлоте, изради разноврсних грејача, против пожарним системима...);
- Фитинга (колена за спајање бакарних цеви);
- Лимова (за покривање кровова...);



Слика 7.1 Бакарна жица и цеви у котуровима

Не постоји ни једна индустријска област где бакар нема своју корисну примену;

У машинству се бакар употребљава у облику легура (месинг, бронза и др.). Доста бакра троши се у бродоградњи, аутомобилској индустрији, индустрији шинских возила, хемијској индустрији и штампарству. Од бакра се производе котловска ложишта и цеви, цеви за грејаче и расхладне уређаје (хладњаци мотора), заптивачи (главе мотора) и различито посуђе. Користи се за галванску заштиту легура гвожђа (побакривање пре никловања и хромирања) и за платирање челичних лимова. Од њега се производи више хемијских једињења међу која спадају бакарне боје и плави камен.

Потрошња бакра у Европи (наведени подаци важе за 2001. годину) дата је у табели 7.1.

Табела 7.1 Процентуална потрошња бакра у Европи

Област примене	Проценат потрошње бакра
Производња каблова	49,00%
Водоснабдевање, грејање, кровови	26,00%
Машиноградња	12,00%
Енергетика	8,00%
Транспорт	3,00%
Остало	2,00%

7.1. Биолошки значај бакра

Бакар је микро елемент који се јавља у реактивним центрима многих ензима. Потребан је за стварање црвених крвних зрнаца, улази у састав хемоцијанина, има позитиван утицај на ћелијску мембрану нервних ћелија и има утицај у слању нервних импулса. Дневно је потребно минимално унети 0,5 ppm. Недостатак бакра доводи до Вилсонове болести. Недостатак бакра може да проузрокује и малокрвност, јер недовољна количина бакра изазива лошије "упијање" гвожђа и смањење броја крвних зрнаца. Претпоставља се да недостатак бакра изазива и поремећаје у раду срца и успорава рад нервног система (на пример: слаба концентрација). Недостатак бакра такође смањује и количину белих крвних зрнаца, а самим тим и отпорност организма на болести.

Препоручене дозе уноса бакра у организам су:

- Одрасли; 0,6-2 mg/dan (max 7 mg),
- Деца и труднице; 2 mg/dan.

Улога бакра у организму:

- Један је од најзначајнијих катализатора у организму,
- Учествоје у формирању костију,
- Присуство бакра је неопходно за синтезу хемоглобина (Помаже уградњу гвожђа у хемоглобин, а сам се не уграђује),
- Има значајну улогу у расту, стварању пигмената и кератина у коси.

Недостатак бакра у организму је ретка појава с обзиром да га има у готово свим намирницама. Код експериментално изазваног губитка бакра у организму настаје:

- Анемија,
- Желудачно – цревни поремећај,
- Депигментација коже и косе,
- Застој у расту и деформација костију.

У нашем организму, бакар се углавном налази у мускулатури, костима и јетри. Веома је битан и за кожу - подстиче процес настајања везивног ткива и штити ћелије од дејства слободних радикала (слободни радикали су главни узрочници старења коже). Као и остале хранљиве састојке, и бакар је најбоље унети храном, а има га у кикирикију, сардинама, јетри, кромпиру, куваним изнутрицама, кивију, црном хлебу и свим осталим производима на бази житарица са чијег плода није уклоњена љуска. Највећи извор бакра у исхрани су морски плодови, а међу њима бакра највише има у остригама.

7.2. Бакар и његове легуре у аутомобилској индустрији

Бакар има веома велику примену у аутомобилској индустрији. Користи се за израду хладњака – ребра хладњака су најчешће изведена у виду таласа. Цеви хладњака кроз које пролази течност за хлађење су такође најчешће израђене од бакра и месинга због велике отпорности према корозији. На слици 7.2 је приказан хладњак аутомобила.



Слика 7.2 Хладњак аутомобила

7.3. Употреба бакра и његових легура у грађевинарству и архитектури

У грађевинарству се бакар користи као кровни покривач и користи се за израду олука. Од скорије време бакар се почео користити и као материјал за облагање фасада. Пријатна и нежна зелена боја његове патине, као и велика трајност, чине га готово идеалним, иако скупим, грађевинским материјалом. На слици 7.3 приказан је изглед бакарне фасаде.



