

466119

MARIAN LUPULESCU

# MINERALURGIE

EDITURA UNIVERSITĂȚII DIN BUCUREȘTI

- 1996 -



BIBLIOTECA CENTRALĂ  
UNIVERSITARĂ  
București

Cota III 466119  
Inventar 805920

MARIAN LUPULESCU

# MINERALURGIE

*Note de curs*

EDITURA UNIVERSITĂȚII BUCUREȘTI

- 1996 -

<https://biblioteca-digitala.ro> / <https://unibuc.ro>

Biblioteca Centrală Universitară  
BUCUREȘTI  
Cota 11466/19  
Inventar 805220

7/92

Referenți științifici: Prof. dr. docent GRAȚIAN CIOFLICA  
Conf. dr. Ing. RADU JUDE

Toate drepturile de autor sunt rezervate Editurii Universității București.  
Orice reproducere sau traducere, fie și parțială, precum și  
contrafacerea de orice tip, intră sub incidența Codului Penal.

ISBN-973-575-047-3

Introducere	1
<b>Capitolul I</b>	<b>3</b>
1.1. Regimul mineralurgic	3
1.2. Conditii de calitate ale materiilor prime minerale	6
1.3. Clasificarea operatiilor de preparare a substantelor minerale utile	10
1.4. Caracterizarea generala a proprietatilor fizice care determina preparabilitatea substantelor minerale utile	12
1.5. Structura cristalina a substantelor minerale utile	16
1.5.1. Cristale ideale	18
1.5.2. Cristale cu forme intermediare de retea	21
1.5.3. Defectele retelelor cristaline	22
1.6. Influenta compozitiei mineralogice a minereurilor asupra preparabilitatii lor	26
1.7. Influenta texturii minereurilor asupra randamentului prepararii	33
1.8. Caracterizarea cantitativa a concresterilor minerale	40
<b>Capitolul II. Procedee de concentrare</b>	<b>42</b>
II.1. Concentrarea gravitationala	42
II.2. Concentrarea magnetica	52
II.3. Concentrarea electrica	58
II.4. Concentrarea prin flotatie	69
II.5. Procedee hidrometalurgice de preparare	84
II.6. Metode speciale de concentrare	93
<b>Capitolul III. Prelucrarea mineralurgica a minereurilor</b>	<b>94</b>
III. 1. Minereuri de fier	94
III. 2. Minereuri de mangan	98
III. 3. Minereuri de crom	98
III. 4. Minereuri de nichel si cobalt	100
III. 5. Minereuri de cupru	104
III. 6. Minereuri de plumb si zinc	109
III. 7. Minereuri de aur si argint	115
III. 8. Minereuri de wolfram	122
III. 9. Minereuri de molibden	125
III. 10. Minereuri de uraniu	126



## INTRODUCERE

Una din caracteristicile esențiale ale epocii în care trăim este continuă creștere a nevoii de bunuri materiale, ca urmare directă a dezvoltării tehnico științifice. În acest context general, economia miniera a avut până acum și are în continuare un rol important prin calitatea și cantitatea materiilor prime minerale pe care le pune la dispoziția unor industrii precum cea metalurgică, constructoare de mașini, energetică, chimică, etc.

În momentul acesta, deși cercetarea sistematică a primilor 2000 m de la suprafața Pământului a fost efectuată într-o măsură redusă și deci cercetarea geologică, atât cea aplicativă cât și cea fundamentală are încă un larg câmp de studiu, totuși ne confruntăm cu două tendințe majore, care sunt dependente de gradul de dezvoltare economică al unei țări. Astfel, țările superindustrializate se bazează în primul rând pe metalele obținute prin recuperarea și reciclarea deșeurilor de rectificare, etc., pe când țările cu o putere economică scăzută, îndeosebi cele din lumea a treia, își obțin materiile prime din subsolul propriu.

Unele din materiile prime, îndeosebi metalele comune sunt cerute de diferite industrii și sunt indispensabile obținerii de unor produse de strictă necesitate și utilitate; pentru alte metale, așa cum este aurul, cererea de pe piață este dependentă de voința oamenilor și nu de cererea industriei. Dar, indiferent din partea cui vine cererea, materiile prime și între ele metalele trebuie extrase din starea în care se găsesc în natură și transformate într-un produs vandabil.

Una din disciplinele care participă la transformarea unui metal (și nu numai) din starea lui naturală într-un "obiect" ce poate fi comercializat este **Mineralurgia**.

In istoria omenirii primele separari a unor materii prime naturale de altele au fost facute de omul primitiv, care, pe criterii strict practice isi alegea diverse pietre pentru a-si face arme si unelte. Fara a constientiza, el folosea unele din proprietatile fizice ale unor materiale pentru a le alege de altele nefolositoare lui. Mai tarziu, in evolutia sa, omul stramos a descoperit o alta insusire a materialelor, plasticitatea si astfel, a inceput a fi folosita argila pentru olarit. Urmeaza descoperirea metalelor, fierul, cuprul, aurul, argintul, etc. Concentrarea mineralelor in vederea extragerii metalelor a lasat urme vechi, de peste 6500 ani.

Cursul de fata incearca nu o prezentare exhaustiva a problemelor de Mineralurgie, disciplina cu un pronuntat caracter aplicativ, ci subliniaza acea parte a disciplinei care aplica procedeele cercetarii mineralogice la separarea diferitelor minerale sau grupuri de minerale, evidentiind proprietatile acestora de la scara atomica la cea microscopica si modul in care acestea pot fi folosite in practica de zi cu zi.

Cursul de fata se adreseaza studentilor din anul V, sectia Geologia resurselor si tuturor celor care studiaza Zacamintele de minereuri.



## I.1. REGIMUL MINERALURGIC

În majoritatea cazurilor, substanțele minerale utile așa cum sunt ele prezente în natură și sunt extrase din zăcămint, nu au calitățile necesare utilizării lor de către anumite ramuri industriale. Din acest motiv ele sunt supuse unor prelucrări fizice și fizico - chimice, în urma cărora să capete acele caracteristici care să le transforme în produse comercializabile. Acea verigă de legătură dintre minereu (starea brută, naturală a substanței minerale utile) și procedeele de topire metalurgică (sau alte procedee) este "Prepararea substanțelor minerale utile". Obiectul preparării este nu numai substanța utilă purtătoare de minerale cu conținut în metal dar și substanțele nemetalifere (materiale de construcție, săruri, etc.). În ultima vreme, impunerea noțiunii de Mineralurgie este argumentată de specialiști prin diferențele între calitatea și cantitatea minereurilor prelucrate și a tehnicilor de separare utilizate. Întrucât astăzi separarea mineralelor utile se realizează din zăcămint cu conținuturi mici, caracterizate de texturi de concreștere foarte fine, uneori alterate și utilizarea unor procedee de separare care să confere calități sporite produsului ce urmează a fi comercializat trebuie să fie deosebit de exigentă.

Încercând o definiție a regimului mineralurgic (de preparare) putem cuprinde aici totalitatea procedeelelor (mecanice, fizice, chimice) care printr-un șir de operații, din minereul extras din zăcămint obțin produse care pot fi apoi livrate (vândute) fie industriei metalurgice pentru prelucrări ulterioare, fie direct la consumatori. Cu alte cuvinte, minereul extras din zăcămint este supus unui procedeu tehnologic ce se pretează calitatilor minereului și în urma acestui proces se obține un concentrat de minerale utile. Acesta din urmă fie că este vândut ca atare pentru consum industrial sau individual, fie

ca este ulterior prelucrat (metalurgic, hidrometalurgic, chimic) pentru extragerea unui metal sau mai multora sau a altor componente utili.

Sirul de operatii si procese care duc de la minereul brut la concentrate constituie fluxul tehnologic mineralurgic (de preparare) a minereului respectiv.

Obiectul procedeeilor mineralurgice (de preparare) este separarea mineralelor utile sau a metalelor si metaloidelor native de mineralele de ganga si de rocile însoitoare ca si separarea metalelor si/sau metaloidelor între ele.

Factorii care guverneaza si care decid alegerea procedeeilor de preparare a unui anumit tip de minereu cât si selectivitatea acestuia sunt pur mineralogici: compozitia minerala a minereului supus prelucrării, gradul de asociere (concreștere) a mineralelor componente si dimensiunile acestora. Acelasi procedeu mineralurgic daca este aplicat la minereuri cu aceeasi compozitie mineralogica dar care provin din zacaminte formate în conditii diferite, deci caracterizate de texturi specifice, duce la obtinerea unor concentrate cu calitati diferite si implicit, costuri diferite.

Acesta este un argument esential în folosirea studiilor mineralogice detaliate pentru fiecare tip de zacamânt si în cadrul aceluiasi zacamânt , pentru fiecare corp de minereu si prin aceasta obligativitatea considerării fiecarui corp de minereu ca un obiect separat de preparare.

Este de la sine înteles ca numai singur studiul mineralogic detaliat nu poate solutiona în întregime problema preparabilitatii corpurilor de minereu. Pentru alegerea unui procedeu adecvat de preparare, pe baza studiilor mineralogice, se fac încercari de preparare, începand din etapa de explorare a zacamântului, în conditii pilot, semiindustriale si industriale, luându-se în considerare mai multe variante de flux tehnologic, astfel ca în fiecare moment tehnologia de preparare sa fie foarte bine documentata.

În practica geologică sunt numeroase cazuri de zăcăminte care au fost explorate în întregime și pentru care s-au calculat rezerve mari cu conținuturi foarte bune, dar care nu pot fi extrase nu din cauza condițiilor în care se găsesc ci din motivul necunoașterii unui flux tehnologic adecvat. De asemenea sunt zăcăminte explorate integral, cu rezerve de minereu de sorturi diferite la care se exploatează și se prepară numai acele sorturi pentru care este bine cunoscută tehnologia de preparare.

O soluție practică în majoritatea studiilor de preparabilitate este folosirea combinată a mai multor procedee în scopul obținerii concentratelor cele mai bogate posibil, la cel mai ieftin preț.

În studiile de preparabilitate este important să se valorifice complet și complex minereul extras dintr-un zăcămint. Aceasta înseamnă nu numai efectuarea unor studii pentru elementele majore, dominante în minereu, ci și pentru elementele minore, care pot să crească foarte mult valoarea concentratului și uneori să o depășească (subprodus).

Dar, în același timp este necesar ca aceste studii să urmărească și prezenta componentelor minerali sau chimici cu caracter daunator. Definirea unui mineral sau a unui element ca "daunator" este numai relativă, pentru că un component al unui minereu poate fi considerat daunator numai în prezenta unor alți componente cu valoare mai mare decât el și când împiedică sau îngreuează extragerea acestora sau micșorează calitatea lor. În alte cazuri, aceste componente pot deveni utile.

De exemplu, sulful în minereul de fier este considerat un element daunator, de la un conținut anumit ( $>0.35\%$ ). În alte minereuri nu este daunator ci este valorificat ca element accesoriu. Tot în minereurile de fier mai sunt considerate daunatoare fosforul ( $>2\%$ ) și arsenul ( $>0.05\%$ ).

Pentru alte minereuri cu alte componente minerale utile sunt considerate daunatoare As, Sb, Cu, Fe, etc. Dar sunt situații în care elementele accesorii sunt mai valoroase decât produsul principal, dacă se pot separa și valorifica aparte; este cazul unor elemente rare și disperse din minereurile complexe sau din alte minereuri. Din acest motiv la prepararea minereurilor polimetalice trebuie să se

urmareasca în ce concentrat trec o serie de componente accesorii, de regula elemente rare si disperse precum: seleniu, telur, cadmiu, strontiu, germaniu, galiu, indiu, thaliu, rubidiu, reniu, etc., elemente ce ridica sensibil valoarea acestuia.

Ca probleme generale pe care si le propune studiul tehnologiei de preparare a minereurilor amintim:

- îndepartarea componentilor daunatori la continuturi peste limitele admise;
- stabilirea componentilor accesorii valorificabili si continuturile minime la care este acceptata valorificarea;
- care este cea mai buna cale de valorificare a minereului, globala sau pe sorturi industriale ?

Regimul mineralurgic trebuie sa asigure recuperarea tuturor componentilor utili principali si accesorii din minereuri si continuturi de metale în rezidu cât mai mici.

## 1.2. CONDITII DE CALITATE ALE MATERIIILOR PRIME MINERALE

În majoritatea cazurilor produsele economiei geologo-miniere reprezinta baza de materie prima pentru industria metalurgica, chimica, ceramica, materialelor de constructie. Dar pentru ca aceste produse sa poata fi folosite ele trebuie sa aiba anumite calitati ce sunt cerute de specificul fiecarei industrii. Substantele minerale utile (mai ales cele metalifere) au foarte rar calitatile impuse de industrie si deci este necesara aducerea lor la o forma care sa permita folosirea lor. Pentru minereurile metalifere conditiile de calitate necesare utilizarii industriale sunt:

### A. Continutul în metal.

B. Compozitia chimico-mineralogica.

C. Granulatia minereurilor.

D. Umiditatea minereurilor si concentratelor.

**A. Continutul în metal.** Este o conditie esentiala pentru ca el influenteaza extractia metalurgica, consumurile de coacs si de carburanti, productivitatea instalatiilor industriale si costul metalelor.

Cresterea continutului în metal determina scaderea consumului energetic si deci o crestere a productivitatii instalatiilor metalurgice prin prelucrarea unei cantitati mai mici de minereu si obtinerea aceleiasi cantitati de metal.

Prezenta într-un agregat a mai multor metale (ca în cazul minereurilor polimetalice) si a elementelor însoitoare complica procesele de prelucrare metalurgica; pierderile de metal sunt mai mari si uneori scade calitatea metalelor extrase. De exemplu la metalurgia plumbului, prezenta zincului determina scaderea randamentului de extractie a plumbului datorita vâscozitatii mari a zgurii formate ce retine o parte din plumb. În astfel de minereuri, pentru o buna preparabilitate, prezenta zincului si a altor elemente însoitoare este limitata: Zn < 8% (preferabil 3-4%), As < 0.1%, Bi < 0.01%.

Pentru alte minereuri, prezenta unor metale peste anumite limite determina o crestere a calitatii acestora. Astfel, pentru minereurile de fier, prezenta unor continuturi în Mn > 1.2-1.5%, V > 0.2%, Ni > 0.3% este benefica, ridicând valoarea minereului. Asa cum am mai amintit, prezenta peste anumite limite a sulfului, arsenului si fosforului este daunatoare minereurilor de fier.

Exista si situatia în care sunt produse metalurgic si minereuri brute. Lucrul acesta este posibil când minereul are continuturi suficient de ridicate în metal sau când procedeul metalurgic folosit permite aceasta. Sunt de asemenea si unele procedee hidrometalurgice care permit chiar prelucrarea unor minereuri sarace fara o concentrare prealabila. Pentru minereurile neferoase, tehnologia de preparare se bazeaza pe procesul de flotatie. Variatia mare a caracteristicilor texturale ale minereurilor

si necesitatea obtinerii unor concentrate de calitate superioara cu recuperari maxime a condus la aplicarea acestei tehnologii în diverse variante.

Cu titlu informativ prezentam câteva conditii industriale necesare prelucrării metalurgice a concentratelor de metale neferoase în România.

Concentratele cuprifere trebuie sa aiba un continut minim de 12% în Cu. Prelucrarea metalurgica se efectueaza pe doua cai, în functie de continutul concentratelor în sulf:

- concentratele bogate în sulf, respectiv cu minim 30% S se prelucreaza prin topire, întrucât sulful în acest caz este un element valorificabil;

- concentratele cuprifere sarace în sulf, dar cu continuturi ridicate în silice, alumina, etc., se prelucreaza în cuptoare cu flacara, pentru ca sulful acum nu este element util.

Concentratele de plumb sunt acceptate în metalurgie la continuturi de minim 40% Pb. Calitatea lor este conditionata si de continuturi scazute în Zn (<3-4%) si cupru (1-2%).

Concentratele de zinc sunt considerate de buna calitate la continuturi de peste 50% Zn. Elementul daunator principal îl constituie fierul a carui prezenta micaoreaza randamentul procesului, pentru fiecare procent de fier rezultând un procent de zinc pierdut în zgura.

Se pot prelucra prin unele procedee si concentratele de plumb si zinc; aceste metale trebuie sa însumeze teoretic, minim 57%, iar continutul în fier sa fie sub 3%, iar cuprul sub 1.8-2%.

Concentratele de pirita trebuie sa contina cel puțin 40% S, tendinta fiind de obtinere a unor concentrate cu 48% S. Continuturile de Pb, Zn, sau Cu, prezente în concentratele de pirita sunt recuperabile pe cale metalurgica din cenusa rezultata.

Utilizarea cenusilor de pirita ca materie prima în industria siderurgica impune conditii stricte de calitate, respectiv bioxid de siliciu sub 5%, Pb <0.01%, Zn <0.1%, Cu <0.02% si As <0.03%.

B. Compoziția chimico-mineralogică. Aceasta influențează desfășurarea proceselor metalurgice (piro- sau hidrometalurgice). De exemplu, dacă într-un concentrat metalele sunt prezente sub forma de sulfuri este necesară prajirea lor prealabilă pentru ușurarea proceselor pirometalurgice.

În procesele hidrometalurgice importantă este și compoziția chimico-mineralogică a mineralelor de gangă. Aceasta se exprimă prin indicele de bazicitate (ib) ca un raport între suma oxizilor de calciu și magneziu la suma silicei și aluminei sau mai simplu ca un raport între oxidul de calciu și silice. Cunoașterea caracterului mineralogic al sterilului este importantă în alegerea soluțiilor în vederea îndepărtării lui. Astfel, pentru minereurile silicioase (ib < 1) se folosesc acizi puternici, iar pentru minereurile cu conținut ridicat în CaO unde ib > 1, se utilizează acizi slabi.

Conform compoziției chimico-mineralogice, minereurile pot fi clasificate tehnologic în următoarele categorii:

1. Minereuri de Cu, Au, Ag, Pb, etc.;
2. Minereuri oxidice, sulfurice, sulfo-arsenioase, silicatică, carbonatică, etc.;
3. Simple (monometalice) și complexe (polimetalice);
4. Acide (silicioase și aluminoase) și bazice (carbonatică și feruginoase);

utilizând drept criterii:

- combinațiile chimice ale metalului extras;
- complexitatea;
- compoziția sterilului.

C. Granulația minereurilor. Fiecare proces metalurgic cere o anumită dimensiune a particulelor minerale pentru ca reacțiile chimice și transferul caloric sunt cu atât mai mari și mai intense cu cât scade dimensiunea componentelor minerale. În procesul de prelucrare metalurgică, dimensiunile crescute ale

granulelor determina un proces de difuzie si reducere mai lent, marind durata proceselor fizico-chimice.

Aceasta înseamna cresterea consumului de combustibil si scaderea productivitatii furnalului.

Pentru realizarea granulatiei cerute se folosesc operatiile de clasare. În situatia în care procedeul metalurgic solicita o granulatie mai mare se utilizeaza operatii de aglomerare mecanica.

D. Umiditatea minereurilor si concentratelor. Aceasta are influenta asupra procedeeelor metalurgice printr-un surplus caloric necesar evaporarii apei. De aceea, înainte de a fi trimise la prelucrarea metalurgica, minereurile si concentratele sunt supuse unor operatii de desecare si uscare.

### I.3. CLASIFICAREA OPERATIILOR DE PREPARARE A SUBSTANTELOR MINERALE UTILE

Fluxul tehnologic de transformare a unui minereu într-un produs ce poate fi livrat industriei metalurgice sau industriilor consumatoare cuprinde mai multe operatii care se succed în vederea obtinerii rezultatului final.

I. Operatii de clasare. Operatiile de clasare sunt procedee de natura mecanica prin care substantele minerale utile policomponente se separa pe clase granulometrice cu dimensiuni cuprinse între anumite limite. Realizarea acestor operatii se face :

- volumetric (operatii de ciuruire);
- gravimetric (simptotic). Clasarea gravimetrica are la baza viteza limita de cadere a granulelor

în aer sau apa.

II. Operatii de maruntire. La fel ca si clasarea, maruntirea este un procedeu mecanic prin care substantele minerale utile sunt "desfacute" în granule de dimensiuni mici. Aceasta operatie se executa



în mai multe trepte: pînă la dimensiuni de 1 (8) mm se numeste sfărîmare sau concasare, iar sub aceasta dimensiune care nu este riguros exactă se numeste macinare.

III. Operații de concentrare. Dacă primele două categorii de operații sunt cu caracter pregătitor, operațiile de concentrare reprezintă separarea substanței (substanțelor) utile de substanța sterilă din minereu. Principalele operații de concentrare sunt:

*1. Concentrarea gravitațională.* Aceasta se bazează pe diferența de greutate specifică a fazelor minerale separate, a dimensiunilor și în unele cazuri pe criteriul formei granulelor minerale. Separarea gravitațională se realizează:

- prin zetaj;
- în medii dense;
- pe mese de concentrare;
- pe jgheaburi.

*2. Concentrarea prin flotatie.* Flotatia folosește pentru separarea utilului de steril proprietățile superficiale ale granulelor minerale, proprietăți care sunt amplificate sau diminuate cu ajutorul reactivilor chimici.

*3. Concentrarea magnetică.* Diferența de proprietăți magnetice (permeabilitatea magnetică) a mineralelor componente ale unui minereu stă la baza utilizării în practică separării mineralelor prin această operație de concentrare.

*4. Concentrarea electrostatică.* În această operație separarea mineralelor utile se realizează prin diferențele de conductivitate electrică a mineralelor.

*5. Alte procedee.* În unele situații separarea mineralelor se face după forma, culoare, coeficient de frecare, solubilitate, etc.

IV. Operatii de desecare. Acestea reprezinta operatii de îndepărtare a apei din diferite substanțe minerale utile sau produse ale preparării. Metodele de desecare sunt:

- desecarea statică (egutarea), ce se realizează prin scurgerea liberă a apei;
- desecarea mecanică, prin eliminarea apei cu ajutorul filtrelor, centrifugelor. etc.

V. Operatii de uscare, prin care îndepărtarea apei se face pe cale termică sau chimică.

VI. Operatii de aglomerare și brichetare. Aceste operatii constau în reunirea în fragmente mari a granulelor de substanțe minerale utile cu ajutorul căldurii sau prin presare.

VII. Operatii auxiliare. Acestea apar uneori ca o necesitate a realizării metodelor tehnologice de preparare, precum operatii de transport, depozitare, cântărire, colectare probe, etc.

#### I.4. CARACTERIZAREA GENERALĂ A PROPRIETĂȚILOR FIZICE CARE DETERMINĂ PREPARABILITATEA SUBSTANȚELOR MINERALE UTILE

Obiectul supus operațiilor de preparare este un agregat policomponent alcătuit din faze minerale care au proprietăți fizice diferite.

Mineralele sunt corpuri omogene, în majoritatea lor cristaline. Proprietățile lor sunt determinate în primul rând de compoziția chimică și structura. Structura mineralelor poate fi apreciată sub două aspecte:

a. Macroscopic mineralele au o structură continuă, adică punctele lor materiale umplu complet volumul ocupat de mineral;

b. La nivel atomic materia care alcătuieste mineralul are caracter discontinuu.

La minerale structura cristalina este cea dominanta. Acest lucru este o dovada ca la echilibrul termodinamic fortele de atractie dintre particulele constitutive (ioni, atomi, molecule) determina asezarea acestora într-o forma geometrica regulata care se repeta periodic. Aceasta distributie periodica a particulelor este simetria interna a cristalului, care se materializeaza la exterior printr-o simetrie externa, geometrica, ce genereaza formele cristalografice ale diferitelor minerale. Aceste forme cristalografice sunt utilizate pentru identificarea mineralelor.

Sunt cazuri în lumea minerala când minerale diferite cristalizeaza în forme identice sau asemanatoare, fenomenul numindu-se izomorfism.

Alte minerale sunt caracterizate de polimorfism; ele, în functie de conditiile de P, T ale mediului în care se formeaza pot cristaliza în forme diverse. Este cazul carbonului ce poate fi sub forma de diamant (cubic) sau grafit (hexagonal), care desi chimic sunt la fel, au structuri cristaline diferite si proprietati fizice diferite. La fel putem pune în discutie cazul bioxidului de siliciu care se poate prezenta ca tridimit, cristobalit si cuarț, fiecare având câte doua modificatii si cu proprietati cristalografice si fizice diferite.