Слика 7.3 Бакарна фасада

Бакар се такође користи и за израду цеви за транспорт воде за пиће. Као потпуно природан материјал, цеви израђене од бакра препоручују се за транспорт пијаће воде; уједно, својим биолошким својствима – бакар додатно заштићује квалитет пијаће воде од ширења разних бактерија. На унутрашњој површини бакарних цеви, нема нагомилавања кречњака из воде (тзв. инкрустација). Приликом проласка воде кроз нове бакарне цеви образује се трајни заштитни слој на унутрашњој површини цеви (дебљине неколико десетина делова милиметара) – што омогућава њихово несметано коришћење у инсталацијама за снабдевање водом за пиће (поменути трајни заштитни слој спречава ерозију унутрашње површине цеви).

7.4. Бакар и његове легуре у бродоградњи

Бакар и легуре бакра имају веома широку примену у бродоградњи. Легуре бакра које се користе у бродоградњи разврставају се у три основне групе:

- Легуре бакра за гњечење,
- Легуре бакра за ливење,
- Легуре бакра за пропелере.

На слици 7.4 приказана је подморница израђена од бакра и његових легура.



Слика 7.4 Примена бакра у изради подморница с обзиром на његова антикорозивна својства

7.4.1. Легуре бакра за гњечење

Ове легуре су класификоване у тринаест категорија. За сваку категорију су прописани хемијски састав, стање испоруке, механичка својства, начин испитивања и примена. Садржај бакра у овим легурама износи од 55 до 99,5%, цинка од 20 до 35%, никла од 9 до 30%, алуминијума од 2 до 11%, мангана и гвожђа до 2%, и других примеса у малим, али тачно одређеним количинама. Затезна чврстоћа ових легура износи од 200 до 590N/mm². Ове легуре служе за израду лимова, цеви, профила и отковака који се употребљавају за кондензаторе, измењиваче топлоте, арматуре за пару и воду, вијке, делове пумпи и друге делове отпорне на деловање морске воде.

7.4.2. Легуре бакра за ливење

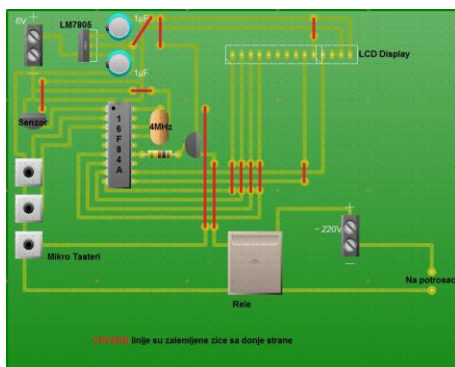
Ове легуре су разврстане у десет категорија. Садрже 30 до 99% бакра, цинк и у строго прописаним количинама калај, алуминијум, никл, гвожђе и манган. Употребљавају се за кућишта, кошуљице лежајева, зупчанике и пужне точкове, вијке и матице, вретена, арматуру, роторе пумпи и ситне одливке који морају бити отпорни на деловање морске воде и киселина.

7.4.3. Легуре бакра за ливење пропелера

Ове легуре су издвојене у посебну групу и разврстане су у четири категорије. Садрже 52 до 82% бакра и у прописаним количинама цинк, алуминијум, манган, никл и гвожђе. Користе се искључиво за израду пропелера, због веома велике чврстоће и издржљивости.

7.5. Бакар у електротехници

Бакар се највише употребљава у електротехници (преко 50% производње), за израду проводника, динамо-машина, електромотора и других електричних уређаја. Бољи проводник од њега је само сребро, које је племенити метал. За израду жица за електричне проводнике користи се бакар чија чистоћа износи 99,9 % и од њега се праве ваљане и вучене жице. Бакарне жице се користе још и за плетење бакарних ужади, као и за бакарне легуре нарочитог квалитета потребне за израду инсталација.



а)



б)

Слика 7.5 Примена бакра у електротехници а) штампана плоча , б) Електро-проводници

7.6. Различите области примене легура бакра

У табели 7.2 приказани су састав и примена најважнијих врста месинга.