În lumea mineralelor sunt prezente si forme amorfe ale mineralelor, dar comparativ cu formele cristaline, numarul lor este redus. Ele apar prin:

- solidificarea brusca a topiturilor,
- fenomene de trecere dintr-o stare de oxidare în alta a elementelor din compozitia unui mineral;
- actiunea radiatiilor emise de un component radioactiv dintr-o faza minerala ce determina deteriorarea rețelei cristaline a mineralului si trecerea lui în stare metamictica.

În compoziția crustei sunt întâlnite și minerale cu texturi colomorfe, care la prima vedere par a fi amorfe, dar studiul lor atent arată că sunt cryptocristaline. În această situație sunt gelurile consolidate (ex. limonitul) sau cristalosolii (soluții coloidale cristaline din medii cristaline ce conțin dispersii străine).

Proprietățile pe care le prezintă mineralele pot fi grupate în proprietăți scalare și proprietăți vectoriale. Proprietățile scalare sunt caracterizate printr-o simplă valoare numerică. În definiția lor nu intra nici un element direcțional. Ele sunt reprezentate grafic printr-un punct. Aceste proprietăți sunt densitatea și căldura specifică. Folosirea lor nu permite separarea mineralelor amorfe de cele cristalizate.

Proprietățile vectoriale variază cu direcția și uneori cu sensul. Pentru precizarea lor este necesar să se indice în afara valorilor numerice și direcția. Grafic proprietățile vectoriale se reprezintă printr-un vector cu valoare, sens și direcție. Astfel de proprietăți sunt proprietățile optice, conductibilitatea termică, proprietățile mecanice, etc.

După utilizarea lor în procesele de preparare, proprietățile mineralelor sunt grupate în :

1. Proprietăți cu influență directă sau indirectă asupra operațiilor de preparare, așa cum sunt densitatea, energia superficială, etc.;
2. Proprietăți ce caracterizează anumite operații de preparare, precum proprietățile structural-mecanice (maruntirea), susceptibilitatea magnetică (concentrarea magnetică), proprietățile interfetelor minerale (flotația), etc.

La prima vedere, proprietățile mineralelor care sunt folosite în procesele de preparare par a fi diferite, dar ele au aceeași origine în structura reticulară și în tipul de rețea cristalină. Aceasta, la rândul ei este funcție de compoziția chimică, de dimensiunea și numărul ionilor, atomilor sau moleculelor și de natura forțelor care există în rețea.

Proprietatile mineralelor care sunt utilizate pentru fiecare tip de operatie din fluxul tehnologic de preparare sunt:

A. Forma, dimensiunile si repartitia granulometrica sunt esentiale pentru clasare. Acestea sunt determinate de rezistenta substantelor minerale utile.

B. Maruntirea depinde tot de rezistenta mineralelor care este determinata de natura fortelor de legatura dintre particulele componente ale cristalului.

C. Operatiile de concentrare se bazeaza pe diferentele care exista între caracteristicile fizice (si uneori chimice) ale sub-stantei prelucrate.

Unele metode de concentrare utilizeaza fortele masice ale granulelor care sunt produse sub actiunea diferitelor câmpuri de forte, precum câmpul gravitational, magnetic, centrifugal, etc.

Alte metode se bazeaza pe diferentele dintre proprietatile suprafetelor sau interfetelor, asa cum sunt flotatia, separarea electrostatica. Aceste proprietati au însa caracter temporar, pentru ca ele se modifica în functie de rezultatele unor reactii de suprafata\_ (oxidare, difuzie, dizolvare), prin interactiunea cu faza apoasa ca si cu gradul de susceptibilitate a structurii fine a starii solide.

În separarea electrostatica un rol important este jucat de conductivitate, nivelul de energie Fermi si de lucrul de iesire al electronilor. Valoarea acestora este dependenta de configuratia electronica a retelei cristaline si a suprafetelor, ca si de proprietatile atmosferei în care se realizeaza separarea. Daca obiectul supus separarii este reprezentat prin granule care au fost complet dezasociate, atunci, cunoscându-se proprietatile mineralelor se poate aprecia cu destula exactitate modul de comportare în diverse procedee de preparare. Dar în majoritatea cazurilor dezasocierea nu este completa. Prin observatii mineralogice asupra produsilor operatiilor de maruntire, în functie de metoda de concentrare folosita putem aprecia comportarea granulelor asociate în diverse procedee de preparare.

Astfel, la concentrarea gravitacionala modul în care se comporta granulele asociate poate fi prevazut prin calculul densitatii medii ponderate functie de greutatea specifica a mineralelor componente si de participarea lor.

Pentru alte metode de concentrare nu se poate anticipa rezultatul separarii daca se cunoaste gradul de asociere. La separarea magnetica, o proportie foarte mica de material magnetic, uneori prezent doar ca incluziuni, poate sa determine cresterea susceptibilitatii magnetice a unei asociatii minerale si sa fie separata împreuna cu granulele magnetice complet libere.

La flotatie, modul în care se prezinta asociatiile minerale la suprafata granulelor determina rezultatul separarii. Daca un mineral se gaseste inclus complet în interiorul altui mineral, granuliul se va comporta identic cu specia minerala de la exterior, pentru ca numai proprietatile superficiale ale acesteia influenteaz\_ separarea.

## I.5. STRUCTURA CRISTALINA A SUBSTANTELOR MINERALE UTILE

Structura cristalina a mineralelor determina proprietatile fizice si chimice care sunt utilizate în procesele mineralurgice.

Teoretic avem de-a face cu cristale ideale; practic în natura se gasesc numai cristale reale

Cristale ideale. Sunt constituite din particule (atomi, ioni, molecule) aranjate regulat în nodurile unei retele definite prin trei vectori de translatie fundamentali: (a, b, c) luati dupa cele trei axe (X, Y, Z) ce fac între ele unghiuri  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ .

Metodele de difractie RX au dovedit posibilitatea existentei a numeroase structuri reticulare. Pentru sistematizarea lor a fost adoptata o clasificare bazata pe compozitia chimica ce începe cu

structurile elementare si continua cu structuri din ce în ce mai complexe. O alta metoda este în functie de legatura dominanta care exista între particulele componente si starea lor de ionizare. Conform acestei clasificari sunt patru tipuri fundamentale de retele: metalice, ionice, covalente si moleculare. Se pot deosebi de asemenea tipuri de retele homeodesmice si heterodesmice.

*Retele homeodesmice.* Sunt acele retele în care exista un singur tip de legatura, asa cum sunt retelele metalelor, retea covalenta a diamantului, retelele ionice ale halogenurilor alcaline.

*Retele heterodesmice.* Sunt retelele în care apar legaturi de rezonanta.

Cristalele moleculare sunt caracteristice pentru substantele organice. Asezarea spatiala a particulelor este conditionata de fortele de atractie dintre ele cu origine în atomii ce alcatuiesc substanta.

Cristalul poate fi considerat un complex de atomi sau ioni care poseda legaturi libere, astfel încât cristalul are întotdeauna o fata nesaturata, având tendința de a creste permanent. Fortele care leaga particulele între ele în retea cristalina variaza în functie de structura acestora. Dupa starea lor de ionizare sunt legaturi ionice sau heteropolare, covalente sau homeopolare, metalice si de tip Van der Waals.

Energia de legatura dintre particule este egala cu energia necesara disocierii cristalului în atomi sau ioni separati si variaza de la 2.4 la 283 kcal/mol. Ea este mai mare la retelele ionice si covalente si mai mica la cele metalice.

Cristalele cu retele ionice prezinta conductibilitate electrica slaba la temperaturi joase si buna la temperaturi ridicate, în timp ce cristalele cu retele covalente au duritate mare, conductibilitate electrica slaba la temperatura joasa, când cristalul este pur. Cristalele metalice au conductibilitate electrica foarte buna.



În afara celor patru forme de rețele cristaline de baza mai exista si altele intermediare care prezinta mai multe forme de legatura între particulele componente (heterodesmice). În aceasta categorie intra rețelele cu legaturi de hidrogen, rețelele ionice cu ioni complecsi ale silicailor, rețelele stratificate.

Între legatura ionica si covalenta exista treceri gradate. Acestea apar datorita deformatiilor învelisurilor electronice ale ionilor sub influenta unor ioni vecini (polarizare) sau prin aparitia mai multor legaturi nepolare (rezonanta).

### I.5.1. CRISTALE IDEALE

*Cristalele ionice.* Sunt constituite din ioni pozitivi si negativi, având fiecare o sarcina egala cu un multiplu al sarcinii electronului. Coeziunea dintre ionii pozitivi si cei negativi este data de suma forteilor de atractie coulombiana dintre ionii de semn contrar si fortele de repulsie dintre învelisurile electronice ale ionilor care interactioneaza. Taria legaturii dintre un cation si un electron este data de valenaa electrostatica ( $p$ ) si valenta anionului ( $y$ ).

Conform legii lui Pauling, valenta electrostatica este exprimata prin raportul dintre valenta cationului si numarul de anioni coordinati de cation ( $n$ ).

Daca se ia în considerare relatia dintre valenta electrostatica ( $p$ ) si valenta anionului ( $y$ ), exista urmatoarele tipuri de rețele ionice:

a.  $p < y/2$ : rețele izodesmice (ex. NaOH)

b.  $p > y/2$ : rețele anizodesmice care sunt caracterizate prin radicali în interiorul carora legaturile sunt mai puternice decât cele din retea asa cum apar la compuşii oxigenati ai C, P, As, S, Cr, Mn, sau  $NH_4$ .



c.  $p = y/2$  : rețele mezodesmice ca la ionii tetraedrici de  $\text{SiO}_4$

a. **Cristalele ionice izodesmice** au structuri de coordinație care sunt determinate de raportul geometric al razelor particulelor constitutive. Sunt rețele de tip - AX ca la  $\text{CsCl}$ ,  $\text{NaCl}$ ,  $\text{KCl}$ ,  $\text{PbS}$

-tip  $\text{AX}_2$  -fluorina, rutil, cristobalit

-tip  $\text{A}_2\text{X}_3$  -corindon

-tip  $\text{ABX}_3$  -ilmenit, pirofanit

-tip  $\text{AB}_2\text{X}_4$  -spinel (cromit, magnetit)

b. **Cristalele ionice anizodesmice** conțin radicali stabili formați dintr-un cation mic cu sarcina electrică mare înconjurat de anioni mari, ca oxigenul, fluorul, etc. Există multe structuri de acest tip; le vom prezenta pe cele de tip  $\text{BX}_3$  și  $\text{BX}_4$ . Radicalul  $\text{BX}_3$  are o structură planară. Caracteristic pentru acest tip sunt structurile calcitului și aragonitului:  $-\text{BX}_3$  (calcit) are  $R_x < 1,1 \text{ \AA}$  iar mineralele asemenea sunt: magnezit, dolomit, smithsonit, rodocrozit, siderit.

$-\text{BX}_3$  (aragonit) are  $1,1 \text{ \AA} < R_A < 1,43 \text{ \AA}$ . Minerale cu structură asemănătoare sunt strontianit, witherit, ceruzit.

c. **Cristalele ionice mezodesmice** se formează atunci când un cation este înconjurat de atâția anioni cât este și valența sa. Apar la borati ( $\text{BO}_3$ ), silicati ( $\text{SiO}_4$ ), germanati ( $\text{GeO}_4$ ). Caracteristic pentru acest tip de combinații este faptul că grupurile  $\text{BO}_3$ ,  $\text{SiO}_4$ ,  $\text{GeO}_4$  se pot combina în diverse moduri dând naștere la structuri foarte variate (inele, lanțuri, cicluri, etc.). Cele mai importante sunt cele ale silicatilor.

Cristalele ionice posedă legături de natură electrostatică destul de puternice, din care cauză necesită o energie relativ mare pentru a le rupe. Durețea este cu atât mai mare cu cât ionii sunt mai apropiați și au valențe mai mari. Prezintă puncte de topire înalte și puncte de fierbere și mai înalte. Se dizolvă în solvenți care au constantă dielectrică mare pentru că acestea micșorează forțele electrostatice

care retin ionii în rețeaua cristalină, permițând mișcarea lor liberă în soluție. Sunt substanțe dielectrice, nu conduc electricitatea decât în stare disociată. Optic sunt transparente și incolor.

Cristalele covalente sunt constituite din rețele compuse din particule neutre din punct de vedere electric (atomi), legate prin legături covalente clasice identice cu cele chimice. Legăturile de acest tip, față de cele ionice au o energie de legătură mare. Minerale care posedă acest tip de legătură sunt: diamantul, blenda, wurtzitul, grafitul. Proprietățile mecanice ale cristalelor covalente nu diferă în general de cele ale cristalelor ionice, dar de la o varietate la alta se constată diferențe mari. Astfel, diamantul are cea mai mare duritate și se topește la peste 6000°C, în timp ce blenda are o duritate medie și se descompune ușor la încălzire. Pentru că legătura covalentă este puternică, iar apropierea între atomii componenți este mică (1.2 - 2.4 Å), se poate afirma că, în general pentru desfacerea cristalului și deci pentru topire și fierbere sunt necesare energii foarte mari. Spre deosebire de cristalele ionice, cristalele covalente nu conduc curentul în stare topită. Optic, se caracterizează prin unghiuri de refracție foarte mari și printr-un luciu caracteristic, adamantin. Au greutate specifică relativ mică.

Cristale metalice. Se caracterizează printr-o conductibilitate electrică foarte bună, datorită numărului mare de electroni liberi (de obicei unul sau doi pentru fiecare atom). În concepția actuală metalul este alcătuit dintr-un ansamblu de părți componente ale atomilor, electroni și ioni. Majoritatea metalelor se caracterizează prin structuri compacte cu simetrie foarte ridicată. Un număr redus de metale precum Zn, Cd, Hg, Mn, In, Ga, Ge, Sn au rețele mai puțin compacte. Din cauza apropierii atomilor între ei, în unele din aceste rețele apar legături covalente intercalate cu legături metalice.

Datorită forțelor de legătură puternice care țin unite particulele constitutive ale rețelei, metalele au proprietăți mecanice remarcabile.

Se observa variatii foarte mari între aceste proprietati ca si în ceea ce priveste punctele de topire si de fierbere. Acest lucru poate fi explicat prin configuratiile electronice ale atomilor metalului respectiv.

O importana\_ tehnologica mare o au structurile care poseda plane reticulare mari, deoarece acestea se caracterizeaza printr-o mare plasticitate.

Cristale moleculare. Între particulele componente reprezentate prin molecule sunt legaturi slabe de tip Van der Waals. Dintre minerale, singur sulful nativ are cristale moleculare. În general substantele din aceasta categorie au duritate redusa, se topesc usor, nu conduc electricitatea, sunt transparente.

Legaturi moleculare apar si în cazul unor retele stratificate ca la grafit, arsen, stibiu.

## I.5.2. CRISTALE CU FORME INTERMEDIARE DE REȚEA

În afara celor patru forme de rețele de baza mai exista si altele intermediare ce prezinta mai multe forme de legatura între particulele componente (heterodesmice).

a. Retele cu legaturi de hidrogen. Pentru formarea acestui tip de legatura trebuie sa existe un atom electronegativ (X) care sa asigure legaturii X-H un caracter partial ionic si sa lase disponibil partial orbitalul 1s al H; acest tip de legaturi au o energie relativ mica (apx. 5.8 kcal/mol). Dintre mineralele care poseda astfel de rețele, gipsul ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) are o structura în strate unite între ele prin legaturi de hidrogen, legaturi care se exercita între moleculele de apa si anioni.

b. Retele ionice stratificate. La acele rețele ionice care conțin cationi puternic electropozitivi și anioni cu electronii de valență slab legați în învelișul electronic exterior se produce o polarizare a anionilor ceea ce duce la o stratificare a rețelei, determinând o structură în pachete constituită dintr-un plan de cationi situat între două plane de anioni. În cadrul aceluiași pachet sunt legături heteropolare; uneori există și legături homeopolare. Între două pachete sunt legături Van der Waals.

Exemplele cele mai importante sunt din grupa rețelilor izodesmice de tip  $AX_2$  și a celor mezodesmice (silicați stratificați). Dacă  $F^-$  și  $O^{2-}$  din compuşii de tip  $AX_2$  sunt înlocuiți cu alții ce se polarizează mai ușor (Cl, Br, I sau S, Se, Te) rezultă structuri ionice stratificate. Stratificarea este cu atât mai evidentă cu cât cationul este mai mare ca dimensiuni. Aici intră silicații cu rețele stratificate.

c. Retele covalent metalice. Unele combinații ale elementelor metalice au un caracter de tranziție de la rețelele covalente la cele metalice rezultând substanțe care au caracteristici atât din cele ale cristalelor covalente cât și din cele metalice (conductibilitate). Aici intră sulfurile și unii oxizi (de Cu, Pb, Ag).

### I.5.3. DEFECTELE REȚELOR CRISTALINE

În natură numai în mod excepțional rețelele cristaline au structurile perfecte. În majoritatea cazurilor se constată unele abateri de la structura periodică perfectă care sunt denumite defecte sau imperfecțiuni. Ele pot fi puse în evidență direct, prin analize de raze X, sau indirect prin efectele pe care le produc asupra unora din proprietățile caracteristice (modificarea conductibilității electrice, a culorii, a rezistenței, etc.).

Defectele pot fi de diverse tipuri (Dobrescu, 1977):

- deplasari temporare ale atomilor de la pozitia lor datorita miscarii termice: defecte termice;
- deviatii stabile ale atomilor de la pozitia lor initiala normala si prezenta de atomi straini în structura; defecte cristalografice (de structura);
- modificarea distributiei sarcinilor electrice în cristale: defecte electronice;
- imperfectiuni complete: asociatii de defecte.

Defectele influenteaza puternic capacitatea de preparare a minereurilor. S-au facut studii care au aratat posibilitatea de a folosi defectele electronice pentru marirea eficientei flotatiei si a separarii triboelectrice.

Defectele care apar în cristalele reale pot fi:

- zerodimensionale sau punctuale;
- unidimensionale;
- bidimensionale;
- tridimensionale.

Cele mai importante defecte zerodimensionale sunt:

- defectele geometrice care se produc prin dislocarea atomilor din nodurile rețelei rezultând rețele cu noduri neocupate de ioni metalici;
- defectele chimice care se caracterizeaza prin neregularitatile de ocupare cu atomi straini a rețelelor de baza (ca la rețelele cu ioni straini în noduri si rețelele cu ioni straini intercalati printre planele reticulare). Astfel de defecte apar la mineralele care formeaza solutii solide. Dintre defectele unidimensionale cele mai importante sunt dislocatiile. Acestea constau dintr-o configuratie diferita de cea ideala a atomilor din vecinatatea unei curbe limitate de fetele cristalelor sau curba închisa (linie de dislocatie). Aceste defecte apar în timpul solidificarii cristalelor ca si în procesele de preparare a acestora.

Defectele bidimensionale sunt acelea care apar la suprafața de separare dintre cristale. În această categorie pot fi incluse: structura în mozaic, microfisurile și suprafețele de separare între cristalite.

Defectele tridimensionale sunt produse de apariția unor soluții solide de penetrare și de substituție precum și de tranzițiile de tip ordine-dezordine.

Soluțiile solide apar în corpuri cristaline datorită unor suprarăcirii locale în timpul formării lor. Prezența acestor incluziuni duce la apariția în zona respectivă a unor tensiuni interne.

Pentru unele procese de separare sunt interesante defectele de sarcini electrice. Acestea apar ca rezultat al interacțiunii dintre defectele geometrice și cele electronice. Când un atom interstital sau un atom străin din nodurile rețelei captează unul sau mai mulți electroni apare un centru încărcat negativ. Pe de altă parte când se departează un electron dintr-un defect punctiform apare un centru donor.

Aceste tipuri de defecte, modificând puternic proprietățile sensibile ale structurii joacă un rol deosebit în desfășurarea unor procese de concentrare bazate pe aceste proprietăți. Din această cauză au fost propuse o serie de metode pentru crearea artificială a unor defecte care conduc la modificarea proprietăților magnetice, electrice, etc. Dintre acestea cele mai importante sunt:

- metode mecanice: sfărâmare, macinare, ciocnire, frecare de suprafețe străine;
- metode acustice: cu ultrasunete;
- metode termice: încălzire până la temperatura de distrugere parțială a rețelei sau prin încălzire și răcire bruscă;
- metode chimice: prin îndepărtarea sau dizolvarea impurităților sau a defectelor de la suprafața cristalelor, agenți de oxidare sau reducere care modifică valența;

- metode radiochimice: elimina prin bombardare diversi atomi din retea sau creeaza "vacante" în nodurile rețelei sau dau nastere la electroni sau nuclee noi. Între proprietatile mineralelor, defectele de retea si posibilitatea folosirii lor în separarea mineralelor: exista o serie de relatii.

Metodele electrice si flotatia pot folosi aparitia în rețelele mineralelor a golurilor, a prezentei atomilor interstitiali, a perechilor de goluri si a impuritatilor atomice care au ca efecte autodifuzia sau difuzia impuritatilor atomice care prin deplasarea atomilor creeaza o anumita stare energetica. La fel se pune problema când în cristale apar defecte de sarcina ale atomilor. Acestea modifica conductibilitatea ionica si fortele termoelectrice. Atunci când în minerale au loc deplasari de defecte de sarcina sunt influentate proprietatile dielectrice. Prezenta golurilor, a impuritatilor atomice, a defectelor de sarcina modifica sorbtia de suprafata.

Separarea magnetica foloseste golurile perechi de impuritati atomice sau defectele atomice care modifica susceptibilitatea magnetica.

Sortarea automata utilizeaza defecte de atomi (modificarea tipului sau valentei atomilor, ca si nivelul de energie) care modifica unele proprietati fizice din spectrul vizibil, precum absorbtia optica, fluorescenta. La fel eliberarea electronilor din defectele atomice influenteaza fosforescenta.

Maruntirea este o operatie mineralurgica dependenta de proprietatile mecanice ale mineralelor si agregatelor minerale. Defectele rețelelor ce pot modifica astfel de proprietati sunt dislocatiile singure sau în interactiune cu alte tipuri de defecte.

Metodele chimice sunt influentate de proprietatile chimice ale agregatelor minerale. Una din acestea, de fapt cea mai importanta în separarea prin lesiere este solubilitatea. Aceasta poate fi modificata prin schimbarea valentei atomilor în nodurile rețelei, prin prezenta impuritatilor atomice sau prin gradul de ordonare a structurii.

Concentrarea si clasarea gravitacionala este în primul rând influentata de densitate. Schimbarea în valoare absoluta a densitatii sau a coeficientului de dilatare este determinata de acele defecte atomice care produc modificari în parametrii rețelei sau în schimbarea gradului de ordonare a atomilor.

## I.6. INFLUENTA COMPOZITIEI MINERALOGICE A MINEREURILOR ASUPRA PREPARABILITII LOR

Minereurile sunt alcatuite din diferite specii minerale care au proprietati fizice si chimice derivate din structura lor cristalina. Pentru ca minereurile constituie obiectul procedeeilor mineralurgice, este necesara cunoasterea compozitiei lor mineralogice pentru a putea prevedea comportarea lor în timpul operatiilor de separare.

Factorii mineralogici de decizie în a selecta o tehnica de separare sunt:

- A. Mineralul (mineralele) în care elementul util este concentrat;
- B. Compozitia chimica a mineralului (mineralelor) în care elementul util este concentrat ca si compozitia chimica a altor minerale din minereu;
- C. Dimensiunea granulelor minerale cu continut in element util si gradul lor de asociere cu alte minerale.

In randurile care urmeaza vom prezenta pe scurt factorii enuntati mai sus, exemplificand pe fiecare cu studii de caz si aratand cum studiul mineralogic al unui minereu contribuie la solutionarea problemelor care pot aparea la separarea mineralelor de metale comune sau pretioase.

**A. Mineralele in care elementul util este concentrat.**



Multe elemente sunt prezente în natura în mai multe specii mineralogice. Cuprul, unul din cele mai cunoscute metale este prezent în minereuri sub forma de calcopirita, bornit, calcozina, covelina, cupru nativ, carbonati.

Argintul apare și el în natura sub forme mineralogice foarte variate, ca argint nativ, sulfuri, sulfosaruri, cloruri, telururi, ca să numim pe cel mai importante dintre ele. Chiar în același minereu argintul poate fi prezent în una sau mai multe specii minerale. Acest fapt face ca fiecare specie minerală să prezinte comportări diferite în procesele mineralurgice. De aceea, folosind aceeași tehnică de separare putem avea răspunsuri diferite din partea mineralelor utile.