Табела 7.2 Примена и састав најважнијих врста месинга

Назив	Ознака	Легуре бакра са	Примена
Црвени томбак	CuZn10	9...11 %Zn	Електротехника, украсни предмети
Светлоцрвени томбак	CuZn20	19...22 %Zn	Електротехника, украсни предмети, метална црева
Жути томбак	CuZn30	31...28 %Zn	Кондензаторске и друге цеви за измењиваче топлоте, за дубоко извлачене чауре
Месинг за обраду гњечењем	CuZn37	35...28 %Zn	Основна легура за хладну деформацију: цеви, лимови, опруге, завртњи
Месинг за ковање	CuZn40	38...41 %Zn	За деформацију у топлом и хладном стању: жице, окови, браве, завртњи
Тврди месинг	CuZn40Pb2	40...44 %Zn + 2%Pb	Основна легура за обраду скидањем струготине: месинг за гравирање, за зупчанике часовника, завртње, профиле

Бакар и његове легуре

У зависности од степена чврстоће и класе квалитета, бакар се употребљава на начин приказан у табели 7.3.

Табела 7.3 Класа квалитета бакра

Класа квалитета бакра	Минимална количина бакра(%)	Употреба
<i>Топионички бакар 1</i>	99,00	За ложишта и наглавке котлових цеви
<i>Топионички бакар 2</i>	99,25	За полуфабрикате трговачког квалитета и за легуре непрописане високе чврстоће
<i>Топионички бакар 3</i>	99,50	За лимове, цеви, траке, жице, легуре за ваљање, пресовање и ковање са више од 60%
<i>Топионички бакар 4</i>	99,75	За лимове, цеви, траке, жице, легуре за ваљање, пресовање и ковање са више од 60%
<i>Електротехнички бакар</i>	99,5-99,9	За електротехничке потребе

7.7. Примена бакарних легура за ливење и гњечење

Примена бакарних легура за ливење и гњечење дата је у табелама 7.4 и 7.5.

Табела 7.4 Примена бакарних легура за ливење

Назив легуре	Ознака	Напон течења	Смернице за примену
<i>Месинг</i>	P.Cu64Zn	6	Разне арматуре, оклопи, окови разни конструкциони делови за општу употребу и за електроиндустрију.
	K.Cu62Zn	8	Одливци метално светлих површина, арматуре, делови за електроиндустрију, окови и др.
	T. Cu60Zn	8	
<i>Специјални месинг</i>	T.Cu60ZnMn1C30	10	За одливке изложене великим притисцима воде или плина. Добро се лије и леми- тврдо и меко
	P.Cu58ZnMn2C45	15	Лив високе чврстоће и жилавости, али осредње клизавости, чауре, бродске елисе...
	P.Cu58ZnMn2C60	25	Лив врло високе статичке чврстоће и тврдоће, али мање погодан за динамичка оптерећења, делови вентила и сл.

Табела 7.5 Примена бакарних легура за гњечење

Назив легуре	Ознака	Смернице за употребу
<i>Месинг</i>	Cu56ZnPb	Пресовани лимови за електротехнику и грађевинарство.
	Cu58ZnPb	Арматуре, делови који се израђују стругањем на аутоматима, за делове сатова, усних хармоника...
	Cu60Zn	За опруге, арматуре и сл.
	Cu62ZnPb	
	Cu63Zn	За пластично обликовање на хладно, кондензаторске цеви, лимове за нагризање, жице за металне транине...
	Cu67Zn	За цевасте заковице, за ваљане вијке, за хладњаке...
	Cu72Zn	Кондензаторске и друге цеви за измењиваче топлоте, лимови и траке за дубоко извлачење...
	Cu80Zn	Таласасте еластичне цеви, метална црева, делове за електротехнику, накит...
	Cu85Zn	Инсталатерски делови у електротехници, накит
	Cu90Zn	
<i>Специјални месинг</i>	Cu58ZnPb1Mn	За обраду на аутоматима, држачи код лежајева
	Cu58ZnAl1	За пресоване и коване осовине. Погодан је за велике брзине клизања и отпоран је према корозији.
	Cu58ZnAl2	За пресоване и коване осовине. Има веома велику чврстоћу.
	Cu70ZnAl1S1	За опруге, траке и жице, за електромоторе са двокавезним мотором
	Cu71ZnSn1	За цеви и тела кондензатора и измењиваче топлоте.
	Cu76ZnAl2	