*Studiu de caz.* Într-un zăcămint de cupru și zinc a fost necesar de recuperat argintul. La început argintul mergea împreună cu concentratul de minerale cuprifere, după care a început să treacă în concentratul de zinc, pentru că în cele din urmă să se piardă în steril. Studiul mineralogic al concentratelor de cupru și de zinc ca și al sterilului a arătat că argintul se găsește ca pirargirit și în tetraedrit. Când erau folosiți reactivi pentru recuperarea mineralelor de cupru, tetraedritul urma acest concentrat. După separarea cuprului, analizele chimice au indicat prezența argintului în concentratul de zinc, unde se acumula pirargiritul. La fel se întâmplă și cu sterilul. Studiul mineralogic al concentratelor, punând în evidență pirargiritul, ca formă mineralogică pentru argint, a determinat folosirea unor alți reactivi care să activeze suprafața pirargiritului, astfel încât să crească randamentul recuperării.

Aurul este prezent sub forma mai multor specii minerale, precum aur nativ, electrum, telururi cu sau fără argint. Elemente minore ca Hg, Pd, Ir, Pt, Cu, Sn, Pb, Zn pot fi prezente în cantități mici în rețeaua aurului nativ. Dintre mineralele de aur, telururile nu răspund la tehnicile de cianurare care sunt cel mai des folosite la recuperarea aurului.

Uraniul ocură într-o varietate de minerale. Cele mai comune sunt mineralele primare precum pechblenda și uraninitul, coffinitul și oxizii multipli (oxizi care conțin Nb, Ta, Th, U și pământuri rare).

Dintre acestea, uraninitul, pechblenda, coffinitul si unele minerale secundare sunt usor de recuperat dintre mineralele de ganga prin lesiere acida in conditii moderate. Cea mai mare parte a mineralelor de uraniu sunt insa refractare la acest procedeu si necesita conditii speciale.

Nichelul are si el mai multe forme mineralogice care includ milleritul, pentlanditul, violaritul, etc. Daca nichelul este prezent in minereuri sub forma de violarit este dificil de recuperat.

Unele elemente ca arsenul, bismutul, sau mercurul pot complica procesul de flotatie daca se gasesc in mai mult decat o specie minerala si daca nu sunt identificate si localizate in minereu.

*Studiu de caz.* S-a constatat ca intr-un concentrat de zinc, continutul in Bi era variabil desi modul de alimentare al utilajului de maruntire ramanea la fel sau prezenta schimbari insignifiante. Studiul mineralogic al unor probe din concentratul de zinc a aratat ca aici se acumuleaza si galena si in galena a fost identificata o sulfosare de bismut, kobellitul. Cand minereul maruntit continea granule mari de bismut nativ si rezultatul analizei de bismut era slab pentru ca acestea, prin caracteristicile lor nu ajungeau in concentrat, ci erau pierdute. In schimb, kobellitul urma intotdeauna galena in care era inclus si care flota in aceleasi conditii cu blenda.

## **B. Compozitia chimica a mineralelor.**

Compozitia chimica a mineralului (mineralelor) ce poarta elementul major sau minor este importanta din mai multe motive. Unele dintre acestea le vom discuta in cele ce urmeaza.

1. Minerale ce contin elementul major. Acestea reprezinta minerale care vor fi separate din minereu pentru a fi folosite in recuperarea componentului valoros. Cunoasterea prezentei si a continutului relativ in alte elemente in solutia solida da informatii asupra compozitiei concentratului final si asupra puritatii optime pe care o asteptam, ca si asupra elementelor daunatoare care vor fi eliminate.

Zincul. In mod obisnuit zincul este obtinut din blenda. Fierul este un component comun al multor concentrate de blenda, putand fi prezent in urmatoarele forme:

- ca pirita, pirotina, oxizi, situatie in care daca aceste minerale sunt cu dimensiuni acceptabile si in granule bine individualizate pot fi eliminate;

- in solutie solida in retea sfaleritului, in continuturi de pana la 20%;

- ca incluziuni fine de pirita sau exsolutii foarte fine de calcopirita ori pirotina. Fierul prezent in ultimele doua forme nu poate fi eliminat decat cu cheltuieli mari si el va ramane un component al concentratului final.

Aurul. Acest metal este in mod comun extras sub forma de aur nativ, care contine cantitati variabile de argint si alte elemente. Informatiile despre compozitia aurului nativ din minereu vor furniza compozitia concentratului de aur final. Acest fapt este important in special cand avem de-a face cu minereuri de Au-Ag, in care argintul este in mai mult decat o singura faza minerala. In asemenea cazuri, elementul poate fi recuperat in mai multe produse, care pot fi prognozate daca se cunoaste bine mineralogia minereului.

2. Minerale in care elementul valoros este minor. In acest caz, elementul valoros, integral sau partial, poate sa se concentreze in cantitati mici in unul sau mai multe minerale majore din minereu. Identificarea mineralului si determinarea procentului elementului valoros in mineral este importanta pentru ca unele elemente pot fi de interes economic daca sunt intr-un mineral si pot fi neeconomice daca sunt concentrate intr-un alt tip de mineral, chiar daca sunt la acelasi continut.

Staniu. In mod obisnuit Sn este recuperat din cassiterit sau stanina. Dar el mai este prezent in silicati, precum granatul, sfenu, amfibolii, dar si in unii oxizi hidratati (goethitul). Cand Sn este in oxizi sau sulfuri, el este usor de recuperat; cand apare in retea silicailor nu prezinta interes economic in conditiile tehnologiei actuale.

Uraniu. Uraniul ocura la continuturi mari intr-o larga varietate de minerale. El este prezent si la continuturi foarte scazute in minerale precum allanitul, monazitul, sfenu, zirconul, care nu sunt importante economic pentru uraniu.

3. Minerale ce contin elemente contaminante pentru mediu. Elemente precum U, Th, Mn, Co, Ni, V, As, Mo, Pb, S, Cd, Se, Te pot produce efecte de poluare a mediului in cazul in care ele pot fi puse in libertate, sub forma de rezidii care sunt absorbite usor de sol sau dizolvate in ape. Printre aceste elemente V, Co, Ni, Cu pot fi concentrate, de exemplu in mineralul numit litiophorit. Daca acest mineral se dizolva, el pune in libertate elementele mai sus mentionate si poate aduce daune mediului.

Mercurul. Mercurul poate sa fie prezent in concentratii foarte mici in blenda. Daca un concentrat de sfalerit este folosit pentru obtinerea zincului, prin topire si rafinare, mercurul poate fi pus in libertate si absorbit de mediu, cu consecinte toxice. Daca acest element este identificat in minereu, faza purtatoare de mercur trebuie precizata pentru a prognoza conditiile pentru descompunerea ei termica si a aprecia posibilitatile de recuperare.

Gradul de alterare. Acesta reprezinta o problema importanta a prepararii. Sulfurile, care sunt componentele principale ale minereurilor neferoase, pot trece sub actiunea unor factori externi, ca tipul solutiilor, conditiile climatice, potentialul de oxido-reducere al mediului, etc., in minerale secundare ale caror caracteristici fizico-chimice difera de cele ale mineralelor primare si, in consecinta vor avea o alta comportare in procesele de preparare. Din acest motiv, un grad ridicat de alterare a minereurilor determina aplicarea unor fluxuri tehnologice complicate pentru separarea mineralelor. Astfel, in unele minereuri de Cu, cu un grad avansat de alterare, o atentie mare trebuie acordata prezentei sulfatilor de cupru, care sunt solubili in apa. De aceea, in procesul de macinare pe cale umeda se constata pierderi de circa 20-30% cupru. Simpla prezenta a cuprului nativ, a oxizilor si carbonatilor de cupru alaturi de sulfurile primare si secundare necesita precautii speciale atat la macinare, cat si la dozarea cu reactiv

(sulfurarea mineralelor oxidice), uneori fiind necesare procedee combinate - dizolvarea sulfatilor si carbonatilor - flotatia sulfurilor si cuprului nativ.

La fel, prezenta plumbului si zincului sub forma de minerale oxidice, implica tratamente speciale (sulfurare) pentru concentrarea lor prin flotatie alaturi de sulfuri.

Elemente minore. O alta problema ce poate fi solutionata prin cercetarea mineralogica este identificarea si distributia elementelor minore. Aceasta situatie apare in special la minereurile neferoase care contin elemente "minore" prin proportia in care apar, dar care pot deveni foarte valoroase prin importanta lor economica. Ele au doua moduri de ocurenta:

- a. Ca substituenti ai elementelor majore, fiind legate deci de structura mineralelor principale;
- b. Ca faze minerale distincte, ca incluziuni fine in alte minerale.

Determinarea formelor in care se prezinta, ca si repartitia lor in minereu este importanta pentru stabilirea interesului lor practic si pentru aprecierea posibilitatii lor de recuperare. Datorita faptului ca in urma proceselor de preparare mecanica aceste elemente se acumuleaza in diferite tipuri de concentrate, fie datorita "legarii" lor chimice in structura mineralelor principale, fie datorita comportarii lor in procesele de preparare, este necesara analiza cantitativa a unor probe monominerale si a concentratelor obtinute pe proba bruta.

Mineralele de ganga. Acestea pot influenta, uneori hotarator alegerea tipului de reactivi folositi pentru activarea sau depresarea mineralelor metalice in raport cu tipurile de concentrate ce se urmaresc a se obtine. Este usor de inteles importanta lor, daca ne referim numai la cazurile de reglare a pH-ului in minereurile care contin carbonati sau minerale argiloase. Slamurile rezultate prin punerea in libertate a mineralelor argiloase in procesul de macinare pot impiedica concentrarea sau depresarea unor minerale, iar indepartarea lor poate duce la pierderi mecanice, mai ales in cazul minereurilor alterate.

### C. Dimensiunea granulelor minerale.

Dimensiunile pe care granulele minerale le au în minereuri afectează posibilitățile de separare a oricărui mineral valoros. Lucrul acesta este cu atât mai important cu cât se pune problema metalelor prețioase (platina și platinoidele, aurul, argintul, etc.). Aceste metale în mod comun ocură în granule de dimensiuni foarte mici, dar pentru că prețul lor pe piața metalelor este foarte ridicat, se cere recuperarea lor integrală din minereuri.

Platina și platinoidele. Aceste elemente ocură în minerale care prezintă o variabilitate compozițională. Astfel, se cunosc compuși cu Ru, Rh, Pd, Os, Ir și Pt cu sulf, arsen, staniu, stibiu, telur, plumb, bismut, fier, nichel, și cupru. În mod obișnuit aceste minerale au dimensiuni foarte mici, de circa 30 microni sau mai puțin. Multe din aceste minerale au fost descrise numai în ultimul timp pentru că datorită dimensiunilor lor foarte mici, nu au putut fi identificate mult timp.

Datorită intervalului larg de compoziții chimice și mărimii granulelor, distribuția și modul lor de ocurență trebuie determinat cu precizie pentru o recuperare profitabilă.

Aurul. Atunci când aurul se găsește la concentrații mici în minereu, el este prezent în granule cu dimensiuni foarte fine. În astfel de cazuri, identificarea mineralului purtător de aur, este importantă, dacă vrem să folosim tehnica cea mai acceptabilă pentru preparare:

- a. eliberarea granulelor de aur prin metode mecanice urmate de cianurare;
- b. dizoluția chimică a gazdei și cianurare;
- c. eliberarea prin metode mecanice sau chimice și separarea prin alte metode decât cianurarea,

dacă se găsește cu telururi.

Dimensiunile granulelor afectează și posibilitatea de separare a metalelor comune, nu numai a celor prețioase.

Astfel, calcopirita, bornitul si sfaleritul pot forma incluziuni foarte fine în pirita. Dacă un număr mare de astfel de incluziuni este prezent, recuperarea cuprului si zincului poate fi facuta la preturi ridicate.

Asemenea situatii apar si pentru sulfosaruri, ele aparând în majoritatea cazurilor la dimensiuni foarte fine si la continuturi scazute.

## **I.7. INFLUENTA TEXTURII MINEREURILOR ASUPRA**

### **RANDAMENTULUI PREPARARII**

Simpla identificare a mineralelor si a compozitiei lor chimice nu este de ajuns pentru succesul operatiilor de separare a lor. Pentru a obtine informatii mai detaliate asupra minereurilor supuse prelucrării sunt necesare observatiile de textura. Acestea se fac de obicei în acelasi timp cu determinarea mineralogica.

Clasificarea generala a texturilor dupa modul în care mineralele raspund procesului de preparare este urmatoarea:

**A. Texturi ce depind de proprietatile granului mineral:**

A1. Textura interna a granului;

A2. Textura externa a granului.

**B. Texturi ce depind de proprietatile agregatului mineral.**

**A. Texturi care sunt dependente de caracteristicile granului mineral**

În procesul de preparare a minereurilor utilizarea termenului "granul mineral" se raportează la un singur granul, indiferent de compoziția lui chimică sau fizică, ce a fost separat de mineralele însoțitoare. În timpul preparării este dificil să se mențină comportarea granulelor minerale la aceiași parametri pe care îi are un granul omogen, dacă acest comportament depinde de metoda de separare utilizată. De exemplu, granule de galena-cuart se comportă omogen la separarea gravitațională în jghiaburi și generează un produs omogen la o anumită dimensiune a granulelor, dar același agregat nu mai dă un produs omogen la flotatie. Sfaleritul care are incluziuni foarte fine de calcopinită poate fi considerat omogen la flotatie. La fel, titanomagnetitul (ilmenitul) poate fi considerat un produs omogen, pentru că separarea celor doi componenși este imposibilă. Dar acest lucru nu este adevărat în cazul incluziunilor fine de aur în blenda, pentru că cele două componente pot fi separate.

Texturile care depind de proprietățile granului mineral au două componente: texturi interne ale granului (granul omogen, granul heterogen, incluziuni) și texturi externe ale granului (forma, dimensiunea, limitele granului). Acestea pot fi întâlnite în literatură ca structuri ale granului, dar din motive de omogenitate a textului folosim termenul texturi, cel de structură, pentru a evita orice confuzie fiind consacrat rețelelor cristaline.

Textura internă și efectele ei asupra preparării. Granulele minerale care compun un minereu sunt foarte rar omogene. Neomogenitatea lor poate fi atât fizică cât și chimică. Neomogenitatea fizică influențează procesul de maruntire, iar neomogenitatea chimică afectează în primul rând procesul de flotatie. În cele mai multe cazuri, cele două tipuri de neomogenități acționează împreună influențând procesele de preparare.

a. *Neomogenitatea fizică.* Aceasta include neregularități în creșterea cristalelor, schimbări în porozitate, deformări ale granului mineral, pelicule intergranulare ale unei alte specii minerale.



Aceasta caracteristica influenteaza dimensiunea de dezasociere a mineralelor si comportarea lor în timpul sfârâmării si macinării.

b. *Neomogenitatea chimica*. De cele mai multe ori aceasta se asociaza cu neomogenitatea fizica. Ea se manifesta în urmatoarele trei situatii:

1. Substituii în rețeaua mineralelor purtatoare de elemente majore;
2. Soluții solide (exemplu: aurul "invizibil" în pirita);
3. Contaminare absorptivă (exemplu: piroluzit ce contine cantitati variate de As, Co, Cu, etc.).

Neomogenitatea chimica se manifesta cu caracter zonal sau are o distributie egala, uniforma în cristal. Datorita prezentei solutiilor solide si substitutiilor (care uneori implica elemente valoroase), neomogenitatea chimica creeaza dificultati si în procesele de preparare, în special în cele de concentrare, pentru ca nu pot fi separate ca faze omogene. De asemenea, instabilitatea chimica, oxidarea rapida a mineralelor sau suprafetelor lor creeaza greutate la concentrare.

O forma importanta de manifestare a neomogenitatii chimice este textura zonara a mineralelor, care poate fi usor recunoscuta prin schimbarea proprietatilor optice, a variatiilor de culoare, a duritatii, etc.. Zonarea interna a mineralelor are semnificatie daca produsele separarii (concentratele) nu au o compozitie uniforma. Zonarea compacta de deformare este susceptibila la alteratii chimice si la substituii, ceea ce influenteaza puternic flotabilitatea mineralului. De exemplu, substitutia galenei prin ceruzit în anumite zone ale cristalului determina o puternica schimbare a flotabilitatii fata de mineralul nealterat.

Textura externa si efectele ei asupra preparării. Studiul mineralogic detaliat al unui minereu evidentiaza, pe lângă proprietatile fizice si chimice ale granului mineral, textura sa interna si externa. Ultima este exprimata în termeni ai formei, dimensiunilor si caracteristicilor legaturilor dintre minerale.

Forma granulelor minerale este determinată de combinația de fețe care îmbracă mineralul ca și de modul de dezvoltare a acestora. Ea poate fi definită în termeni ai habitusului precum cubic, tabular, lamelar, prismatic, etc.. Cristalele bine dezvoltate care prezintă fețe lise au tendința de a se separa ușor prin spargere de vecinii lor, în timp ce mineralele care au concreșteri puternice cu granulele din jur fac separarea mai dificilă.

Dimensiunea granulelor, exprimată în mineralurgie în termeni de grosieră sau fină influențează în mod foarte diferit, în funcție de componentele agregatelor minerale, separarea. Uneori, agregate fin cristalizate pot fi separate la o macinare grosieră (galena fin cristalizată), altele asociații grosiere necesită o macinare fină pentru eliberarea granulelor (cristale scheletice de bismut).

Legăturile granulelor reprezintă în termeni mineralurgici, forța de adeziune între două sau mai multe minerale la contactul lor. Cu alte cuvinte ele sunt considerate rezistente la separare în constituenți individuali pe în macinare, de-a lungul marginilor granulelor.

### **B. Texturi ce depind de proprietățile agregatelor minerale**

Acest grup de texturi cuprinde atât agregatele monominerale cât și cele poliminerale. În funcție de proprietățile agregatelor minerale, diferitele texturi ale minereului pot fi descrise ca forma, dimensiunile și aranjamentul spațial al mineralelor constituențe.

Forma mineralului constituent poate să fie simplă sau de concreștere. Granulele cu texturi simple pot să fie ușor dezasociate în componenți individuali prin aplicarea unui stress slab. Texturile complexe (fig.1) determină dificultăți în procesul de maruntire și eliberare a componentilor individuali. De exemplu, într-un minereu, un anumit mineral poate fi prezent cu forme și dimensiuni diferite. Calcopirita este prezentă în minereurile de Pb-Zn în interstițiile diferitelor minerale, dar în sfășierit apare ca exsoluții. În primul caz, eliberarea calcopiritei nu necesită o macinare prea avansată, în timp ce în cel de-al doilea caz recuperarea calcopiritei nu este posibilă.

## CLASIFICAREA GEOMETRICĂ A CONCREȘTERILOR MINERALE





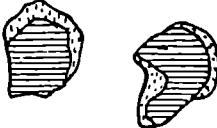



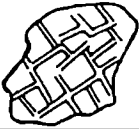
Tip. 1a	<b>Concreșteri simple. Margini rectilinii sau ușor curbate. Tipul cel mai comun</b>	
Tip. 1b	<b>Concreștere "pătată" sau amoeboidală. Tip textural simplu și comun</b>	
Tip. 1c	<b>Concreștere grafică, mirmekitică. Ex: stanina și calcopirita</b>	
Tip. 1d	<b>Texturi în emulsie. Ex: calcopirită în blendă, tetraedrit în galenă</b>	
Tip. 2a	<b>Coroane, anvelope, ritmuri de mineral 2 pe mineral 1. Ex: calcozină pe calcopirită</b>	
Tip. 2b	<b>Concreșteri concentrice. Ex: uraninit cu galenă, oxizi de Mn și Fe</b>	
Tip. 3a	<b>Texturi arteritice. Ex: molibdenit-calcopirită, calcozină-calcopirită</b>	
Tip. 3b	<b>Texturi lamelare sau stratificate</b>	
Tip. 3c	<b>Texturi tip rețea. Ex: hematit-ilmenit-magnetit; bornit sau cubanit în calcopirită</b>	

Fig. 1

Modul de prezentare a rețelei spațiale a unui mineral este de asemenea important în concentrarea mineralelor, în special atunci când sunt folosite metode gravitaționale. O porozitate pronunțată a mineralului afectează greutatea specifică. De exemplu, minereul oxidat din aflorimente, în mod obișnuit nu se pretează la o separare gravitațională. În procesul de separare prin flotatie, porozitatea materialului supus concentrării nu este importantă. Dar comportamentul la flotatie al minereurilor poate fi dificil de apreciat, iar conducerea procesului îngreuiată, atunci când în minereu există minerale oxidate. Acestea pot fi solubilizate în acizi și pot fi mobilizate și chiar modificate pentru a deveni flotabile, în cazul în care se cunoaște în detaliu mineralogia agregatului. Un exemplu poate fi prezenta malachitului în minereurile compuse în principal din sulfuri de cupru. El poate fi prezent pe marginile granulelor de sulfuri, pe fisurile acestora sau în spațiile intergranulare. Dacă minereul este supus flotatiei și mediul este acid, malachitul este leșiat și rezultă o soluție bogată în Cu. Aceasta poate fi recuperată ușor.

Cunoașterea clivajelor și fisurilor este necesară și importantă în flotatie, în procesele de leșiere și în parte pentru maruntirea ușoară. La unele minerale, prezenta unor filme subțiri, cu altă compoziție, modifică comportamentul lor în diferite procedee de separare.

În cazul aurului, de multe ori este sesizată o culoare aparent mai închisă sau ruginită care este datorată dezvoltării superficiale a unor filme submicroscopice de oxid de fier. Un astfel de aur este dificil de amalgamat sau cianurat. Aurul cu astfel de caracteristici și cu o comportare refractară la separare este o trăsătură a multor minereuri de Au-Sb. În alte situații a fost întâlnit aur învelit de o peliculă foarte fină închisă la culoare, care s-a dovedit a fi clorura de argint și care creează greutăți de separare prin procedee hidrometalurgice.

Texturile de concreștere creează dificultăți și separări magnetice. Sunt cunoscute asociații minerale unde conținuturi importante de cupru apar în fracția magnetică, deși mineralele de cupru nu

prezinta proprietati magnetice. În aceste situatii mineralul purtator de cupru este cubanitul (are proprietati magnetice) care apare fin concrecut cu calcopirita.

#### *Studii de caz.*

1. Separarea magnetica aplicata la minereunile de magnetit da rezultate diferite dupa cum magnetitul este martitizat sau nu si dupa gradul de martitizare.

2. În unele situatii, ilmenitul prezinta proprietati puternic magnetice, în alte situatii nu. Atunci când este puternic magnetic, ilmenitul contine multe lamele de magnetit si în zonele deformate are macle cu magnetit de neofortatie.

3. Minereul de "pirotina nichelifera" de la Sudbury poate fi subdivizat din punct de vedere magnetic în:

a. minereul de pirotina si magnetit (fara valoare economica);

b. minereul de pentlandit si calcopirita (cu valoare economica). Pierderile de nichel care se constata în concentrate fata de continutul în nichel al minereului se datoreaza faptului ca o parte din pentlandit (mineralul purtator de nichel) merge în concentratul de pirotina si magnetit, pentru ca el apare si sub forma de "flacari" sau lamele în pirotina.

4. Din minereurile de Sn si W, prin separare magnetica se obtin concentrate de cassiterit (nemagnetic) si wolframit (magnetic). În unele zacaminte, cassiteritul poarta lamele fine de magnetit care îi confera proprietati magnetice si în acest caz da un concentrat impur de wolframit. Alteori, cassiteritul prezinta exsolutii magnetice de columbit care îl deviaza de la comportarea nemagnetica normala.

Minerurile care formeaza obiectul prepararii sunt alcatuite din granule libere care sunt reprezentate printr-o singura faza minerala sau granule asociate formate din doua sau mai multe faze independente. Caracterizarea cantitativa a concresterilor minerale se realizeaza cu ajutorul urmatorilor parametri:

- a. Gradul de dezasociere;
- b. Gradul de asociere;
- c. Matricea coordinarii fazei;
- d. Matricea claselor de granule si a concresterii claselor.

a. Gradul de dezasociere. Acesta reprezinta procentul de mineral aflat sub forma de granule libere raportat la întreaga cantitate de mineral din minereul considerat. Cantitativ, gradul de dezasociere al unui grup de clase poate fi exprimat cu relatia: \*

$$\frac{\sum_{i=0}^n f_i a_i p_i}{100 a}$$

unde

$f_i$  este gradul de dezasociere al fiecarei clase,  $a_i$  este continutul de util al clasei  $i$ ,  $p_i$  este procentul clasei  $i$ , iar  $a$  este continutul de util al tuturor claselor.

b. Gradul de asociere reprezinta procentul de mineral care se gaseste sub forma asociata fata de întreaga cantitate de mineral existenta. El poate fi determinat prin analize microscopice în lumina transmisa sau reflectata, prin încercari de separare magnetica, flotatie în celule standard sau analize densimetrice.

c. Matricea coordinării fazei este folosită pentru exprimarea distribuției componentelor minerali în minereu. Ea se obține trecând într-un tabel toate combinațiile de câte două minerale și arătând în dreptul fiecărei combinații procentul de participare a mineralului. Elementele fiecărei coloane reprezintă cantitatea de mineral indicat de coloana care se găsește în asociație cu mineralul prevăzut în șir. Pe diagonală, cifrele care apar pot fi interpretate ca o combinație a două faze identice care corespund indivizilor dezasociați și reprezintă gradul de dezasociere al fazelor respective.

d. Matricea claselor de granule și a concreșterii claselor. Aceasta reprezintă combinația dintre clasele granulometrice ale unui minereu și concreșterile minerale. Elementele matricei sunt dimensiunile granulelor minerale și gradul de concreștere.

### PROCEDEE DE CONCENTRARE

#### II. 1. CONCENTRAREA GRAVITATIONALA

Metodele de concentrare gravitacionala se bazeaza pe diferenta dintre greutatele specifice ale diferitelor specii minerale si se realizeaza conform legilor miscarii corpurilor solide în mediul lichid.

În functie de fluidul folosit pentru separare, procedeele gravitacionale de concentrare pot fi separate astfel:

*a. Procedee hidrogravitacionale* - atunci când fluidul utilizat este apa sau alte lichide,

*b. Procedee pneumatice* - fluidul este aer sau alt gaz;

*c. Procedee de concentrare în medii dense* - pentru separarea substantelor minerale utile de steril se folosesc lichide dense, omogene sau neomogene, sub forma unor suspensii grele formate din pulberi dense si apa.

Din punct de vedere al modului în care se realizeaza separarea pot fi deosebite.

a. procedee de separare în fluide stationare (concentrarea în medii dense);

b. procedee de separare în fluide în miscare (în curent ascendent, orizontal, pulsatoriu, centrifugal).

Concentrarea gravitacionala are o larga aplicabilitate la separarea minereurilor de fier, mangan, wolfram, molibden, staniu, mercur, titan si zirconiu.



## Bazele teoretice ale concentrării gravitationale

Toate metodele de concentrare gravitationala se bazeaza pe diferenta care exista între vitezele limita ale granulelor pe care dorim sa le separam. Se stie ca în vacuum, orice corp, indiferent de marime si densitate, cade cu o viteza uniform accelerata ce depinde exclusiv de înaltimea de la care cade si de acceleratia gravitationala. Daca deplasarea corpului are loc într-un fluid stationar (lichid sau gaz) se constata ca dupa un timp scurt ( $t_0$ ), dupa ce începe caderea, datorita rezistentei statice si dinamice a fluidului, corpul capata o viteza constanta ( $v_0$ ) ce este caracteristica si care se numeste viteza limita de cadere. Ea depinde de densitate ( $\rho$ ), dimensiuni ( $D$ ) si de forma ( $\epsilon$ ) granului mineral ca si de densitatea ( $\delta$ ) si vâscozitatea ( $\eta$ ) fluidului, conform relatiei:

$$v_0 = f(\rho, D, \epsilon, \delta, \eta)$$

Daca se admite ca forma este aceeași pentru toate granulele si ca fluidul își pastreaza aceleasi caracteristici în tot timpul procesului de separare, viteza limita de cadere ( $v_0$ ) este proportionala cu densitatea ( $\rho$ ) si dimensiunile corpului ( $D$ ):

$$v_0 = f[K(\rho, D)]$$

Daca înainte de separare se face o clasare a materialului, clasele granulometrice rezultate vor avea viteze limite de cadere care practic depind numai de densitate:

$$v_0 = (K \cdot \rho)$$

Este evident, deci, ca doua granule minerale din specii diferite, aparținând aceleiasi clase granulometrice, având densitati diferite vor putea fi separate între ele daca diferenta este apreciabila din punct de vedere practic.

În cazul concentrării în medii dense, separarea mineralelor se bazeaza în special pe forta portanta a lichidului. si aici clasarea prealabila a materialului este importanta. În cazul utilizarii unor

suspensii de densitate mare, separarea granulelor cu aceeași densitate depinde esențial de dimensiunea lor.

Densitatea. Așa cum am arătat, este o proprietate esențială în separarea gravitațională pe care o influențează în mod direct. Este o proprietate scalară a mineralelor și depinde de structura cristalină și de compoziția chimică a acestuia. La mineralele cu modificări structurale (diferite stări alotropice) densitatea este diferită pentru fiecare stare.

La agregatele minerale care au o permeabilitate mai mare, data de prezența fisurilor sau porilor, pe lângă densitatea absolută se folosește și densitatea aparentă.

Factorii care influențează densitatea unui mineral sunt:

- a. natura chimică a substanței;
- b. volumul celulei elementare;
- c. numărul de atomi din celula elementară.

a. *Natura chimică a substanței* este funcție de atomii care formează substanța și de forțele chimice de legătură dintre atomi. Practic, lucrul acesta este demonstrat de fenomenele de izomorfism și de polimorfism din lumea minerală.

Densitatea unei substanțe este cu atât mai mare, cu cât rețeaua diverselor stări polimorfe este mai compactă.

Gradul de compactitate a rețelei depinde de razele particulelor componente și de natura legăturilor chimice.

După compoziția chimică și structura rețelei, mineralele pot fi împărțite după densitate în:

1. Minerale grele, cu densitatea mai mare de  $7.5 \text{ g/cm}^3$ . În această categorie intră și majoritatea metalelor native.
2. Minerale cu densitate medie, cuprinsă între 4 și  $7.5 \text{ g/cm}^3$ .

3. Minerale cu densitate mica, între 2 și  $3.5 \text{ g/cm}^3$ . În aceasta din urma categorie sunt cuprinse mineralele de ganga din minereuri. Mineralele utile din minereurile metalifere au în general densitati mai ridicate decât ale celor de ganga.

*Densitatea* fiind o proprietate scalara, în cazul asociatiilor minerale rezulta valori medii ale densitatilor ce corespund proportiilor în care se gasesc mineralele componente. Daca granulele continute într-un material care este prelucrat prin metode gravitationale sunt constituite din asociatii minerale, densitatea granulelor variaza continuu, de la valoarea cea mai mica pe care o are mineralul cel mai usor pâna la densitatea maxima a celui mai dens mineral. Daca un astfel de material este supus concentrării gravitationale, la o anumita dimensiune la care componentele minerale nu sunt complet dezasociate, concentrarea poate fi dirijata astfel încât produsele rezultate sa aiba un continut în util care sa corespunda unei anumite densitati. Repartitia densimetrica a granulelor determina usurinta cu care se poate obtine un produs la continutul dorit si aceasta comportare este denumita preparabilitate gravitationala.

### Metode de separare gravitationala

1. Concentrarea prin zetaj. Zetajul este o metoda de concentrare gravitationala prin care, sub actiunea unui curent pulsatoriu de apa, amestecul mineral format din componentii cu diferite greutatea specifice se separa în ordinea crescatoare a acestora, de la stratele superioare, în adâncime (fig 2 A). Produsele finite obtinute în acest fel -sub forma de strate- sunt evacuate continuu din masina.

Concentrarea prin zetaj se aplica în special pentru minereurile alterate de fier, mangan, nisipuri titano-zirconifere, minereuri cu continuturi mici de aur, platina, wolfram, diamant, ca si pentru carbuni. Dimensiunile materialului prelucrat variaza în limite relativ largi, dar întotdeauna sunt mai man de

# CONCENTRAREA GRAVITATIONALA

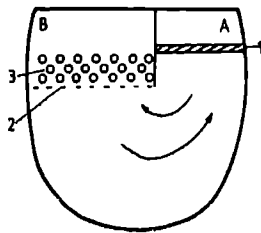


Fig. 1A

- A. COMPARTIMENT DE ACTIONARE
- B. COMPARTIMENT DE LUCRU
- 1. PISTON
- 2. CIUR
- 3. MINEREU

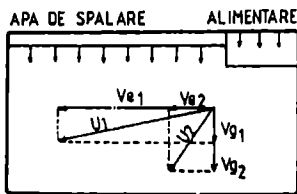


Fig. 2B. DEPLASAREA GRANULELOR CU DIFERITE GREUTATI SPECIFICE PE SUPRAFATA MESEI DE CONCENTRARE  $U_1$ ,  $U_2$  REZULTATELE COMPUNERII VITEZELOR PENTRU DOUA PARTICULE CU GREUTATI SPECIFICE DIFERITE

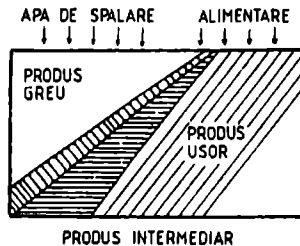


Fig. 2C. SCHEMA DE REPARTIZARE A DIFERITELOR FRACTII MINERALE PE SUPRAFATA MESEI DE CONCENTRARE FUNCTIE DE GREUTATEA SPECIFICA

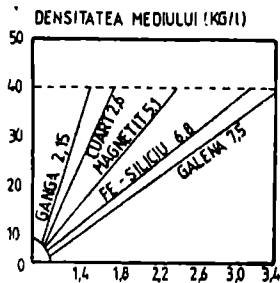


Fig. 2D. CORELATIA INTRE DENSITATEA SUSPENSIIOR GRELE IN FUNCTIE DE CONCENTRATIA VOLUMETRIC SI DENSITATEA MATERIALULUI DE INGREUIERE

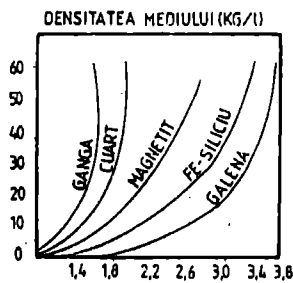


Fig. 2E. INFLUENTA DENSITATII MATERIA-LULUI DE INGREUIERE ASUPRA VASCOZITATII MEDIULUI

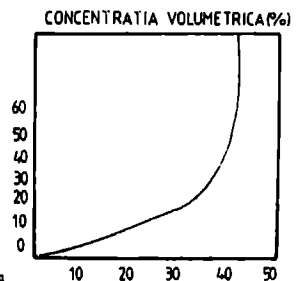


Fig. 2F. VARIATIA VASCOZITATII FUNCTIE DE CONCENTRATIA VOLUMETRIC

0.3mm. În ultimul timp, prin introducerea zetaului cu înalta frecvență s-a reușit concentrarea unor minereuri macinate la dimensiuni sub 0.25 mm.

2. Concentrarea în curent înclinat de apă. Aceste procedee se numără printre cele mai vechi metode de preparare. Separarea minereurilor de metale prețioase a început prin asemenea procedee de preparare și are și azi o largă aplicabilitate.

Separarea mineralelor utile de cele de gangă se realizează într-un curent înclinat de apă pe baza diferenței dintre greutatea specifică ale particulelor provenite din diverse specii minerale, ca rezultat al interacțiunii dintre forțele gravitaționale ce acționează asupra granulelor, forțelor hidrodinamice determinate de mișcarea curentului de apă și forțelor de frecare care iau naștere atât între particule, cât și între acestea și suprafața pe care are loc procesul.

Curentul de fluid în care se realizează separarea se creează pe o suprafață înclinată (concentrarea pe mese) sau în jgheaburi cu lungimi și forme diferite (concentrarea în jgheaburi). Principalele diferențe dintre cele două metode constau în adâncimea curentului de apă (mare la jgheaburi) și granulometria materialului tratat.

A. Concentrarea pe mese. Domeniile de aplicabilitate ale meselor de concentrare sunt:

- recuperarea mineralelor utile cu granulație foarte fină, cum sunt cele de cassiterit, wolframit, scheelit, columbit, tantalit, metale prețioase (aur, platina);
- retratarea sterilului vechi de la preparare, a halzilor, pentru recuperarea mineralelor de staniu, wolfram, metale prețioase și chiar sulfuri;
- recuperarea hematitului și magnetitului fin granular din sterile de concentrare sau preconcentrare, înainte de flotatie;
- recuperarea utilului secundar din sterilul flotatiei;
- preconcentrarea minereurilor oxidice de cupru, plumb, zinc;

- recuperarea particulelor grele din rezidii industriale sau metalurgice, zguri, prafuri, pulberi metalice.

Mesele de concentrare sunt suprafețe ușor înclinate, prevăzute cu nervuri. Dimensiunile optime ale granulelor minerale sunt sub 2-3 mm. Ele pot fi fixe (acestea au o utilizare extrem de limitată) sau mobile. Mesele de concentrare mobile, cu mișcare oscilantă sunt cele mai utilizate. Ele constau dintr-o suprafață cu forma dreptunghiulară sau trapezoidală slab înclinată, careia i se imprimă o mișcare oscilantă pe direcție, perpendiculară față de înclinare. Materialul supus concentrării, în amestec cu apa, este alimentat uniform sub forma unui curent de mică adâncime.

Pentru mărirea coeficientului de frecare, pe suprafețele meselor se dispun longitudinal sau oblic față de direcția mesei, o serie de nervuri de înălțime variabilă care au și rolul de a forma curenți verticali, cu caracter turbionar. Sub acțiunea curentului de apă, a greutății proprii și a forței de frecare, granulele vor avea tendința de a se deplasa pe suprafața mesei, în sensul înclinării acesteia cu o viteză  $v_2$  (fig. 2 B). Ca urmare a mișcării oscilante a mesei are loc și o mișcare în direcție longitudinală, cu viteză  $v_1$  care este cu atât mai mare cu cât greutatea specifică a particulei este mai mare și accelerația mișcării oscilante a mesei este mai ridicată.

Ca urmare a compunerii celor două mișcări, granulele se vor deplasa oblic pe suprafața mesei, cu o viteză rezultată din compunerea celor două viteze, în direcție longitudinală și transversală. Ca urmare a traiectoriilor diferite ale particulelor ele se vor putea colecta în produse distincte (fig. 2 C) cele cu greutate specifică mică la marginea inferioară a mesei, iar cele cu greutate specifică mare, într-un punct mai îndepărtat de acesta.

Viteza particulelor pe direcție transversală crește cu creșterea unghiului de înclinare al mesei, cantitatea de apă de spălare adăugată și într-o măsură mai mică cu dimensiunea lor. Experimental s-a determinat mărimea acestor viteze: pentru particulele cu greutate specifică mare (cassiterit, wolframit)

este de 0.7 cm/s, pentru granulele cu greutate specifica medie (pirita, hematit) de 1.0 cm/s, iar pentru cele usoare (cuartul) este de 1.15-1.2 cm/s.

Viteza particulelor pe directie longitudinala depinde de miscarea mesei, de acceleratia acestei miscari, de greutatea specifica a mineralului si de coeficientul de frecare pe suprafata mesei. Astfel, pentru particulele grele este de 2-4 cm/s, pentru cele cu greutate specifica medie este de 1.8-2 cm/s, iar pentru granulele usoare (minerale de ganga) de 1.7-2 cm/s. Particulele cu dimensiuni mai mari au viteze mai ridicate decât cele mici, provenite din acelasi material.

O situatie particulara este aceea a concentrării nisipurilor diamantifere din zacamintele de tip placer. Dupa operatiile de clasare, suprafata mesei este unsa cu grasime, pentru ca granulele de diamant au caracter hidrofob si ajungând în contact cu stratul de grasime sunt umectate de acesta si sunt fixate, în timp ce turbureala antreneaza granulele hidrofile.

B. Concentrarea în jgheaburi. Jgheaburile sunt de diferite constructii: sluisuri, jgheaburi labirint, jgheaburi scurte, jgheaburi elicoidale.

Sluisurile sunt jgheaburi de lemn cu lungimi variabile, amplasate sub diferite unghiuri de înclinare, pe fundul carora se monteaza nervuri pentru retinerea produselor grele. Ele sunt utilizate în special pentru prepararea minereurilor neconsolidate de aur, platina, staniu si wolfram. La sluisuri, turbureala cu dilutie variabila se alimenteaza la partea superioara a jgheabului; particulele cu greutate specifica mica vor fi antrenate de curentul de apa peste sicanele montate pe fundul utilajului, iar cele grele vor fi oprite de acestea.

Jgheaburile labirint se utilizeaza pentru concentrarea minereurilor si a nisipurilor caolinoase. Ele au lungimi mari si o înclinare mica. Suspensia cu particule foarte fine si usoare este antrenata de un curent de apa cu viteza foarte redusa, iar fractiunea mai grea se depune, fiind evacuata în mod discontinuu.

Jgheburile scurte au o larga întrebuintare datorita avantajelor pe care le prezinta: simplitate constructiva, lipsa pieselor în miscare, randament ridicat la concentrare. Ca urmare a îngustarii sale, nivelul turburelii creste treptat si în curentul de apă cu înaltime din ce în ce mai mare, particulele minerale se vor stratifica în functie de greutatea specifica. Particulele cu greutatea specifica mai mare se vor depune la baza jghebului, iar cele mai usoare în stratele superficiale. Turbureala paraseste jghebul sub forma unui evantai împartit în doua sau trei produse printr-un divizor.

Jgheburile elicoidale sunt fixe si au o forma spiralata, cu un ax vertical. Alimentarea cu turbureala se face la partea superioara a jghebului, aceasta scurgându-se într-un strat subtire pe spirala din jurul axului vertical. Granulele minerale cu greutate specifica mare se deplaseaza catre partea inferioara a spiralei si sunt eliminate prin intermediul unor orificii. Particulele uaoare sunt climinate cu turbureala la partea inferioara a jghebului. Ele sunt utilizate pentru prepararea nisipurilor cu continut de ilmenit, zircon, rutil, a minereurilor de metale rare si a minereurilor de fier slab magnetice.

### **Concentrarea in medii dense**

Concentrarea in medii dense realizeaza separarea granulelor minerale între ele dupa densitate fiind independenta de alte însusiri ale materialului preiucrat.

Mediul in care se realizeaza separarea este un fluid cu greutate specifica mai mare decat a apei, intermediara între greutatile specifice ale speciilor minerale care trebuie separate.

Separarea mineralelor se realizeaza prin acumularea granulelor cu greutate specifica mai mare decat a lichidului separator in partea bazala a separatorului si prin flotarea granulelor cu greutate specifica mai mica.



Mediile stabilizate sunt utilizabile intr-un anumit domeniu de densitate si greu depasesc valoarea de 1,6-1,7 g/l.

**Conditii impuse mediilor dense. A. Densitatea.** Intre densitatea suspensiilor grele si densitatea materialului de ingreuire exista o anumita corelatie care este evidentiata in fig. 2D. Densitatea suspensiilor grele este determinata de densitatea si concentratia volumetrica a materialului de ingreuire. In mod normal, densitatea materialului de ingreuire trebuie sa fie cat mai mare pentru a realiza densitatea dorita a mediului de separare. La aceeasi concentratie volumetrica, densitatea mediului este cu atat mai mare, cu cat materialul de ingreuire are densitatea mai mare. Astfel, cuartul ca material de ingreuire, cu greutatea specifica 2,6 g/cm<sup>3</sup> ridica densitatea mediului la 1,5-1,6 kg/l. Magnetitul care are o greutate specifica de 5,1 g/cm<sup>3</sup> ridica mai mult domeniul de densitate al mediului la 2,6 kg/l. Densitati necesare pentru separarea mineralelor din minereuri (3-3,5 kg/l) se obtin prin folosirea galenei sau a ferosiliciului ca material de ingreuire.

**B. Vascozitatea.** Consistenta mediului de separare este o alta conditie impusa mediilor dense pentru ca experimental s-a demonstrat ca aplicabilitatea procedurii de concentrare in medii dense este limitata pentru oricare material de ingreuire la 40% continut de solid in volum. La orice suspensie, indiferent de densitatea materialului de ingreuire, vascozitatea creste liniar pana la 30-35 %, iar la o concentratie volumetrica de aproape 40 % marcheaza o crestere exponentiala, ceea ce determina imposibilitatea folosirii mediilor dense dincolo de aceasta limita (fig.2E). Cresterea vascozitatii impiedica scufundarea granulelor grele, ceea ce mareste dificultatea separarii. Posibilitatile de reducere a vascozitatii sunt limitate. Vascozitatea este determinata in principal de densitatea particulelor din materialul de ingreuire si intr-o masura mai redusa de forma granulelor si dimensiunile lor.

Relatia densitatea mediului-vascozitate-densitatea materialului de ingreuire evidentiata grafic in fig. 2F arata ca la aceeași densitate a mediului, vascozitatea este cu atat mai scazuta cu cat densitatea materialului de ingreuire este mai mare, pentru ca si concentratia volumetrica a materialului de

ingreuiere este mai mica. Din acest motiv, suspensiile grele formate din materiale de ingreuiere compuse din minerale metalice permit obtinerea unor densitati ridicate cu viscozitati moderate

Dimensiunile granulelor minerale folosite ca material de ingreuiere fac dificila separarea, prin cresterea viscozitatii, daca materialul este fin macinat.

*C. Stabilitatea.* Viteza de sedimentare a materialului de ingreuiere, la aceeași densitate a mediului este cu atât mai redusă cu cât este mai mare ponderea volumetrică a granulelor în suspensie, deci cu cât este mai mică densitatea și mai fină granulatia. Aceasta înseamnă un mediu cu viscozitate ridicată. Stabilizarea mediilor se face foarte bine cu suspensii argiloase în amestec cu materiale de ingreuiere.

## II. 2 CONCENTRAREA MAGNETICA

Inițial separarea magnetică a fost folosită pentru a separa minerale puternic magnetice, ca de exemplu magnetitul din minereurile de fier sau pentru a separa mineralele cu proprietăți magnetice mai puțin intense de mineralele de gangă nemagnetice. Astăzi este posibilă separarea prin această metodă și a mineralelor slab magnetice din minereurile de fier și mangan. De exemplu, hematitul, limonitul, sideritul pot fi separate de gangă lor prin folosirea unor câmpuri cu intensitate mare. Concentrarea magnetică poate fi aplicată la separarea directă a unor minerale care au greutatea specifică apropiată.

Principalele direcții ale separării magnetice includ, pe lângă domeniul său clasic, următoarele:

- separarea blendei de pirita;
- separarea blendei de granat și rodonit;
- separarea diferiților silcați de mangan între ei și de zincit, willemit și calcit;
- separarea concentratelor de staniu și wolfram;

- separarea rutilului de apatit;
- separarea rutilului, granatului si monazitului între ele;
- separarea granatului de corindon;
- separarea criolitulului de siderit;
- separarea biotitului de minerale de ganga;
- separarea hornblendei de mineralele utile;
- separarea cromitului de alte minerale grele;
- separarea rutilului de ilmenit;
- eliminarea materialului magnetic daunator din caolin sau din nisipurile cuartoase,
- curatirea de material magnetic a mediilor dense de separare.

**Bazele teoretice ale concentrării magnetice.** Separarea magnetica consta in deplasarea diferentiaa a granulelor minerale care poseda proprietati magnetice diferite cu ajutorul fortelor produse de un camp magnetic si a altor forte auxiliare (frecare, forte gravitationale). Campul magnetic se realizeaza cu ajutorul unor magneti permanenti sau electromagnetii.

Fora de atractie magnetica obtinuta cu doi poli magnetici poate fi exprimata prin relatia:  $f = (m_1 * m_2 / r^2) * k$  unde k este o constanta ce depinde de sistemul de unitati in care se lucreaza,  $m_1$  si  $m_2$  sunt masa polilor magnetului, r este distanta dintre poli iar  $\mu$  este permeabilitatea magnetica.

Principala caracteristica a campului magnetic este intensitatea (H) care este fora cu care campul actioneaza asupra unei mase magnetice unitare, intr-un anumit punct al campului.