7.8. Бакар као легирајући елемент

Бакар се врло ретко користи као легирајући елемент (само код неких посебних врсте челика), иначе је у принципу врло непожељан у челику. Посебан проблем бакар представља у челичанама које производе челик у електролучним пећима где се његов удео у легури може врло тешко контролисати, с обзиром да метални отпад има врло широк спектар удела бакра. Штетно дејство бакра се испољава при нарочито високим температурама. Најштетније дејство бакра испољава се током пластичне прераде челика на повишеним температурама (ковања, ваљања, извлачења...), и последица је издвајања бакра по границама зрна. Издвајање бакра по границама зрна повећава површинску осетљивост материјала у току свих врста пластичне прераде на повишеним температурама. Граница течења и однос границе течења/затезна чврстоћа се побољшавају са порастом масеног удела бакра у челику. Масени удео преко 0,3 % бакра води ка повећању тврдоће, односно доводи до повећања способности каљења. Утицај бакра на способност заваривања није примећен. Код нелегираних и нисколегираних челика, бакар повећава њихову отпорност на штетне атмосферске утицаје.

Бакар и његове легуре

Код високолегираних челика масени удео бакра изнад 1% повећава отпорност високолегираних челика на дејство киселина (поготово на дејство хлороводоничне и сумпорне киселине).

Као легирајући елемент бакар се може додавати и алуминијуму. Садржај бакра у алуминијуму ојачава легуру, али погоршава обрадивост деформисањем и отпорност на корозију. Највише се употребљава легура $Al - Cu$ са малим садржајем магнезијума. Ове легуре се зову дурали, а легуре са повећаним садржајем магнезијума су супердурали.

Садржај бакра у магнезијуму обезбеђује добру механичку издржљивост. Ове легуре се користе у авиоиндустрији, као и у космичкој индустрији, тамо где су легуре титанијума и алуминијума сувише тешке.

8. Закључак

Бакар је одавно познат људима, па тако и цело једно доба у историји називамо бакарно доба. Због изузетне употребе и његове веома велике потражње на тржишту, бакар спада у групу савремених материјала. Његове физичке способности засигурно га уврставају на врх најомиљенијих материјала у свету.

Добија се из различитих руда, а на земљиној површини се најчешће налази у облику плавог азурита. Добија се различитим механичким и хемијским методама. Механички делови припреме суда обухватају дробљење и класирање, сушење, брикетирање и мешање руда, док се хемијски део припреме своди на подешавање састава додатка и жарења.

Легуре бакра су веома важне у металургији. То су пре свега технички материјали одличних механичких својстава. Могу се добро лити и обрађивати термичким методама. Могу се наћи поделити на технички чисте бакарне легуре и легуре бакра са мањим садржајем примеса, као што су месинзи и бронзе.

Месингани и бронзани делови све више се користе и полако потискују из употребе разне врсте челика и других јефтинијих материјала.

Бакар и легуре бакра се веома добро обрађују пластично, термички, ливењем и заваривањем. Израђују се у различитим облицима полуфабриката, као што су лимови профили, шипке, траке, цеви, жице и сл.

Карактеристично за бакар и његове легуре је и то да поседују веома добре механичке, физичке, хемијске, структурне и технолошке особине.

Бакар је изузетно важан метал у свим гранама технике, посебно у електротехници, металургији, бродоградњи итд. Најзначајнија употреба је у електротехници (далеководи, генератори) будући да је бакар врло добар проводник електричне струје. Бакар је и добар проводник топлоте, па се користи и за израду цеви за грејање. Користи се и за израду различитих металних предмета (котлова), за покривање кровова. Током времена на бакарним површинама се ствара патина, која представља заштитни површински слој плаво—зеленог базичног бакровог карбоната. Нажалост, наши крајеви нису богати бакром као неки други делови света попут Јужне Америке, посебно као Чиле.

Литература

- [1] Ђукић В.: Метални материјали, Београд 1987. год.
- [2] Оруч М.: Савремени метални материјали, Зеница 2005. год.
- [3] Хаципашић А.: Материјали у машинству, Зеница 2000. год.
- [4] Седмак А., Милосављевић А.: Машински материјали, Београд 2003 год.
- [5] Лучић Р. : Машински материјали, Наука и инжењерство, Београд 1994.од.
- [6] Љевар А., Стојановић С. : Познавање материјала, Зрењанин 2001. год
- [7] Ђорђевић В. : Машински материјали, Машински факултет, Београд 1991.год.
- [8] Јовановић М., Адамовић Д., Лазић В., Ратковић Н., : Машински материјали, Машински факултет, Крагујевац 2003. год.
- [9] www.wikipedia.org/wiki/Bakar 10. септембар 2013 године
- [10] www.metslfoam.net 25. август 2013 године
- [11] www.borovizija.com 30. август 2013 године