Dupa cum intensitatea campului este constanta sau variabila pe o directie, campul magnetic este omogen sau neomogen. Neomogenitatea campului magnetic se caracterizeaza prin gradientul intensitatii (grad. H) si reflecta variatia intensitatii campului pe directia x.

$$\text{grad.H} = dH/dx$$

unde  $dx$  este distanta la care  $H$  se modifica cu  $dH$ .

Comportarea granulelor minerale in campul magnetic este determinata de susceptibilitatea magnetica a acestora. Ea poate fi volumetrica sau specifica. Susceptibilitatea volumetrica " $\chi$ " reprezinta raportul dintre intensitatea de magnetizare a corpului ( $I$ ) si intensitatea magnetica a campului ( $H$ ):

$$\chi = I/H$$

Susceptibilitatea magnetica specifica " $\chi$ " este  $\chi / \rho$ .

Ea poate fi pozitiva sau negativa si in functie de semnul ei, <sup>b</sup>substantele sunt de doua categorii b

- diamagnetice, acele corpuri care la introducerea intr-un camp magnetic, sub actiunea fortelor magnetice se deplaseaza in partea cu intensitate mai scazuta a campului ( $\chi > 0$ );
- paramagnetice, acele corpuri care se deplaseaza spre partea cu intensitate mai mare a campului ( $\chi < 0$ ).

Susceptibilitatea magnetica volumetrica este caracterizata de permeabilitatea magnetica

$$\mu = 1 + 4 \pi \chi$$

Starea magnetica a unui corp introdus intr-un camp magnetic este caracterizata si de inductia magnetica  $B$ .

Pe baza proprietatilor magnetice, substantele minerale utile pot fi impartite in urmatoarele categorii:

- puternic magnetice (feromagnetice):  $\chi' > 3 \cdot 10^{-3} \text{ cm}^3/\text{g}$ , ce pot fi separate in campuri magnetice slabe. Ex.: magnetit, franklinit, pirotina, martit;
- minerale mediu magnetice:  $\chi' = 60 \cdot 10^{-6} - 100 \cdot 10^{-6} \text{ cm}^3/\text{g}$ . Ex.: ilmenit, hematit, granat, wolframit, zircon.
- minerale slab magnetice:  $\chi' = 60 \cdot 10^{-6} - 15 \cdot 10^{-6} \text{ cm}^3/\text{g}$ . Ex.: biotit, limonit, siderit, glauconit, dolomit, piroxen, manganit, piroluzit.

- minerale nemagnetice  $\chi < 15 \cdot 10^{-6} \text{ cm}^3/\text{g}$

Trebuie de asemenea mentionat ca proprietatile magnetice ale unor minerale variaza in limite largi, in functie de zacamantul in care se afla. De asemenea, proprietatile magnetice ale mineralelor depind si de forma si dimensiunile granulelor, de intensitatea campului magnetic, etc

Prin anumite tratamente fizice si chimice si in special prin prajire magnetizanta, unele minerale de fier isi maresc apreciabil susceptibilitatea magnetica, in timp ce alte minerale nu sufera deloc modificari. Aceasta permite ca in cazurile in care separarea este dificila din cauza diferentei mici de susceptibilitate sa se realizeze o imbunatatire substantiala prin prajire.

Asupra granulelor minerale introduse intr-un camp magnetic neomogen va actiona forta magnetica a carei valoare este:

$$F = \chi \cdot m \cdot \text{grad}H \cdot H$$

unde  $\text{grad}H \cdot H$  este forta magnetica a campului. De aici rezulta ca, cu cat este mai mare susceptibilitatea magnetica specifica, forta cu care campul magnetic va actiona asupra granulei va fi mai mare. Atunci cand aceasta forta va fi mai mare decat suma fortelor mecanice care i se opun (gravitationala, de inertie, centrifugala, de rezistenta a mediului, etc.) granulul mineral se va deplasa spre polii magnetici ai separatorului, in fractia magnetica. Particulele cu " $\chi$ " scazuta se vor deplasa pe traiectorii determinate de actiunea fortelor mecanice, colectandu-se separat in produsul nemagnetic

Separarea granulelor cu proprietati magnetice de cele nemagnetice se poate realiza prin unul din urmatoarele trei procedee:

- devierea granulelor magnetice din stratul de material brut, in dreptul polului magnetic;
- retinerea granulelor magnetice in stratul de material pe suprafata polului magnetic;
- extragerea granulelor magnetice din stratul de material prin trecerea acestuia sub polul magnetic.

Prima metoda se aplica in cazul amestecurilor minerale usor separabile, pentru ca nu are o selectivitate prea ridicata, dar permite prelucrarea unor debite ridicate; metoda de retinere, dar mai ales cea prin extragere se realizeaza cu selectivitati foarte bune.

### Factorii care influenteaza separarea magnetica

Magnetitul, frankinitul, ilmenitul si wolframitul pot fi in mod direct separate prin concentrare magnetica. Multe alte minerale pot de asemenea sa dea raspuns la separarea magnetica. Minerale slab magnetice ca biotit, granat, zeoliti, piroclor, muscovit si clorit pot fi si ele concentrate in separatoare magnetice, dar la intensitati mari.

Date foarte exacte asupra susceptibilitatii magnetice si permeabilitatii mineralelor nu sunt, pentru ca multi factori influenteaza masuratorile.

Cauzele cele mai frecvente care influenteaza proprietatile magnetice ale mineralelor sunt:

- a. Impuritati mecanice de minerale magnetice in minerale nemagnetice;
- b. Impuritati dizolvate;
- c. Structura cristalina si compozitia chimica;
- d. Dimensiunea granulelor minerale.

**a. Impuritati mecanice.** Influenta impuritatilor mecanice asupra susceptibilitatii granulelor este uneori foarte mare. Cantitati minime de particule de fier (provenite de la macinare) sau de magnetit incluse sau aderente pe suprafata unor minerale nemagnetice pot modifica foarte mult susceptibilitatea. De aceea, in cazul separarii magnetice este deosebit de important ca dezasocierea mineralelor sa fie cat mai completa si sa fie impiedicata aderarea particulelor fine de material magnetic la granulele mari, nemagnetice.

**b. Impuritati dizolvate.** Studiile efectuate asupra otelurilor cu diferite proportii de C au aratat ca proprietatile magnetice pot fi mult influentate de continutul de carbon. Aliajele cu  $Mn > 5\%$  au

permeabilitate magnetica mica, iar cele de Ni cu 23 % Mn au permeabilitate mare. In cazul mineralelor exista numeroase situatii in care ionii feromagnetici sunt inclusi in cristalele unor minerale de alta natura carora le modifica substantial comportarea. Astfel, fierul dizolvat in blenda marmatitica poate conferi acesteia o susceptibilitate relativ mare.

**c. Structura cristalina si compozitia chimica.** Principalele minerale paramagnetice sunt mineralele de fier, berilul, diopiazul, iar caracteristic diamagnetice sunt Au, Ag, Cu, calcitul, etc. Inductia magnetica este o proprietate scalara, fiind dependenta de simetria cristalului. Mineralele amorse si cele care cristalizeaza cubic prezinta in toate directiile aceeasi inductie magnetica, in timp ce la mineralele care cristalizeaza in alte sisteme, inductia variaza cu directia. Tinand seama de comportarea lor in campuri magnetice, mineralele pot fi clasificate in izotrope sau anizotrope, para sau diamagnetice, uniaxiale, biaxe, pozitive, negative.

Mineralele paramagnetice uniaxiale pozitive sunt atrase mai puternic in directia axei de rotatie a elipsoidului de inductie, iar cele paramagnetice uniaxiale negative sunt atrase mai slab in directia axei de rotatie. Mineralele diamagnetice uniaxiale pozitive se asaza perpendicular pe axa de rotatie, iar cele negative au o deviatie slaba.

**d. Dimensiunile granulelor.** Influenta dimensiunilor granulelor este relativ mica. Variatia susceptibilitatii magnetice cu dimensiunea granulelor nu a fost explicata deplin deoarece nu s-a putut stabili daca efectiv variatia dimensiunii produce modificari constante sau schimbarile care intervin in starile suprafetelor sunt cauza. Practic, aceasta influenta poate fi neglijata.

#### Prajirea magnetizanta

Prin acest procedeu, la temperaturi de 700-900°C, in atmosfera oxidant-reducatoare sau reducatoare se modifica susceptibilitatea magnetica si unele substante devin paramagnetice. De exemplu, sideritul si hematitul din substante diamagnetice, prin prajire trec in magnetit sau maghemit.

Aceste modificari se explica prin transformari de natura chimica si cristalografica, ce influenteaza configuratia energetica a electronilor ducand la modificarea susceptibilitatii magnetice.

Deosebirea intre prajirea reductoare si cea oxidant-reductoare consta in regimul de racire. In primul caz materialul redus se raceste intr-o atmosfera de  $\text{CO}_2$  in exces, iar in cel de-al doilea caz, minereul este racit la  $350^\circ \text{C}$ , in atmosfera reductoare si apoi racire in aer.

\* \* \*

Concentrarea magnetica se realizeaza in separatoare magnetice. Acestea pot fi clasificate dupa mai multe criterii:

1. Intensitatea campului magnetic - separatoare cu camp slab si separatoare cu camp puternic;
2. Mediul in care se realizeaza separarea - separatoare uscate (pentru minereuri grosiere) si separatoare umede (pentru minereuri cu granulatie fina);
3. Modul de alimentare - separatoare cu alimentare superioara si separatoare cu alimentare inferioara.

## II.3 CONCENTRAREA ELECTRICA

Metalele native (Au, Ag, Cu, etc.), multe sulfuri (galena, blenda, calcopirita, molibdenitul, etc.), ca si alte minerale (grafitul, granatul, hornblenda) sunt buni conducatori, in timp ce majoritatea mineralelor, in special cele de ganga sunt slab conducatori de electricitate. Daca un minereu contine minerale cu caracter conductor sau neconductor, separarea electrostatica poate fi aplicata cu succes.

### Bazele teoretice ale separarii electrice

*Starea energetica a electronilor in cristale.* In corpurile cristaline electronii influenteaza natura legaturilor dintre particulele constituente, configuratia lor in ansamblul cristalului, determinand o serie



de proprietati fizico-chimice, precum capilaritatea, conductibilitatea electrica si termica, susceptibilitatea magnetica, etc.

In cristale, pe langa electronii legati de atomii constituinti sunt si electroni liberi, fapt dovedit experimental. In cazul metalelor, prezenta lor poate fi explicata prin aceea ca la solidificare, atractia nucleului unui atom fata de electronii inconjuratori poate egala sau depasi pe cea exercitata de nucleul sub influenta caruia se afla electronii; in acest caz fortele de respingere dintre electroni determina expulzarea unora dintre electronii de valenta, care inceteaza de a mai apartine unui nucleu, devin "colectivi" si se misca printre ionii metalici ramasi in nodurile retelei cristaline metalice.

In cazul mineralelor, existenta electronilor liberi se datoreaza unor cauze externe sau interne. Cand unul din componentii unui cristal (ion, atom, molecula) interactioneaza, de exemplu prin ciocnire cu alta particula venita din exterior se pot produce trei fenomene. Daca particula interactioneaza cu un atom legat la retea, unul din electronii de valenta poate fi separat de ionul sau. In acest caz, electronul poate parasii retea, care se ionizeaza prin emisie de electroni sau poate ramane in cristal, miscandu-se in interstițiile retelei. La rețelele reale, datorita polarizării și interacțiunii dintre particulele componente ale cristalului, în timpul mișcărilor de vibrație care au loc, pot fi puși în libertate electroni. De asemenea, prin excitație termică, fonică sau de altă natură pot fi puși în libertate un număr mare de electroni.

*Miscarea electronilor liberi in cristale. a. Gazul Fermi de electroni.* Majoritatea proprietatilor fizice ale metalelor, precum conductibilitatea electrica mare, ductilitatea si maleabilitatea ridicata, para si feromagnetismul, precum si alte proprietati care depind de energia cinetica a electronilor, pot fi explicate cu ajutorul electronilor liberi.

Conform modelului electronilor liberi, electronii de valenta nu mai apartin unui nucleu si in totalitatea lor pot fi considerati ca un gaz, in care ei se misca haotic, in toate directiile, ciocnindu-se permanent, in mod elastic, de nucleole ionice ale retelei si de suprafata cristalului. In acest model se neglijeaza interactiunea dintre electronii liberi si ionii pozitivi din retea metalului. Datorita asemanarii

cu gazele obisnuite, sistemul de electroni liberi este denumit gazul de electroni Fermi. Sub actiunea unui camp electric, electronii liberi se deplaseaza in sens contrar acestuia si astfel ia nastere un curent electric. Din acest motiv sunt denumiti electroni de conductie. Vitaza medie de deplasare a electronului, sub actiunea unui camp electric de intensitate  $E$  este  $\vec{v} = E\mu$  unde  $\mu$  este mobilitatea electronului. Daca "n" este numarul de electroni liberi, conductibilitatea metalului este  $\sigma = n\mu$ .

*Miscarea franata a electronilor in cristale si benzile de energie.* Modelul electronilor liberi nu a putut explica multumitor producerea unor fenomene, ca de exemplu, diferenta mare intre rezistivitatea electrica a metalelor si a unor substante nemetalifere sau motivul pentru care unele substante devin prin cristalizare bune conductoare de electricitate, iar altele izolatoare sau semiconductoare. Daca in loc a se considera electronii complet liberi se admite ca ei interactioneaza cu miezurile ionice pozitive ce formeaza nodurile periodice ale retelei, se ajunge la modelul electronilor aproape liberi. Acest model poate fi explicat atat pentru metale cat si pentru substante izolatoare sau semiconductoare. Conform lui se considera ca electronii se deplaseaza in interiorul unui camp electric, periodic, format din ionii din nodurile retelei cristaline. Corpurile solide formeaza sisteme unice, in care toti electronii trebuie sa aiba stari diferite. La fixarea a N atomi intr-o retea cristalina, nivelele electronice care inainte de unire erau identice se scindeaza intr-o serie de nivele apropiate dar cu proprietati diferite care formeaza o banda energetica. Numarul nivelelor de energie in banda este egal cu numarul de atomi care formeaza cristalul. In anumite cazuri, benzile care corespund diferitelor nivele energetice ale atomului se pot suprapune partial

Datorita apropierii dintre atomii ce constituie retea cristalină, electronii din invelisurile interioare si exterioare sufera influente diferite. Electronii de valenta exteriori interactioneaza cu atomii invecinati cu o energie de acelasi ordin sau chiar mai mare decat cu nucleul atomului propriu. Din acest motiv ansamblul electronilor de valenta formeaza un sistem unic, sub forma unei benzi energetice in care electronii sunt distribuiti pe diverse nivele de energie si care este legat cu intregul cristal si nu cu un

nucleu individual. Electronii interiori raman sub influenta nucleului de care sunt legati ceea ce creaza o periodicitate in distributia starilor energetice ale zonei inferioare.

Nucleele atomilor si electronii interiori creeaza campul periodic al retelei cristaline in care se misca electroni exteriori. Prin miscarea electronilor de valenta prin corpul solid, in campul periodic constituit din nuclee si electronii interiori, spectrul electronic al cristalului se descompune intr-o serie de zone energetice cu valori permise ale energiei, care sunt separate prin benzi corespunzatoare valorilor energetice interzise, prin care lectronii liberi nu pot trece decat daca li se imprima un impuls exterior.

Structura benzilor de energie permite o clasificare a cristalelor in grupe cu proprietati caracteristice.

In majoritatea cazurilor, proprietatile cristalelor sunt determinate in special de zonele cu energii inalte; pentru explicarea diverselor fenomene se iau in considerare numai ultima banda ocupata complet care corespunde interactiunii electronilor de valenta, prima banda incompleta sau goala care este banda de conductie si banda interzisa care se gaseste intre ele.

Cea mai distincta clasificare a mineralelor din punct de vedere al comportarii electronilor, se face pe baza conductibilitatii electrice, care depinde de configuratia benzilor de energie si de modul de deplasare a electronilor in interiorul acestora:

1. Conductorii (metale si semimetale native);
2. Semiconductori (sulfuri, telururi, oxizi, etc.);
3. Izolatori (saruri, carbonati, sulfati, etc.).

**Metale.** Banda de conductie este in prelungirea celei de valenta (fig.3). Nivelul Fermi se gaseste la nivelul zonei de separare sau in interiorul zonei de conductie. La metalele bivalente cu conductibilitate mica, banda de conductie se poate suprapune pe o anume portiune cu banda de valenta, nivelul Fermi fiind mult sub zona de suprapunere.

**Semimetale.** Sunt elemente ale grupei a V a (As, Sb, Bi), la care se adauga si grafitul care au caractere intermediare intre metale si semiconductori. La semimetale, diagrama benzilor de energie se aseamana cu cea a metalelor la care exista suprapuneri de benzi. Nivelul Fermi se gaseste chiar in zona de intrepatrundere.

**Dielectrici.** Spectrul energetic al dielectricilor este prezentat in fig.4. Banda de valenta este separata de cea de conductie printr-o banda interzisa foarte larga. Intr-un astfel de cristal, campul electric nu poate accelera electronii, el fiind practic lipsit de conductibilitate electrica.

**Semiconductori.** Sunt cristale care la temperaturi joase sunt izolatoare, dar pe masura ce se incalzesc devin bune conductoare de electricitate. In cazul lor, banda de valenta este complet ocupata de electroni, iar banda libera superioara (de conductie) este complet libera sau ocupata partial cu electroni. Prima banda interzisa este foarte ingusta. La temperaturi mai ridicate, energia electronilor din banda de valenta este suficienta pentru ca unii din ei sa treaca pe nivelele libere ale benzii de conductie, cristalul putand conduce, in aceste conditii, curentul electric. La trecerea unui numar oarecare de electroni din zona de valenta in zona de conductie sau invers, se elibereaza acelasi numar de nivele electronice, care pot fi considerate "goluri", in spectrul energetic al cristalului

Semiconductorii pot fi intrinseci sau extrinseci. Cei intrinseci reprezinta forma ideala de semiconductori. Ei sunt constituiti din cristale pure care poseda legaturi covalente. Cei extrinseci reprezinta cazul obisnuit al semiconductoarelor minerali pentru ca aceste cristale sunt impurificate in mod natural prin geneza lor, cu elemente accesorii. Prezenta impuritatilor in cristale face ca in banda interzisa sa apara niste nivele aditionale la distante variabile. Aceste nivele aditionale pot aparea nu numai datorita impuritatilor, ci si din cauza unor defecte de retea sau a absorbtiei unor substante straine pe suprafata semiconductorului. In functie de electronegativitatea impuritatilor, semiconductorii extrinseci pot fi de tip acceptor (tip p) sau donor (tip n). Impuritatile de tip acceptor capteaza electronii din zona de valenta, iar impuritatile de tip donor cedeaza electroni.

Separarea electrostatica consta in deplasarea diferentiata a granulelor minerale care posedea proprietati electrice diferite (conductibilitate, constanta dielectrica, polarizare, triboelectricitate, potential de contact, termoelectricitate) cu ajutorul unor forte produse de un camp electric si al altor forte auxiliare. Posibilitatea de separare este determinata de electrizarea diferita a granulelor, care rezulta din cauza rezistentei electrice diferite pe care le opun suprafetele la trecerea electronilor prin ele, factorii auxiliari fiind greutatea specifica, dimensiunea, starea suprafetei granulelor, puritatea acestora, precum si caracteristicile mecanice si electrice ale operatiunii utilizate. Ca masura a conductibilitatii substantelor se utilizeaza conductibilitatea specifica:

$$\rho = I/V$$

unde I este intensitatea curentului, iar V este diferenta de potential.

In functie de conductibilitatea mineralelor, acestea se impart in :

- conductoare:  $\rho = 10^{-3} - 10^{-6} \Omega^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ . Exemplu: metale native, grafit, magnetit, hematit, rutil;
- semiconductoare:  $\rho = 10^{-4} - 10^{-9} \Omega^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ . Exemplu: granat, limonit, siderit, cromit;
- dielectrics:  $\rho < 10^{-9} \Omega^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ .

Conductibilitatea mineralelor se compune dintr-o componenta volumetrica si una de suprafata.

Conductibilitatea volumetrica depinde de compozitia mineralului si de prezenta unor impuritati straine in masa sa. Conductibilitatea de suprafata depinde de compozitia suprafetei ca si de prezenta pe aceasta a unor zone oxidate, alterate, a umiditatii, a unor substante tensioactive. Conductibilitatea de suprafata naturala a mineralelor poate fi modificata in sensul pe care il dorim, prin tratare cu reactivi, ceea ce face posibila o imbunatatire a selectivitatii procesului de separare electrica aplicat.

Permeabilitatea dielectrica arata de cate ori intensitatea campului electric scade in mediul dat fata de vid si depinde de conductibilitate. In general, cu cat " $\rho$ " este mai mare, cu atat " $\epsilon$ " este mai mare. Pentru conductorii ideali  $\epsilon = \infty$

Separarea electrica se aplica materialelor cu dimensiuni intre 0,05-3 mm. In timpul deplasarii particulelor minerale in campul electric al unui separator, asupra lor vor actiona forte electrice si mecanice care vor imprima traiectorii diferite de miscare, in functie de proprietatile electrice ale materialului din care sunt constituite.

Conform legii lui Coulomb, forta (f) cu care actioneaza un corp cu sarcina electrica " $q_1$ " asupra unui cu sarcina " $q_2$ ", aflat la distanta " $r$ " de primul, va fi:

$$f = k \cdot (q_1 \cdot q_2) / (\epsilon_m \cdot r^2)$$

unde  $\epsilon_m$  este constanta dielectrica a mediului, iar k este o constanta ce depinde de sistemul de unitati ales.

Campul electric actioneaza asupra unei particule incarcate cu sarcina " $q$ ", cu forta F proportionala cu aceasta si cu E (intensitatea campului):

$$F = q \cdot E$$

in campul electric, asupra particulelor actioneaza si diferite forte mecanice, denumite forte ponderomotoare ( $F_p$ ):

$$F_p = r^3 \cdot (\epsilon_p - \epsilon_m) / (\epsilon_p + 2 \epsilon_m) \cdot E \cdot \text{grad} E$$

unde  $\epsilon_p$  este constanta dielectrica a particulei,  $\epsilon_m$  este constanta dielectrica a mediului, r este raza particulei, iar grad.E este derivata intensitatii campului in directia variatiei lui maxime. Atunci cand

$$\epsilon_p < \epsilon_m, F_p \text{ deplaseaza particula spre zonele de intensitate mai slaba a campului si invers, cand}$$

Trebuie mentionat ca fortele coulombiene depasesc marimea celor ponderomotoare de sute de ori, cu atat mai mult cu cat dimensiunea particulelor este mai mica. Rezultatul interactiunii acestor forte se concretizeaza in separarea produselor finite.

### Metode de separare electrostatica

Acestea difera intre ele in special prin modul cum se produce incarcarea electrica a suprafetelor granulelor care se separa. Ele pot fi clasificate in doua grupe:

- metode electrostatice propriu zise: separarea prin conductibilitate, separarea triboelectrică, piroelectrică și dielectrică;

- metode de separare prin ionizare sau prin efect Corona.

**Separarea prin conductibilitate.** Aceasta se bazeaza pe diferenta dintre conductibilitatile diferitelor minerale ce constituie minereul, care face ca acestea sa se incarce electric diferit și sa se deplaseze in mod diferit sub actiunea unui camp electric. Incarcarea electrica a granulelor se face prin inductie, prin contact direct cu un electrid sau de la un electrod exterior.

In practica, electrizarea granulelor se realizeaza prin contact direct cu un electrod metalic. Toate granulele care ating electrodul primesc prin influenta sarcini de acelasi semn. Granulele cu conductibilitate mai mare care primesc sarcini considerabile sunt respinse de electrodul incarcat, iar cele care primesc o cantitate mica (dielectricii) raman practic neincarcati și nu isi vor schimba traiectoria in separator. O buna separare se realizeaza numai in cazul unei diferente apreciabile intre conductibilitatea diferitelor componente ai amestecului. Separarea poate fi imbunatatita prin tratarea minereurilor cu reactivi tensioactivi, care le modifica rezistivitatea superficiala. Un fenomen interesant folosit in practica pentru separarea prin conductibilitate este reversibilitatea. Un granul mineral neincarcat care se gaseste sub actiunea unui camp produs de un electrod, daca este pus in contact cu un conductor legat la pamant se incarca cu electricitate opusa cu aceea a electroduului. Timpul necesar pentru inducerea sarcinii depinde de proprietatile electrice ale particulei, iar incarcarea de conductibilitatea sa.

Particulele conductibile sunt intai polarizate si apoi pierd sau castiga electroni de la electrodul legat la pamant (dupa cum el este incarcat negativ sau pozitiv). Particulele neconductibile, din cauza rezistentei interfaciale mari, permit cu greu transferul de electroni, ramanand astfel neincarcate

Mineralele care prezinta o incarcare inductiva aparent pozitiva se numesc reversibil pozitive. Cele care se incarca negativ sunt reversibil negative. In general, fenomenul de reversibilitate este prezent la mineralele slab conductibile. Silicati si oxizii sunt reversibil pozitiv, iar carbonatii sunt reversibil negativi. Reversibilitatea se poate modifica odata cu dimensiunea si forma granulelor.

**Separarea pe baza diferentei de electrizare prin frecare.** Prin frecare, in diferite conditii, particulele minerale se pot incarca cu sarcini electrice pozitive sau negative, putand fi apoi departajate intre ele in campul electric al aparatului. Pe acest principiu functioneaza separatorul electric cu camera (fig.5). Acesta este impartit prin doi pereti de sama incarcati cu sarcini electrice de semn contrar. Particulele electrizate prin frecare vor fi deviate in spatiul de separare, in functie de semnul sarcinii lor; cele pozitive se vor indrepta spre peretele negativ, cele negative spre peretele pozitiv.

**Separarea piroelectrică.** La unele materiale, cresterea temperaturii determina aparitia efectului piroelectric ce consta in localizarea sarcinilor electrice de semn contrar la capetele particulelor. Separatorul piroelectric (fig.6) permite separarea cuarțului de muscovit, a zirconului de ilmenit, a filossilicatilor de grafit, a cuarțului de fluorina, etc.

**Separarea triboelectrică.** Aceasta consta in incarcarea electrica diferita a suprafetelor diverselor specii minerale prin frecare intre ele sau prin contact direct cu o suprafata metalica urmata de o deviere diferentiaa a granulelor cu ajutorul unui camp electric. Incarcarea electrica se face in general prin conductie, datorita existentei unui potential intre granulele care participa la proces si suprafata de contact.

Triboelectricitatea se manifesta ori de cate ori corpurii diferite, dintre care cel putin unul este izolator se freaca intre ele. Frecarea are rol de a nivela asperitatile submicroscopice si de a mari ania



## CONCENTRAREA ELECTROSTATICA

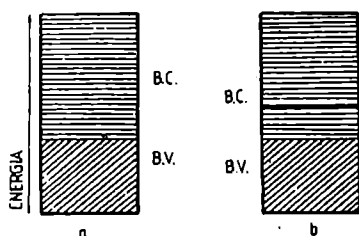
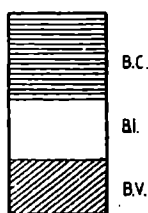


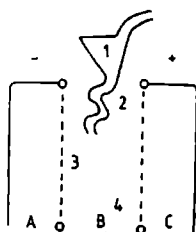
Fig. 3. BENZILE DE ENERGIE LA METALE  
 B.C. BANDA DE CONDUCTIE  
 B.V. BANDA DE VALENTA  
 a- MAJORITATEA METALELOR  
 b- METALE BIVALENTE

Fig. 4. SPECTRUL ENERGETIC AL DIELECTRICILOR



B.C. BANDA DE CONDUCTIE  
 B.I. BANDA INTERZISA  
 B.V. BANDA DE VALENTA

Fig. 5. SCHEMA DE PRINCIPIU A SEPARATORULUI ELECTRIC CU CAMERA



1. PALNIA HERMETICA DE ALIMENTARE  
 2. TUBUL DE TRANSPORT AL MATERIALULUI DE SEPARAT  
 3, 4. GRILAJE DE SARMA CU SARCINI ELECTRICE CONTRARE  
 A, B, C COMPARTIMENTE PENTRU FRACTII MINERALE CU ELECTRICITATE POZITIVA (A), NEGATIVA (C), PRODUS INTERMEDIAR (B).

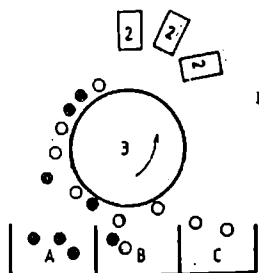


Fig. 6. SCHEMA DE PRINCIPIU A SEPARARII PIROELECTRICE

1. SILOZ DE ALIMENTARE  
 2. SISTEM DE INCALZIRE CU VAPORI  
 3. TAMBUR ROTATIV  
 A, B, C COMPARTIMENTE PENTRU FRACTII MINERALE CU ELECTRICITATE POZITIVA (A), NEGATIVA (C), PRODUS INTERMEDIAR (B)

regiunilor de contact. Imediat ce distanța între corpuri a atins valoarea de 10-8 cm (distanța medie dintre atomii vecini în materia condensată) se produce electrizarea obișnuită, prin contact. Particulele atomice de la interfață intră în acțiune, echilibrul electrostatic se schimbă și electronii de la corpul cu nivel Fermi mai ridicat trec la cel cu nivel mai coborât, până ce se produce o nouă stare de echilibru, ce este caracterizată de existența unei diferențe de potențial de contact între cele două corpuri.

**Separarea dielectrică.** Metoda constă în separarea unui amestec de minerale ce posedă constante dielectrice diferite, cu ajutorul unui câmp electric neomogen ce acționează asupra suspensiilor formate din mineralele care trebuie să fie separate și un lichid neconductibil ce are o constantă dielectrică intermediară între diversele grupuri de minerale. Granulele ce au constantă dielectrică mai mare ca a fluidului se deplasează în direcția în care crește valoarea câmpului, iar cele care au constantă mai mică, în direcție opusă. În general, constantele dielectrice ale mineralelor sunt destul de puțin cunoscute. Mineralele care au conductibilitate electrică mare au constantă dielectrică mai mare decât a apei. Cele cu conductibilitate intermediară au constantă dielectrică cuprinsă între 80 și 10, dar majoritatea mineralelor au constantă dielectrică sub 10.

**Separare prin ionizare (efect Corona).** Metoda constă în introducerea unei suspensii de granule minerale dispersate într-un gaz, în interiorul unui câmp electric, care ionizează gazul. Ioni gazului sunt adsorbiți selectiv pe suprafața granulelor, care, încărcându-se cu sarcini electrice, se deplasează în direcția electrodului de depunere unde cedează sarcina. La această metodă, conductibilitatea materialului joacă un mare rol la descărcare. Ionizarea gazului se realizează prin aplicarea unei tensiuni. Începutul descărcării prin ioni se observă prin apariția unei slabe luminescențe în jurul conductorului, care separă zona de formare a ionilor de ambele semne. Fenomenul poartă numele de efect Corona.

## II.4. CONCENTRAREA PRIN FLOTATIE

Flotatia, cea mai raspandita metode de concentrare pentru minereurile de sulfuri si nu numai, are la baza diferenta care exista intre proprietatile superficiale (de suprafata) ale mineralelor utile si de ganga.

In principiu, concentrarea prin flotatie consta in formarea unui amestec din minereul fin macinat si apa (turbureala de flotatie), urmata de separarea mineralelor utile de cele de ganga, intr-o spuma produsa prin adaugarea de reactivi chimici de flotatie, reactivi spumanti si prin agitare mecanica sau pneumatica.

Capacitatea unui mineral de a fi colectat in spuma constituie flotabilitatea sa naturala. Aceasta proprietate poate fi imbunatatita sau poate fi creata artificial, atunci cand mineralul nu o poseda, prin folosirea unor cantitati mici de reactivi colectorii, iar uneori prin adaugarea de reactivi modificatori.

Pentru ca nu toate minereurile prelucrate prin flotatie sunt alcatuite numai dintr-o anumita specie minerala (monominerale), ci sunt cu caracter polimineral, separarea diferitelor specii minerale se face prin flotatie selectiva. Pentru aceasta este necesar ca in timpul flotatiei unui mineral, sa fie distrusa temporar flotabilitatea celorlalte minerale. Acest fapt se realizeaza cu ajutorul reactivilor depresanti. Dupa separarea primei specii minerale, pentru a putea sa le obtinem si pe celelalte, trebuie sa le fie redada flotabilitatea, prin actiunea reactivilor activanti.

Daca metodele de concentrare descrise anterior aveau la baza proprietati ale mineralelor care putea fi usor masurate, flotatia are loc printr-un complex de fenomene fizico-chimice si dinamice cu conditionare si influenta reciproca si care sunt dificil de masurat.

### Fazele componente ale turburelii de flotatie

Turbureala de flotatie este formata dintr-o faza lichida, o faza solida si una gazoasa.

**Faza lichida.** Desi exista mai multe optiuni, in majoritatea cazurilor se foloseste apa. Prin faptul ca apa are o constanta dielectrica mare ( $D=81$ ), multe substante, sub actiunea dipolilor apei

disociază în ioni. Disocierea are loc numai pentru acele substanțe la care energia de legătură în rețeaua mineralului este mai mică decât "energia de hidratare", fapt ce determină ruperea legăturilor dintre particulele componente. Hidratarea este un proces exoterm, cantitatea de căldură degajată fiind caracteristică pentru lucrul mecanic de umețire și pentru forța de aderență a apei la suprafața mineralului.

Apa naturală folosită în mod obișnuit în flotatie are în compoziția sa o serie de ioni, precum  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ , ca și ioni ai unor metale grele,  $\text{Cu}$ ,  $\text{Pb}$ ,  $\text{Zn}$ ,  $\text{Fe}$ , etc. Acești ioni sunt de două tipuri, în funcție de cum influențează flotatia; unii dintre ei fac dificilă tehnologia de separare, alții nu au deloc influență. Dar, caracteristica lor de "indiferenți" este relativă, pentru că ei, în funcție de tipul de minereu prelucrat, pot sau nu, să împiedice separarea. De exemplu, existența ionilor de  $\text{K}^+$  și  $\text{Na}^+$  în turbureala de flotatie nu influențează în niciun fel concentrarea minereurilor de cupru sau a celor polimetalice, dar împreună împiedică flotatia feldspatilor cu acizi grași.

Ionii care influențează cea mai puternic flotatia sunt cei care modifică pH-ul turburelii. Prezența  $\text{Ca}^{2+}$  și  $\text{Mg}^{2+}$  determină duritatea apei. Dacă duritatea apei nu depășește 8 (80 mg CaO la 1 l de apă), atunci este bună pentru flotatie. Dacă este o apă dură, când sunt folosiți acizii grași drept colectori, selectivitatea procesului este deranjată prin îmbunătățirea sau activarea flotabilității mineralelor de gangă.

**Faza solidă.** Comportarea mineralelor în procesul de flotatie este determinată de structura lor cristalină. În cazul în care mineralele ar avea o structură cristalină ideală, problema flotabilității lor ar putea fi rezolvată într-un mod elegant, pentru că majoritatea mineralelor posedă proprietăți semiconductoare și deci capacitatea lor de absorbție ar putea fi dirijată. În natura însă, acest lucru nu este posibil pentru că mineralele au rețele care prezintă imperfecțiuni de rețea (defecte de rețea) de diferite naturi.

Starea energetică a unui mineral este funcție de nivelul Fermi. Dacă acesta este mare se produce un transfer de electroni dinspre mineral spre faza lichidă și invers, la un nivel Fermi scăzut,

transferul de electroni este catre mineral. In acest ultim caz este favorizata absorbtia de ioni pe suprafata mineralului. Cunoasterea acestui lucru este importanta pentru ca modificarea nivelului Fermi se poate realiza prin folosirea de reactivi sau prin diverse procedee fizice (cresterea temperaturii, bombardare cu electroni, etc.).

Transferul de electroni la interfata solid-lichid este determinat si de concentratia de electroni liberi ( $n$ ) sau de goluri ( $p$ ) si de raportul acestora. De exemplu, la folosirea colectorilor cationici, fixarea acestora la suprafata mineralului este mai puternica in cazul in care aceasta are o concentratie mai mare de goluri, deci daca suprafata este de tip "p".

Comportarea la flotatie a mineralelor este modificata si de substitutiile care au loc in retea. La substitutii, reseaua cristalina a mineralului ramane nemodificata, dar daca un ion cu valenta superioara intra in locul unuia cu valenta inferioara se produce o crestere a energiei de suprafata, ceea ce inseamna o reducere a capacitatii de solubilizare a mineralului. Unul din cazurile cele mai clasice il reprezinta modificarea flotabilitatii blendei in functie de continutul in fier.

**Faza gazoasa.** Aerul este un component al turburelii de flotatie, iar dintre componentii lui, cei mai importanti sunt  $\text{CO}_2$  si  $\text{O}_2$ . Rolul principal in chimismul procesului de flotatie il are oxigenul. In cazul flotatiei sulfurilor, de exemplu, rolul lui este esential pentru procesul de separare, cu conditia ca actiunea lui sa fie de scurta durata, altfel concentrarea sulfurilor este impiedicata de reactii de oxidare.

Concentratia aerului in faza lichida, conform legii lui Henry este :  $c = k \cdot p$ , unde  $p$  este presiunea partiala a aerului, iar  $k$  o constanta ce depinde de proprietatile lui si de temperatura.

In faza lichida aerul se gaseste dispersat sub forma de bule de gaz. Presiunea in interiorul unei bule este:

$$P = P_1 + [(2 \sigma_{a,l})/R]$$

unde  $P_1$  reprezinta presiunea exercitata in lichidul din jurul bulei,  $\sigma_{a,l}$  este tensiunea la interfata aer-lichid, iar  $R$  este raza bulei. Invelisul bulelor de aer din turbureala este un invelis lichid cu caracter elastic si stabil mecanic, in special cand in turbureala sunt si substante tensioactive. In momentul

ciocnirii a doua bule, acestea tind sa se contopeasca sau nu. De asemenea, posibilitatea contopirii bulelor gazoase de acelasi diametru este mica si din acest motiv se urmareste obtinerea de bule cu aceleasi dimensiuni in turbureala de flotatie.

### Fenomenele ce stau la baza flotatiei

Din punct de vedere fizic, flotatia are loc astfel: intr-o suspensie formata din granule minerale si apa se introduce o cantitate mare de aer sub forma unor bule mici, dispersate cat mai omogen. In deplasarea lor prin turbureala de flotatie, bulele de aer intalnesc granulele minerale si se ciocnesc de ele. Daca suprafetele granulelor sunt hidrofobe, vor adera de bulele cu care se ciocnesc rezultand agregate bule-granule. Daca sunt hidrofile, adeziunea nu se produce, iar bulele de aer si granulele raman separate in lichid. Prin aderarea bulelor de aer la suprafata granulelor minerale, agregatul astfel format capata o densitate mai mica decat faza lichida si se ridica la partea superioara a barii de flotatie, unde cu reactivii spumanti da nastere unei spume trifazice, care poate fi separata.

Cinetica procesului de flotatie este determinata de intensitatea cu care au loc procesele mentionate; aceasta la randul ei este influentata de probabilitatea ca sistemul sa se gaseasca in anumite stari energetice, ca urmare a naturii diferite a substantelor care participa la proces si de conditiile de lucru.

**Aderarea particulelor la bulele de aer.** Cand in urma coliziei bula de aer adera la particula minerala, apare un perimetru de contact, de-a lungul caruia actioneaza tensiunile superficiale la interfețele lichid-gaz, solid-gaz si solid-lichid. Unghiul care cuprinde intre laturile sale faza lichida se numeste unghi de contact (fig.7) si se noteaza cu  $\theta$ ; iar marimea lui este o masura a umectarii suprafetei minerale, fiind o masura a tensiunilor superficiale:

$$\cos \theta = [(\sigma_{lg} - \sigma_{sg}) / \sigma_{lg}]$$

Cu cat  $\theta$  are o valoare mai mare, cu atat suprafata unui mineral este mai hidrofoba si flotabilitatea lui naturala este mai ridicata.

## CONCENTRAREA PRIN FLOTATIE

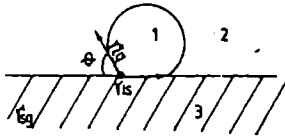


Fig.7. UNGHIUUL DE CONTACT ( $\theta$ )

1. BULA DE AER.
  2. APA
  3. PARTICULA MINERALA.
- TENSIUNI SUPERFICIALE LA INTERFATA SOLID-GAZ ( $\gamma_{sg}$ )  
 LICHID-SOLID ( $\gamma_{ls}$ ) SI  
 LICHID-GAZ ( $\gamma_{lg}$ )

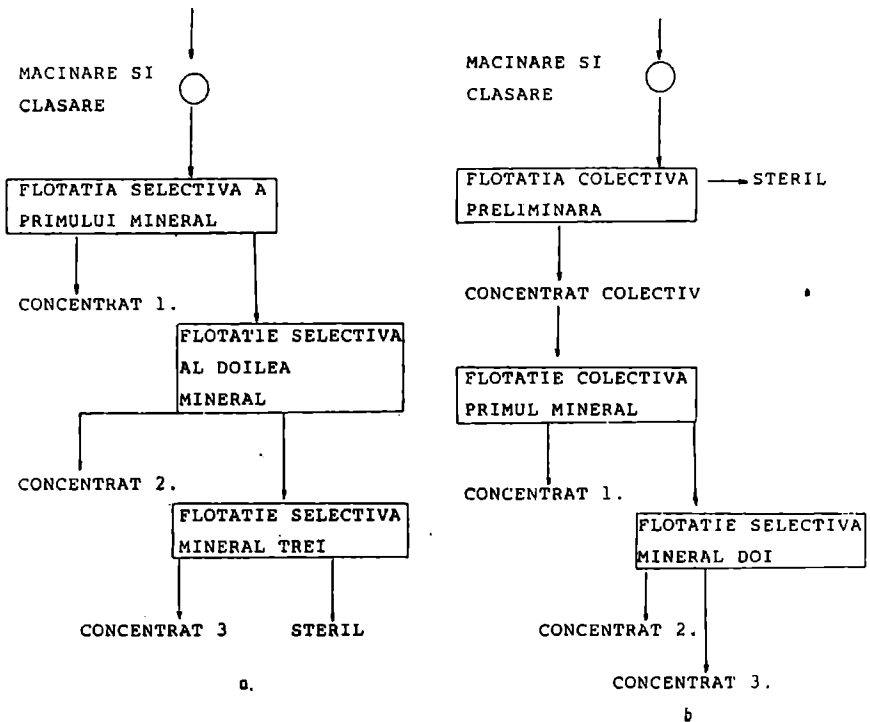


Fig.8. ȘCHEME DE FLOTATIE : a. FLOTATIE SELECTIVA;  
 b. FLOTATIE COLECTIV-SELECTIVA

Unele minerale se caracterizeaza prin unghi mare, asa cum este sulful (850-880), molibdenitul (750-850), talcu (700-900) si au flotabilitate foarte buna; majoritatea mineralelor au insa unghiuri mici de contact si pentru separarea lor este nevoie de introducerea reactivilor colector.

### Caracteristici ale mineralelor care influenteaza flotatia

Flotabilitatea unui mineral este dependenta, pe langa proprietatile suprafetei si de o serie de caracteristici ale granulelor ca dimensiuni, densitate, asocieri minerale, etc.

**Dimensiuni.** O prima problema este legata de dimensiunile la care trebuie sa ajunga minereul prin macinare inaintea concentrarii prin flotatie. Dezasocierea minereului trebuie sa raspunda la doua cerinte:

a. Granulele sa aiba dimensiuni care sa permita aderarea la bulele de aer,

b. Masa principala a mineralelor utile sa fie in stare libera, adica sa se produca dezasocierea fata de mineralele de ganga cat si de concresterile minerale. Macinarea trebuie sa realizeze o granulometrie in acord cu extragerea mineralelor utile in spuma de flotatie.

Fiecare minereu reprezinta un caz concret de macinare; gradul cel mai economic de dezasociere depinde nu numai de considerente tehnice ci si de continutul util din minereu. Cu cat minereul este mai bogat, cu atat este preferata o dezasociere mai avansata.

Dimensiunile diferite ale granulelor minerale determina viteze de flotatie diferite. Pe masura reducerii granulatiei, viteza de flotatie creste pana la o anumita limita, dupa care scade. Particulele cu dimensiuni mici floteaza dificil.

Flotabilitatea redusa a fractiilor foarte fine este determinata de o multime de factori, dintre care cel mai important pare a fi probabilitatea redusa de aderare la bulele de aer. Prezenta slamurilor reduce si flotabilitatea claselor granulometrice mai mari, fie prin acoperirea acestora cu slamuri care fac dificila fixarea bulelor de aer.

**Densitatea.** La concentrarea prin flotatie, granulatia maxima la care poate fi macinat un mineral este functie de hidrofobitatea mineralului, de densitate si de forma particulelor.



Mineralele care au hidrofobitate naturala ridicata si densitate mica pot flota si la granulatie mare. Granulele minerale, in functie de forma lor floteaza in mod diferit; cele sferice (izometrice) floteaza mai greu decat cele tabulare (lamelare sau solzoase).

Experimental s-a aratat ca sulfurile se fixeaza stabil la bulele de aer, la granulatii de 0,1-0,15 mm, cele cu dimensiuni mai mari trecand in steril. Mineralele mai usoare pot flota la granulatii de 0,15-0,2 mm, iar uneori chiar si la 1 mm. Molibdenitul, desi are o greutate specifica mare, avand un habitus solzos si hidrofobitate naturala mare, poate flota la dimensiuni de 0,4-0,5 mm.

**Caracterul asociatiilor minerale.** In procesul de concentrare prin flotatie este important de stiut nu numai care mineral trebuie flotat, ci si cu care minerale este asociat. De exemplu, separarea fluorinei si fosfatilor de cuarț nu reprezinta o problema, dar daca ganga este din calcit sau baritina, separarea este dificila.

Sulfurile sunt minerale care au o comportare buna la flotatie. Atunci cand sunt separate de mineralele de ganga, nu apar dificultati. Problemele sunt generate de incercarile de separare a sulfurilor intre ele. In unele situatii, prin oxidare si lesiere, sulfurile formeaza oxizi, sulfati, carbonati, silicati ce sunt caracterizati de o flotabilitate redusa. Transformarile minerale de acest tip apar datorita neomogenitatii suprafetei sulfurilor care confera o puternica activitate chimica pentru oxigen. Viteza reactiilor de oxidare sau dizolvare este mai mare daca ele se gasesc intr-o anume asociatie, datorita dependentei acestora de valoarea potentialului natural al fiecarui mineral. Astfel, mineralele cu potential mai ridicat se vor oxida mai incet atunci cand nu sunt in contact cu un alt mineral. Dintre sulfuri, cel mai ridicat potential natural il are marcasita. Transformarea sulfurilor in turbureala de flotatie urmeaza aceeași schema ca in natura, pentru ca exista aceeasi factori (apa,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$ ) si aceleasi legi. Intai se formeaza acid sulfuric si dupa aceea sulfati. Dintre acestea cei mai importanti sunt  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$  si  $\text{CuSO}_4$ . Cel mai puternic,  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$  actioneaza puternic asupra bornitului si calcozinei, moderat asupra marcasitei, pirititei si slab asupra covelinei, blendei, calcopirititei.  $\text{CuSO}_4$  actioneaza asupra sulfurilor in urmatoarea ordine: galena, piroitina, blenda, calcopirita, bornit.

Mineralele de ganga influenteaza si ele flotabilitatea sulfurilor cu care se gasesc in asociatie. Astfel, talcul, actinotul, cloritul influenteaza negativ flotatia pirotinei. Influenta talcului se manifesta prin flotabilitatea lui ridicata si se acumuleaza in concentrat. Carbonatii, cloritul, actinotul deprezeaza pirotina si in special pe cea monoclinica.

Blenda si pirta sunt activate de calcopirta. Prin oxidarea calcopiritei se produce un transfer al ionilor de cupru in solutie, apoi o difuzie a acestora si fixarea cuprului pe suprafata mineralului (uneori cu formare de covelina).

Ordinea de formare a mineralelor are rol in aprecierea procesului de flotatie. Mineralele formate in primele faze sunt de multe ori fisurate si cimentate de mineralele mai tinere. In cea mai mare parte, mineralele secundare au duritatea mai redusa si la macinare formeaza slamuri. De asemenea, silicifierile, caolinizarile, cloritizarile, sericitizarile asociate minereurilor de sulfuri conduc la aparitia unor cantitati importante de slamuri.

#### Structura cristalina si flotabilitatea naturala

Structura cristalina a mineralelor nu influenteaza in toate situatiile in aceeaasi masura flotabilitatea acestora; relatia de dependenta este mai ales intre structura suprafetei granulelor minerale si flotabilitate.

Din punct de vedere al flotabilitatii, cristalele sunt impartite in:

- cristale atomice si moleculare - cristale ce poseda legaturi reziduale;
- cristale metalice - cristale care au o structura infinita si sunt constituite din retele de cationi prin care circula electroni;
- cristale ionice - care poseda structuri infinite formate prin asocierea cationilor si a anionilor;
- cristale combinate - in care se regasesc legaturi covalente in combinatie cu legaturi reziduale pentru a forma structuri infinite in una, doua, trei dimensiuni.

Daca suprafetele cristalelor nu contin legaturi ionice, ele sunt practic indiferente la adeziunea aerului sau apei, ceea ce face ca in contact simultan cu aceste faze sa formeze un unghi de contact

diferit de zero. Spre deosebire de acestea, cristalele care au legături ionice sau legături metalice preferă fața apoasă și dau un unghi de contact apropiat de zero.

Studiile experimentale au evidențiat faptul că acele cristale care au suprafețe caracterizate de o concentrație mare de legături ionice nu au o flotabilitate naturală ridicată, față de acelea ale caror suprafețe sunt lipsite sau au concentrații mici de legături ionice. Astfel, talcul, grafitul, pirofilitul au o comportare foarte bună la flotatie, față de miche, clorit sau minerale argiloase, care flotează mai dificil pentru că suprafețele lor de clivaj au legături ionice într-o proporție mai mare decât cele din prima grupă.

În funcție de flotabilitatea lor, o clasificare strict tehnologică, cu aplicabilitate practică a mineralelor, le separă în următoarele categorii:

a. Sulfuri ale metalelor grele și metalele native. Mineralele din această categorie sunt cu caracter hidrofob, dacă nu au fost oxidate în zăcământ sau după extracție.

b. Minerale nemetalifere apolare (grafit, sulf, talc, etc.). Sunt hidrofobe și pot fi flotate cu colectori slabi și uneori numai cu spumanti.

c. Minerale oxidice de metale neferoase (carbonații și sulfatii de cupru, plumb, zinc). Mineralele din această grupă (anglezit, ceruzit, smithsonit, malachit, azurit, etc.) pot fi ușor flotate după o sulfurizare prelabilă sau direct.

d. Minerale polare cu cationi alcalino-pământosi (scheelit, apatit, fluorina, calcit, magnezit, dolomit, etc.) pot fi flotate uneori fără activanți.

e. Oxizi, silicați, aluminosilicați (cuart, corindon, diaspor, hidrargirit, zircon, rutil, magnetit, cassiterit, ilmenit, piroluzit, disten, feldspati, beril, etc.). Mineralele din această clasă au uneori flotabilități pronunțate.

f. Saruri solubile de metale alcaline și alcalino-pământoase. Flotatia lor este uneori dificilă datorită reacțiilor de solubilizare.

## Flotabilitatea castigata a mineralelor

Asa cum s-a mentionat anterior, nu toate mineralele prezinta o buna flotabilitate; de cele mai multe ori este necesara modificarea flotabilitatii mineralelor prin adsorbirea unor substante tensioactive.

Majoritatea mineralelor care se prelucreaza prin flotatie au proprietati semiconductoare; aceasta arata ca au conductibilitate care este dependenta de acele proprietati electronice care, la randul lor, influenteaza capacitatea de adsorbție a semiconductorilor. Pe de alta parte, in solutiile de electroliti, cum sunt turburelile de flotatie, semiconductorii se comporta similar cu metalele, deci asemenea unor sisteme de electrozi, aratand fenomene de electroadsorbție. Aceste fenomene sunt determinate de proprietatile electrodului (cazul flotatiei granulelor minerale), ale mediului (turbureala de flotatie) si ale substantei adsorbite. Toate aceste proprietati contribuie la aparitia flotabilitatii castigate a mineralelor.

Modificarea starii energetice a suprafetei mineralelor pentru dezvoltarea flotabilitatii, poate fi realizata prin doua grupe de metode:

A. Difuzia reactivilor la suprafata granulelor;

B. Metode fizice.

**A. Modificari ale flotabilitatii prin difuzia reactivilor la suprafata granulelor.** La temperatura camerei, viteza de difuzie a atomilor in retea semiconductorilor variaza de la 10 la 1000 Å pe minut, ceea ce face, ca in scurt timp, sa apara la suprafata mineralului un strat cu proprietati modificate. Un exemplu caracteristic poate fi acela al difuziei ionilor de cupru in retea blendei. Blenda este un semiconductor ce poseda o cantitate importanta de electroni liberi. Ionii de cupru ce difuzeaza in retea absorb electronii in stratul superficial al retelei; valenta lor scade si produce o modificare a conductibilitatii blendei. Aceste fenomene explica efectul activant al ionilor de cupru in cazul flotatiei blendei cu xantati.

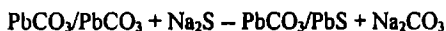
In acelasi mod se explica si actiunea cationilor de metale grele asupra flotatiei cuarului. Acesti ioni difuzeaza in retea cristalelor de cuar si il fac flotabil cand se folosesc colectori anionici si il deprezeaza cand se incearca flotatia cu colectori cationici.

In mod asemanator, adsorbția oxigenului la suprafața unor minerale nemetalice produce o anumită stare de acceptor a suprafeței, ce favorizează adsorbția colectoarelor anionice și deci modificarea flotabilității.

**B. Modificări produse prin diverse metode fizice.** De mai multă vreme se cunoaște că o creștere a temperaturii turburează de flotatie, favorizează flotatia unor minerale. Este cazul flotatiei blendei sau a ilmenitului. Creșterea temperaturii produce o variație a stării energetice a suprafeței prin modificarea transferului de sarcini electrice în cristale, ceea ce conduce la schimbarea capacității de adsorbție a colectoarelor și deci a flotabilității.

In mod asemanator, iradierea cristalului provoacă o schimbare a concentrației purtătorilor de sarcini în mineral, datorită apariției unor defecte de rețea și prin aceasta o modificare a flotabilității.

**Sulfurizarea.** La acțiunea unor substanțe cu mineralele oxidice, la suprafața lor are loc o reacție de sulfurizare. Substanțele folosite pentru această reacție poartă numele de sulfurizatori ( $\text{Na}_2\text{S}$ ,  $\text{NaHS}$ ,  $\text{K}_2\text{S}$ ,  $\text{CaS}$ ,  $\text{BaS}$ ,  $\text{S}$ , etc.).



In mod asemanator se petrec reacțiile și pentru anglezit, malachit, azurit, calamina, smithsonit. Ioni de sulf sunt depresanți pentru sulfuri și de aceea cât timp există ioni liberi de sulf în turbureala de flotatie, mineralele sulfurizate vor rămâne depresate. Atunci când ionii de sulf se oxidează, pe suprafața mineralului se formează pelicula de sulfura-sulfat, care reacționează cu xantatii.

### Reactivi de flotatie

Reactivii de flotatie sunt substanțe chimice introduse în turbureala de flotatie cu scopul creerii condițiilor separării componentelor minerali între ei. Ei pot fi colectori, spumanti, modificatori.

**Reactivi colectori.** Sunt substanțe organice care se adsorb pe suprafața mineralelor mărindu-le hidrofobia, în vederea aderenței la bulele de aer. Majoritatea colectoarelor sunt substanțe heteropolare. Partea lor nepolară este alcătuită dintr-un radical hidrocarburic, cu minim doi atomi de carbon, cu rol în hidrofobizarea suprafeței. Partea polară este cea care face posibilă aderența la suprafața mineralului.

Moleculile de colector sunt adsorbite cu partea polara spre suprafata mineralului si cu partea nepolara spre faza lichida. Dintre reactivii colectori, cei mai importanti sunt colectorii ionici, care pot fi anionici sau cationici.

Dintre colectorii anionici, cei mai folositi sunt xantatii. Ei sunt saruri ale acidului xantogenic cu metalele alcaline. Tot colectori anionici sunt si acizii grasi folositi pentru flotatia baritinei, apatitului, cassiteritului, etc.

Colectorii cationici sunt substante care interactioneaza cu suprafata minerala prin cationul lor. Cei mai importanti sunt aminele, derivati ai amoniacului, in care unu, doi sau toti atomii de hidrogen sunt inlocuiti cu radicali hidrocarburici, rezultand trei tipuri de amine: primare, secundare si tertiare.

**Reactivi spumanti.** Acestia pot fi naturali sau sintetici, cu caracter acid, bazic, neutru sau ionici si neionici. Sunt substante tensioactive heteropolare ce se adsorb pe suprafata bulelor de aer conferindu-le stabilitate si rezistenta. Partea polara a moleculei de spumant este orientata spre faza lichida si prin capacitatea sa de hidratare determina formarea unui strat protector de dipoli ai apei in jurul bulei; ea poate fi gruparea (OH)<sup>-</sup>, carboxil (-COOH), carbonil (=CO), etc. Partea nepolara este un radical hidrocarburic.

**Reactivi modificatori.** Sunt substante organice sau anorganice care influenteaza flotabilitatea mineralelor. O parte din ei actioneaza la suprafata minerala usurand fixarea colectorului (activanti) sau impiedicand-o (depresanti); o alta parte actioneaza in volumul turburelii modificandu-i pH-ul si compozitia ionica (regulatori de mediu).

### Scheme de flotatie

In practica sunt foarte rare cazurile cand in urma unei singure operatii de flotatie se obtin produse (concentrat si steril) de calitate. In majoritatea cazurilor, selectivitatea necesara se realizeaza prin parcurgerea unui circuit de flotatie ce cuprinde mai multe operatii:

- flotatia primara (de baza), in scopul separarii grupurilor de minerale;

- flotatia de imbogatire (reflotatia), in care concentratele obtinute din prima etapa se supun din nou flotatiei pentru cresterea continutului in util;

- flotatia de curatire (de control sau de epuizare), operatie la care se supun sterilele obtinute in alta etapa pentru micșorarea pierderilor de util.

Un circuit se compune din mai multe operatii de imbogatire atunci cand cerintele de calitate impuse concentratului final sunt ridicate sau de curatire, atunci cand trebuie sa se diminueze foarte mult continutul de util din steril.

Schemele de flotatie se deosebesc in principal prin numarul de stadii si de cicluri pe care le contin. Prin stadiu se intelege partea din schema ce include operatia de macinare si grupul de operatii de flotatie care urmeaza. Dupa numarul de stadii, schemele de flotatie pot fi mono, bi sau tristadiale. Ciclul unei scheme este grupul de operatii din care se obtine cel putin un produs finit. Criteriile de stabilire a schemelor de flotatie au in vedere multiplele caracteristici ale minereului ce urmeaza a fi flotat si in primul rand compozitia lui, daca este mono sau polimetalic. La minereurile monometalice schema se stabileste in functie de gradul de asociere dintre mineralul util si ganga, precum si de dispozitia materialului de a forma slamuri foarte fine.

La flotatia minereurilor polimetalice, in functie de compozitia acestora si de asocierea utilului cu sterilul se stabileste ordinea de extragere a concentratelor (fig.8). In cazul in care minereul are un continut redus de steril, sub 25 %, se aplica schema de flotatie selectiva directa. De cele mai multe ori se prefera insa aplicarea unei scheme de flotatie colectiv-selectiva, in special cand minereurile au mineralele utile asociate la o anumita dimensiune si mai gros cu sterilul.

Schemele de flotatie monostadiale se folosesc pentru minereurile cu dimensiuni sau impregnatii uniforme ale mineralelor. Dupa aceasta schema se prelucreaza minereurile cu fluorina, baritina, scheeliu, apatit, spodumen.

Scheme multistadiale. Numarul stadiilor de preparare se determina in functie de dimensiunea si caracterul asociatiei mineralelor si de tendinta lor catre slamuire. Schemele acestea pot fi bistadiale sau

tristadiale; ultimele cuprind remacinarea concentratului ori a produsului intermediar sau a sterilului, obtinute in primul si al doilea stadiu.

Schemele complexe cu remacinarea produselor de flotatie, adica cu mai multe stadii de preparare, se bazeaza pe principiul de a nu macina nimic in plus. Acest lucru este important din punct de vedere al costurilor de preparare si de a evita influenta daunatoare a slamurilor. Daca mineralele utile sunt intim asociate intre ele, iar agregatele lor formeaza impregnatii de dimensiuni mari in ganga (minereuri cuprifere, minereuri polimetalice) sau atunci cand mineralele utile sunt incluse ca agregate in alte minerale utile care la o macinare grosiera se separa usor de mineralele de ganga (minereuri cu molibdenit, grafit), nu este rational ca acestea sa se macine de la inceput pana la dezasocierea totala. Aceasta pentru ca la o macinare foarte fina pierderile de metal in steril pot creste foarte mult, iar continutul in metal in concentrat scade datorita actiunii daunatoare a slamurilor. Pentru minereuri cu caractere structurale ca cele amintite, pierderile minime de util in steril sunt la o macinare groba. In asemenea cazuri cea mai eficienta schema de flotatie este cea bistadiala cu obtinerea sterilului urmata de remacinarea concentratului si reflatarea acestuia.

La minereurile la care mineralul util pe langa impregnatii mari prezinta si impregnatii fine, continutul in metal in concentrat si pierderile in steril cresc pe masura macinarii avansate. Pentru astfel de minereuri este necesara o macinare groba, urmata de extragerea partiala a unui concentrat final, apoi sterilul este remacinat si din el se floteaza restul utilului.

Pentru minereurile foarte complicate structural, cand mineralele apar ca impregnatii fine, neuniforme si intre ele sau cu unele componente de ganga, se practica schema tristadiala.

In general, cu cat este mai complex caracterul impregnatiiilor de minerale utile si cu cat este mai mare tendinta catre slamuire, cu atat este mai fundamentala folosirea schemelor stadiale de preparare. Dimpotriva, daca impregnatiiile minerale utile sunt uniforme si mineralul nu are tendinta de slamuire prin supramacinare, se folosesc schemele monostadiale.



## II.5. PROCEDEE HIDROMETALURGICE DE PREPARARE

În schemele tehnologice de preparare a minereurilor se întâlnesc din ce în ce mai diverse metode de prelucrare prin dizolvare, ceea ce a dus la apariția unei ramuri noi a mineralurgiei, hidrometalurgia.

Caracteristica principală a acestei metode este folosirea soluțiilor unor reactivi chimici pentru dizolvarea elementului util din materia primă. Elementul sau elementele utile trecute în soluție sunt recuperate prin diferite procedee și după aceea sunt dirijate spre valorificarea lor metalurgică.

Pentru unele elemente, datorită obținerii unor concentrate de metal pur, se renunță la folosirea procedeelor pirometalurgice, economisindu-se în felul acesta timp și bani în obținerea industrială a unui produs.

La început, practica hidrometalurgică viza numai aurul și cuprul; ea a devenit azi una din cele mai răspândite metode de concentrare a minereurilor. Aceasta datorită faptului că în industrie a crescut mult necesitatea de folosire a unor metale precum U, Ni, Co, W, Mo, etc., care, fără procedeele hidrometalurgice ar duce la o preparare brută, ineficientă, a minereurilor ce conțin aceste metale.

Avantajele pe care metoda hidrometalurgică le oferă în comparație cu celelalte metode de preparare sunt:

- aplicabilitate în cazul valorificării unor minereuri cu conținut redus sau foarte redus de component util;
- aplicabilitate în cazul minereurilor "refractare", adică a minereurilor ce nu pot fi preparate sau sunt preparate cu indicatori tehnico-economici neavantajoși prin procedeele clasice;
- oferă posibilitatea valorificării complexe a materiilor prime. Prin specificul său, prepararea hidrometalurgică permite extragerea din minereuri a tuturor elementelor utile, iar în unele cazuri, valorificarea integrală a masei excavate din zăcămint;

- asigura randament mare de extractie pentru elementul util;
- permite obtinerea unor produse finite de calitate mai buna pentru acelasi concentrat si prin alte procedee si in unele cazuri obtinerea metalului pur;
- gradul inalt de selectivitate permite obtinerea unor produse finite monominerale mult mai frecvente ca alte operatii de preparare;
- cerinte mult mai reduse de energie, combustibil si manopera in circuitul tehnologic de obtinere a metalului;
- gradul de poluare al acestei metode este considerabil mai mic decat poluarea produsa prin unele din procedeele conventionale

Dezavantajul acestei metode este costul ridicat de prelucrare. Asta face ca sa se apeleze la ea numai atunci cand celelalte metode de preparare sunt ineficiente. In acelasi timp reducerea treptata a continutului in element util din minereuri ca si necesitatea valorificarii minereurilor greu preparabile precum si cerintele industriei pentru metale si materiale din ce in ce mai diverse face sa fie asigurata aplicarea treptata pe scara mult mai larga a concentrarii hidrometalurgice.

#### Operatii hidrometalurgice

Desi tehnologiile de concentrare hidrometalurgica sunt foarte diverse, orice schema de prelucrare hidrometalurgica cuprinde in mod obligatoriu trei etape (fig.9):

- A. Dizolvarea, trecerea in faza lichida a componentului util din minereu;
- B. Purificarea solutiei;
- C. Separarea componentului util sub forma de concentrat sau de alte produse finite, vandabile.

De obicei, aceasta metoda necesita cateva operatii pregatitoare, ca de exemplu macinarea, in scopul maririi suprafetei fazei solide. Alteori, minereurile sunt pelletizate inainte de prelucrare pentru a permite o mai buna circulatie a solutiilor.

Alte tipuri de operatii pregatitoare mai importante sunt cele care schimba compozitia chimica a materiei primeca prajirea (oxidanta, reductoare, cloruranta, sulfatizanta, etc.), calcinarea, etc.

# CONCENTRAREA HIDROMETALURGICA

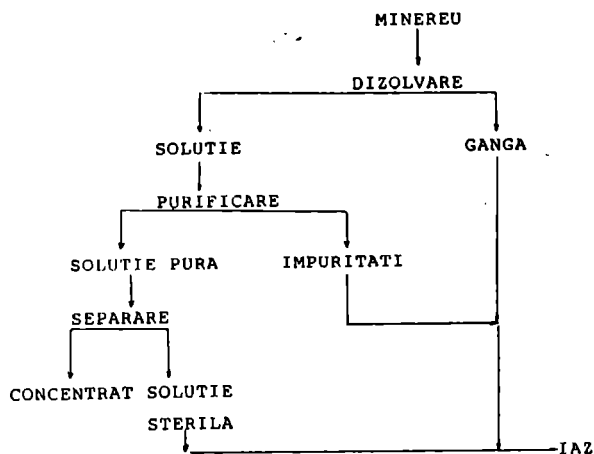


Fig.9. SCHEMA DE FLUX TEHNOLOGIC A CONCENTRĂRII HIDROMETALURGICE

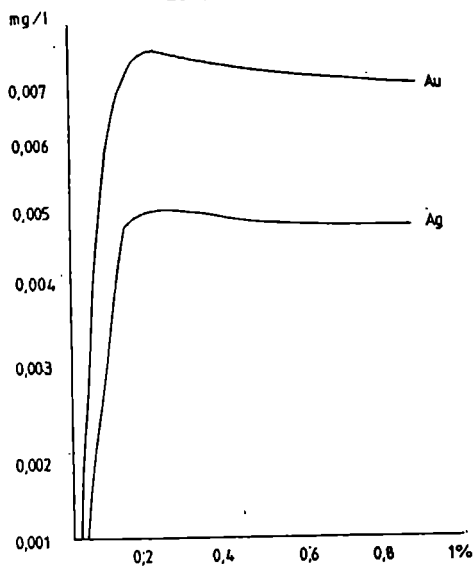


Fig.10. INFLUENȚA CONCENTRĂRII SOLUȚIILOR DE CIANURĂ ASUPRA DIZOLVĂRII AURULUI ȘI ARGINTULUI

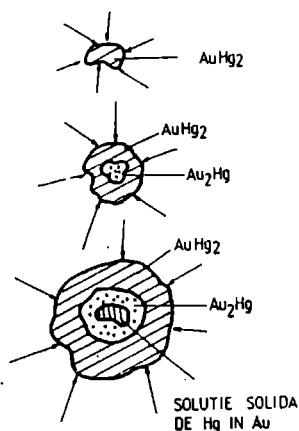


Fig.11. DIFUZIA MERCURULUI ÎN GRANULE DE AUR DE DIMENSIUNI DIFERITE

**A. Dizolvarea (lesierea).** Este o operatie importanta, intrucat stabilirea extractiei in metal este in functie de randamentul de dizolvare a componentului util. Uneori se practica "lesierea inversa" adica dizolvarea mineralelor de ganga, care odata indepartate cu solutia, contribuie la concentrarea componentului util ramas si la crearea unor conditii mai favorabile pentru concentrarea lui ulterioara. Mai rar exista si posibilitatea ca intreaga masa minerala sa fie lesiata si elementele utile sa fie separate din solutie prin procedee specifice.

Reactivul ales pentru lesiere trebuie sa corespunda anumitor cerinte:

- selectivitate fata de elementul util, ceea ce implica consumuri reduse de reactivi si simplifica operatiile ulterioare de separare;

- stabilitate si pentru reactiv si pentru produsul rezultat in urma lesierii;

- capacitate mare de dizolvare.

La acestea se adauga factorii generali precum pret redus, accesibilitate, protectie anticoroziva, nocivitate, etc.

Un rol important si in acelasi timp o problema a metodelor hidrometalurgice este posibilitatea regenerarii si recircularii reactivului care face sa fie reduse la maxim consumurile specifice si evita poluarea mediului.

Reactivii folositi pe scara industrială nu pot asigura in totalitate aceste cerinte. Din acest motiv se alege in practica, un reactiv sau altul, preferandu-se, cand celelalte conditii sunt egale, acel reactiv care asigura o solubilizare cat mai completa a elementului util, cu alte cuvinte cel care asigura un randament mare de lesiere. Pentru lesiere se folosesc solutiile apoase ale unor acizi- sulfuric (mai rar clorhidric) si azotic -ale unor saruri, ca de exemplu cianurile alcaline pentru aur si argint, carbonat de amoniu pentru nichel si cobalt, amoniac pentru cupru, hidroxid de sodiu pentru aluminiu, etc.

**Lesierea simpla.** Aici apa este un component obligatoriu al agentului de lesiere. In cazul in care metalul se gaseste in minereu sub forma solubila in apa, aceasta este folosita drept agent de lesiere. Procedul este utilizat pe produsele rezultate in urma prajirii sulfatizante sau clorurante, cand rezulta

sulfati si/sau cloruri, multe din ele cu proprietatea de a se dizolva in apa

**Lesierea cu reactivi chimici.** Este cel mai frecvent caz. In urma reactiei, metalul care se gasea in minereu sub forma unei combinatii insolubile trece in faza lichida sub o alta forma, solubila

Procedeele ca si aparatura folosite pentru realizarea practica a lesierii sunt relativ simple. In practica industriala se utilizeaza doua metode de lesiere: prin percolare si prin agitare.

**Lesierea in autoclave.** Se stie ca unele reactii chimice decurg mult mai intens la temperaturi sau presiuni ridicate. Acest fenomen a gasit o aplicatie industriala in hidrometalurgie; productia de aluminiu se bazeaza pe extractia acestui metal din bauxite cu solutii de NaOH, in autoclave, la P si T ridicate. Lesierea in autoclave are rol important in concentrarea minereurilor de W, Sn, Ni, Co si in ultimul timp, in tehnologia U si a metalelor rare. Lesierea la presiuni ridicate se face fara participarea fazei gazoase (Al din bauxite, W din scheelit) sau cu folosirea oxigenului pentru a transforma mineralele primare in combinatii solubile, ca lesierea U, Ni, Co.

**Lesierea bacteriana si percolarea in situ.** Se cunoaste ca anumite bacterii pot oxida ionul feric si sulfurile la sulfati. In conditii adecvate ele oxideaza sulfurile fierului prezente in minereuri si formeaza o solutie apoasa de sulfat feric care se stabilizeaza la pH=2. Aceste solutii cu sulfat feric constituie un agent de lesiere foarte eficient pentru mineralele in care elementul util este intr-o forma inferioara de valenta, cum sunt sulfurile cuprului si mineralele cu uraniu tetravalent. Bacteriile Thiobacillus thiooxidans, Thiobacillus ferrooxidans, Ferrobacillus thiooxidans si Ferrobacillus ferrooxidans se adapteaza usor mediului putand rezista in conditiile unor concentratii foarte ridicate de ioni metalici. Lesierea bacteriana se foloseste cu succes pentru recuperarea cuprului si uraniului din haldele de steril de la mina sau din gramezi de minereu asezat in vrac.

O varianta a acestui procedeu o constituie aplicarea lui direct in subteran. Minereul este sfaramat astfel incat rezulta bulgari cu diametrul mai mic de 15 cm ceea ce face ca volumul ocupat de minereu sa creasca cu 30 %, parte ce este evacuata pentru lesiere in vrac. Lesierea in subteran se face pe fasii groase de 30-60 m. Agentul de lesiere este acidul sulfuric, la pH=1,5. Abatajele sunt

insamantate cu bacterii pentru a accelera oxidarea piritului si a pirrotinei in scopul producerii unor solutii acide de sulfat feric pentru lesiere.

**B. Separarea din solutie.** Cele mai importante procese de separare din solutie sunt:

- precipitarea;
- adsorbtia pe rasini schimbatoare de ioni;
- extractia lichid-lichid.

Precipitarea. Este operatia de separare a metalelor utile din faza lichida sub forma de combinatii solide insolubile.

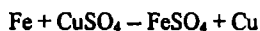
Cerinte: - randament de precipitare (separarea cat mai totala a elementelor utile din solutie);

- consum redus de reactivi;
- viteza de reactie cat mai mare;
- concentratia cat mai mica a impuritatilor ce contamineaza concentratul;
- degajare minima de gaze nocive sau explozive;
- aparatura cat mai simpla pentru realizarea procesului.

Procedeele de realizare a precipitarii se impart in doua grupe:

- Procedee cu reducere la metal (cementarea, reducerea cu ajutorul gazelor);
- Procedee cu formarea unor combinatii greu solubile (sulfuri, carbonati, etc).

*Cementarea.* Aceasta operatie se bazeaza pe diferenta dintre potentialele normale ale metalului ce precipita si agentului de precipitare. Astfel, un metal cu potential electronegativ disloca din solutie un metal cu potential electropozitiv sau altfel spus un metal mai electronegativ disloca un metal mai electropozitiv. Din acest motiv, fierul metalic este folosit la precipitarea cuprului din solutiile de lesiere ce contin sulfat de cupru, conform reactiei urmatoare:



Cementarea ca fenomen prin care metalele mai nobile sunt scoase din solutie de catre cele mai putin nobile (mai electronegative) este o electroliza in care procesul anodic si cel catodic decurg pe

acelasi electrod. Viteza de cimentare la inceput este mica pana cand se formeaza primii centri de cristalizare ai metalului respectiv, dupa aceea creste.

*Precipitarea sulfurilor.* Sulfurile de nichel, cobalt, cupru sunt precipitate cu ajutorul hidrogenului sulfurat, a sulfurii elementare sau a sulfurilor metalelor mai electronegative (prin reactii de dublu schimb). Hidrogenul sulfurat este foarte eficient si aplicarea sa pe scara larga se bazeaza pe faptul ca este solubil in apa. Este utilizat in hidrometalurgia nichelului si cobaltului. Alt agent des utilizat de precipitare este reprezentat de sulfurile metalelor alcaline sau alcalino-pamantoase.

*Precipitarea hidroxizilor.* Se bazeaza pe diferenta de pH a mediului in care are loc precipitarea hidroxizilor.

*Schimbul ionic pe rasini.* Aceste rasini, numite uneori "ioniti" sunt substante organice macromoleculare insolubile. Ele se prezinta sub forma unor sfere cu diametrul de 0,1-1 mm. In procesul de sinteza al acestor rasini li se adauga grupari ionogene ceea ce face posibil ca ele sa se schimbe cu ionii de acelasi semn din solutia cu care vin in contact. Ele se impart in "cationiti" si "anioniti" dupa semnul ionului cu care se schimba. Cationitii se comporta ca niste poliacizi, iar anionitii ca niste polibaze.

O rasina schimbatoare de ioni trebuie sa fie insolubila in mediul in care urmeaza sa functioneze, pentru a se evita pierderea de rasina si pierderea de metal adsorbit. Cea mai importanta proprietate a lor este capacitatea de schimb ionic deci cantitatea de ioni pe care rasina ii poate adsorbi din solutiile cu care vine in contact. Capacitatea de schimb nu este dependenta de natura ionilor ce se adsorb, ci, de cantitatea de grupari ionogene introduse in rasina in timpul sintezei.

\* \* \*

Cele mai cunoscute procedee hidrometalurgice sunt cianurarea si amalgamarea.

Cianurarea. Este singurul procedeu hidrometalurgic de recuperare a aurului din materiile

prime minerale. Aceasta pentru ca aurul ca element chimic are afinitate maxima pentru electroni si are reactivitatea chimica cea mai redusa. Din cauza aceasta sunt putini reactivi chimici capabili sa dizolve aurul. Solventii cei mai folositi sunt cianurile alcaline.

Viteza de dizolvare a aurului depinde la inceput liniar de concentratia cianurii, apoi mai lent pana la atingerea concentratiei de 0,25 %, dupa care incepe sa scada (fig.10). Minereurile supuse cianurarii contin cantitati diferite de alte metale precum Fe, Cu, Zn, As, Sb, Te, ce reactioneaza cu solutiile de cianura, impurificandu-le si ducand in final la consum sporit de reactiv. Dintre metalele din sistem capabile sa consume cianura, fierul se gaseste in cantitatea cea mai mare. El reactioneaza cu cianura conform reactiei:



Din cauza degajarii de hidrogen care fixeaza oxigenul din solutie, fierul mareste consumul de reactiv si reduce viteza cianurarii. De asemenea, produsele de alteratie ale piritei reactioneaza energic cu cianura fiind un consumator de cianura la lesierea minereurilor aurifere.

Cuprul este intalnit frecvent in minereurile aurifere fie sub forma de cupru nativ, de sulfuri primare sau secundare sau in minereurile oxidate sub forma de carbonati, oxizi, etc.

Cele mai multe din aceste combinatii reactioneaza cu solutiile de cianura, ducand la pierderi insemnate de reactiv.

Mineralele de stibiu si produsii lor de alteratie creaza dificultati in cianurare. Combinatiile stibiului sunt puternic reducatoare si consuma oxigenul din solutie cu formare de stibiati, reducand viteza de dizolvare a aurului si argintului.

Blenda, intalnita mai ales in minereurile polimetalice aurifere nu reactioneaza aproape deloc cu solutiile de cianura. In stare partial oxidata aceasta formeaza cu cianura o combinatie complexa de forma  $\text{Na}_2\text{Zn}(\text{CN})_4$ .

Galena, din acelasi tip de minereu se dizolva foarte putin si foarte incet in solutiile de cianura.



Cinabru nu se dizolva in cianuri, in schimb seleniurile se dizolva foarte usor, ducan la formarea de selenocianuri. Telurul se dizolva mai greu decat seleniul si rezulta  $\text{Na}_2\text{Te}$ .

**Amalgamarea.** Este un procedeu de extragere a metalelor pretioase, in primul rand a aurului, din minereuri macinate fin sau nisipuri, cu ajutorul mercurului. Ea se bazeaza pe aderența selectiva a mercurului la suprafata aurului si argintului, pe udabilitatea preferentiala a acestor metale de catre mercur. Aurul formeaza cu mercurul urmatoarele combinatii chimice:  $\text{AuHg}_2$  (33,3%Au+66,7%Hg),  $\text{Au}_2\text{Hg}$  (66,7%Au+33,3%Hg) si solutii solide ce contin pana la 84%Au si 16%Hg.

Formarea amalgamului are loc ca urmare a interactiunii dintre mercurul lichid si aurul solid, in doua etape:

- mercurul "uda" suprafata aurului si adera la aceasta;
- mercurul lichid difuzeaza in interiorul fazei solide formand combinatii chimice.

In functie de marimea granulei de aur si de durata de contactare cu mercurul, pot aparea modificarile prezentate in fig. 11.

In practica amalgamarii s-a observat ca o parte din mercur se consuma pentru formarea unui amalgam de cupru. Pentru ca suprafata cuprului nativ este acoperita cu pelicule oxidice nu se poate vorbi de amalgamare aici, decat daca in sistem exista reactivi care sa distruga aceste pelicule. Cel mai adesea, amalgamul de cupru se formeaza cand in sistem se gaseste  $\text{CuSO}_4$ . Unele metale ca Pb, Zn, Bi, Sn, K pot forma direct amalgame cu Hg, pe cand altele ca Ni, Co, Cr, Al dau amalgame indirecte.

Pe langa metodele prezentate pana acum si care au aplicabilitate la majoritatea tipurilor de minereuri, exista si metode cunoscute ca "speciale", ele putand fi utilizate numai in anumite situatii, la tipurile particulare de minereuri, in constitutia carora sunt minerale cu proprietati deosebite.

**a. Alegerea manuala.** Aceasta metoda consta in separarea manuala a materialului dupa compozitia mineralogica, pe baza diferentelor de culoare, forma, luciul, etc. Ea este folosita atunci cand celelalte metode de separare nu satisfac calitativ, asa cum este cazul pietrelor pretioase, a placilor de muscovit, fragmentelor de azbest, etc.

**b. Concentrarea radiometrica.** Metoda aceasta de concentrare utilizeaza capacitatea diferenta a mineralelor de a emite sau absorbi radiatii.

**c. Concentrarea prin sfaramare selectiva si clasare.** Aceasta se bazeaza pe diferenta de duritate si maleabilitate a componentilor unui minereu.

**d. Concentrarea prin spalare.** Se aplica unor minereuri si roci slab consolidate si usor dezagregabile, cu componente minerali cu dimensiuni si densitati diferite.

**e. Concentrarea pe baza diferentei valorilor coeficientilor de frecare.** Are la baza diferenta dintre coeficientii de frecare a mineralelor utile si a celor de ganga, atunci cand acestea se deplaseaza pe o suprafata inclinata sub actiunea fortei gravitationale.

**f. Concentrarea prin decrepitare.** Aceasta metoda utilizeaza proprietatea unor minerale de a se desface in fragmente de dimensiuni mici, dupa ce au fost incalzite pana la o anumita temperatura si dupa aceea racite.

### PRELUCRAREA MINERALURGICA A MINEREURILOR

Fiecare tip de minereu are anumite caracteristici fizice, chimice și texturale ce sunt determinate de compoziția lui mineralogică și de procesele care l-au generat. Acești parametri fac imposibilă adoptarea unei "rețete" unice de preparare, chiar pentru minereurile care conțin același element util, pentru că acesta se poate găsi în diverse specii minerale, poate prezenta o variabilitate a distribuției, o anumită asociație cu diferite minerale de gangă sau cu alte minerale utile. Din acest punct de vedere este dificil, poate chiar imposibil, să oferim niște linii generale de prelucrare mineralurgică a minereurilor, astfel încât să rezumăm la a prezenta caracteristicile preparării unor grupe de minereuri, după afinitatea elementelor utile.

#### III.1 MINEREURILE DE FIER

Fierul este un element ce intră în compoziția litosferei cu o pondere de 4,2%, fiind al patrulea element ca răspândire după Si, O, Al. În natură sunt peste 170 minerale de fier, dar dintre acestea numai o mică parte constituie substanțe valorificabile în industrie.

Concentrațiile naturale care reprezintă zăcăminte exploatabile de fier, conțin ca minerale utile magnetit, hematit, maghemit, goethit și siderit.

Caracteristicile mineralelor de fier luate în considerare la preparare sunt: densitatea relativ mare (4-5), duritate medie (5-6), permeabilitate magnetică mare, asociații mineralogice în general grosiere.

Pe baza continutului in fier, minereurile se impart in :

- minereuri bogate (nu necesita concentrare);
- minereuri sarace (necesita concentrare).

Minereurile care nu se concentreaza au un continut de peste 40% fier si o ganga favorabila topirii in cuptoare. Daca nu contin impuritati daunatoare, aceste minereuri sunt supuse numai la operatii de sfaramare, ciuruire, prajire sau aglomerare.

Minereurile ce trebuie concentrate (sarace) au un continut mic de fier, iar garga are de multe ori un continut mare de substante daunatoare (sulfuri, compusi cu fosfor, etc.).

Mineralele de ganga care insotesc utilul si mai ales ponderea cu care acestea intervin in compozitia minereului determina gradul de concentrare dar mai ales necesitatea operatiilor de preparare pana la continutul dorit in fier. Cele mai frecvente minerale de ganga sunt: cuarț, calcit, dolomit, feldspati, epidot, hornblenda, granati, baritina, gips. Deseori, minereurile de fier contin, in diferite proportii, o serie de minerale asociate ce pot interveni cu efecte daunatoare sau favorabile in procesele metalurgice.

Se pot astfel distinge minerale asociate care aduc in compozitia fontelor și oțelurilor elaborate, elemente ajutatoare (Cr, Ni, Mn, W, V, Mo) si altele care transmit elemente daunatoare (As, S, P, Cu, Pb, Zn, Ti). Uneori acestea au continuturi mai mari decat limitele admise ceea ce face ca minereul respectiv sa nu fie valorificabil industrial.

Dintre mineralele asociate cu continut in elemente daunatoare citam: pirita, piroțina, calcopirita, malachit, blenda, smithsonit, arsenopirita, gips, baritina, apatit, etc. Minerale care ingreuișaza procesele metalurgice sunt: ilmenit, sfen, galena; minerale ce contin elemente utile pentru calitatea produselor siderurgice sunt magnetitul vanădifer, piroluzitul, rodocrozitul, pentlanditul, cromitul, molibdenitul, wolframitul, cobaltina.

Intre minereurile de fier ponderea principala o au minereurile cu magnetit, dar in ultimul timp sunt atrase in prelucrare si minereuri cu hematit, martit si intr-o masura mai redusa, cele cu siderit si limonit.

Compozitia mineralogica determina procedeul de preparare. In Rusia 95% din minereuri se prelucreaza dupa scheme prin separare magnetica, iar in SUA 62% reprezinta spalarea si concentrarea gravitationala si 32% separare magnetica. Restul sunt alte procedee.

In prelucrarea minereurilor de fier se poate vorbi de o preparare minima care consta in sfaramare sub 100 mm si o ciuruire a materialului sub 8 mm, si o preparare maxima ce comporta sfaramare, macinare pana la dimensiunile de dezasociatie, concentrarea si aglomerarea la dimensiuni specifice. In ceea ce priveste concentrarea, daca se face o separare gravitationala, in functie de dimensiunile granulelor la care se face separarea, se utilizeaza urmatoarele metode: separare in medii dense, separare prin zetaj, separare pe mese sau pe jgheaburi elicoidale. In ultimii ani s-a dezvoltat un procedeu de concentrare prin floclulare selectiva a granulelor foarte fine de minereu de fier, care se separa de mineralele de ganga neflocluate printr-un procedeu hidrogravitational. Problema dificila o constituie stabilirea conditiilor in care are loc floclurarea si stabilirea reactivilor floclulanti. Acest procedeu a fost aplicat la concentrarea unor taconite magnetice la scara pilot, el fiind valabil pentru minereurile cu dimensiuni de circa 20 microni.

Separarea magnetica se face de obicei in separatoare umede cu camp puternic, care sunt capabile sa separe produse submicronice. Astfel de separatoare montate la Itabira (Brazilia) au capacitatea de prelucrare de 120t/ora si avantajul de a produce superconcentrate cu mai putin de 1,5 % silice, dintr-un minereu cu o mica susceptibilitate magnetica si macinat foarte fin (5-10 microni).

Pentru minereurile oxidice si a celor carbonatice, sideritice, se foloseste prajirea magnetizanta. Aceasta implica transformarea oxizilor de fier nemagnetici, a oxizilor hidratati si a

carbonatilor, in oxizi puternic magnetici care pot fi separati deci cu un camp magnetic slab, cu ajutorul caldurii si a unei atmosfere potrivite.

Principalele metode de separare magnetica precedate de prajire sunt urmatoarele:

- reducere la  $Fe_3O_4$  urmata de o separare magnetica directa;
- reducere la  $Fe_3O_4$  urmata de reoxidare in aer la  $350^{\circ}$  cu formare de gamma  $Fe_2O_3$ ,

magnetic;

- reducere la fier metalic, fara topire urmata de separare.

Magnetitul se poate forma prin reducerea oxizilor sau oxizilor hidratati si prin descompunerea si reoxidarea carbonatilor de fier in atmosfera de echilibru, constituita din  $CO$ ,  $CO_2$ ,  $H_2$ ,  $H_2O$  la o temperatura de  $550^{\circ}$  sau mai mult.

In general, minereurile de magnetit cu granulatie mare nu prezinta greutatea in preparare si se prelucreaza dupa scheme simple in care intervin mai multe trepte de sfaramare si clasare (ciuruire) pana cand materialul este adus la dimensiuni favorabile separarii magnetice.

Skarnele cu magnetit se caracterizeaza printr-o ganga bazica si contin frecvent fosfor si sulf (ca sulfuri, in special pirita) care pune probleme, urmate de necesitatea recuperarii elementelor insotitoare. Astfel de minereuri dupa macinare se supun separarii magnetice, apoi concentratul brut obtinut se remacina si se supune unei noi separari magnetice. Din steril, prin flotatie se recupereaza elementele utile ce apar in sulfuri.

Minereurile limonitice se prepara prin spalare, urmata de o prajire magnetizanta. Din minereurile limonitice, prin flotatia slaurilor se poate recupera fier in proportie de aproape 40%.

Concentratele de pirita pot reprezenta si ele o sursa pentru producerea fierului. La prajirea lor pentru obtinerea dioxidului de sulf, necesar producerii acidului sulfuric, rezulta un "prajit" hematitic cu o extractie in fier de 90%. In Germania, se prelucreaza anual 2,3 milioane cenusi de pirita din care pe langa fier se obtine Zn, Cu, la ordinul zecilor de mii de tone si 1900 t de alte metale printre care amintim Co, Ni, Ag, Au, Cd, Tl, In.

## III 2. MINEREURI DE MANGAN

Minereurile de mangan din principalele zacaminte de pe glob sunt de tip oxidic. Ele contin: piroluzit (63%), psilomelan (49-62%), wad, manganit, braunit (63%), hausmanit (72%), rodocrozit (48%) si rodonit.

Minereurile extrase pot fi folosite ca atare sau se supun prepararii. In general, tehnologia de preparare include spalarea minereului sfaramat, concentrarea gravitacionala sau magnetica si flotatia slamurilor de la spalare.

Schemele de spalare si concentrare gravitacionala asigura o extractie de aproape 80% la prelucrarea minereurilor bogate, la un continut de 44-52% Mn in concentrat.

Pentru minereurile ce contin piroluzit si psilomelan se aplica separarea magnetica. Flotatia se aplica la prelucrarea slamurilor de la spalare si la imbogatirea concentratelor gravitacionale. Flotatia minereurilor de mangan necesita un grad inalt de dispersie a aerului; agitare moderata a turburelii. Ea poate fi selectiva sau colectiva. La alegerea schemei de flotatie se are in vedere:

- daca continutul carbonatilor nu depaseste 5% si inlaturarea fosforului nu decurge eficient, se aplica flotatia colectiva;
- atunci cand inlaturarea fosforului este eficienta, se practica flotatia selectiva.

## III 3. MINEREURI DE CROM

Importanta industrială pentru producerea concentratelor de crom prezinta cromitul. Cromitele (magnocromitul, crompicotitul si alumocromitul) sunt prezente in zacaminte de origine lichid magmatica, in asociatie cu roci ultrabazice. In general mineralul nemetalic ce insoteste cronispinelii in minereul de crom este serpentina, asociata uneori cu calcit, cuarț si chiar epidot,

clorit, etc. Alte minerale metalice care pot sa apara alaturi de cromspinelii sunt mineralele platinice si magnetitul care uneori este partial martitizat.

Zacamintele exploataabile de cromit din rocile peridotitice au continuturi intre 20-40%  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , pe cand concentratiunile de cromit din serpentinite au continuturi mai reduse, insa ele prezinta importanta prin compozitia lor complexa, Cr, Fe, Ni, Co, platinoide, ceea ce permite o valorificare completa si complexa a unor astfel de minereuri.

In functie de natura zacamantului exista doua orientari in ceea ce priveste tehnologia de valorificare:

- a. preparare mecanica prin metode gravitationale, uneori in combinatie cu flotatia;
- b. preparare mecanica combinata cu procedee hidrometalurgice.

In general, prepararea mecanica se aplica minereurilor de cromit compact, in timp ce tehnologiile combinate cu procese hidrometalurgice se aplica minereurilor sarace de crom din serpentinite.

O alta metoda de concentrare o reprezinta zetajul, aplicat in SUA pentru minereurile sarace de cromit. Minereurile sarace din Albania ce contin spineli cromiferi si serpentina se prelucreaza prin concentrare pe mese gravitationale si flotatie. Procedeele hidrometalurgice de concentrare folosesc drept agent de lesiere (dizolvare)  $\text{NaOH}$  si apa incalzita la  $80^\circ\text{C}$ . Inicial, astfel de minereuri care au continuturi de 2,6-4%  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , 52-55% Fe, 0,15-0,25% Ni+Co, dupa macinare trebuiesc peletizate si peletele sunt prajite intr-o atmosfera oxidanta la temperaturi de  $1000-1100^\circ\text{C}$ . In final dupa dizolvare, solutia se supune unor evaporari succesive pana la obtinerea unui recuperare de 98%  $\text{Na}_2\text{CrO}_4$ , ce poate fi utilizat direct in industria chimica. Peletele ramase dupa separarea (lesiarea) Cr contin 65-67% Fe si prin reducere cu cocs la  $1300^\circ\text{C}$  pot fi utilizate in otelarii.



### III. 4. MINEREURI DE NICHEL SI COBALT

Nichelul si cobaltul reprezinta doua metale care azi au larga intrebuintare in industria metalurgica. Dintre mineralele relativ numeroase de Ni, putine prezinta importanta economica: pentlandit, millerit, nichelina, gersdorffit, cloantit si garnierit. Primul loc ca importanta practica il ocupa pentlanditul (15-25% Ni) si garnieritul.

Dintre mineralele de cobalt, importante sunt : asbolanul, cobaltina (35% Co), enrina, glaucodotul, linneitul, si saffloritul. In minereurile de pirotina nichelifera cobaltul apare uneori strans asociat cu pentlanditul, formand varietatea numita cobalt-pentlandit. Se mentioneaza si recuperarea cobaltului indeosebi ca subprodus al mineralizatiilor de Ni, Cu si Ag.

Dintre zacamintele de nichel cele mai importante sunt concentratiunile asociate corpurilor de peridotite, komatiite, gabbroui. Aici nichelul este prezent ca sulfura de nichel (pentlandit) in asociatie cu pirotina si calcopirita. Pentlanditul se gaseste in pirotina si uneori in calcopirita.\*Mai sunt intalnite si gersdorffitul, cubanitul, iar ca mineral exogen, valeriitul, etc. Nichelul mai este prezent si ca substituent in olivina, unde intra in locul magneziului. Nichelul formeaza concentratii in masa serpentinitelor in care olivina a fost deja transformata; continuturile pot ajunge la 0,3% Ni. Masele de serpentinite din centura de serpentinite a zonelor de orogen contin Ni ce poate fi valorificat ca minereu sarac. Aceste serpentinite pot reprezenta o sursa de imbogatire in Ni in cadrul alteratiei reziduale. Daca in masa de serpentinite Ni este intr-o proportie de 0,3%, in concentratiunile reziduale el poate sa ajunga la 1,5-2,5%. Nichelul are o capacitate de migrare pe verticala destul de mare ; se concentreaza in partile inferioare, la contactul cu masa de serpentinite in curs de alterare. Magneziul si calciul au mobilitate mai mare si se concentreaza sub forma de carbonati. In partile superioare se concentreaza cobaltul si manganul generand asbolan. Cobaltul este fixat de mangan ca asbolan, iar nichelul este fixat ca silicati secundari de Ni, de tip garnierit.

Alte concentratii de Ni si Co sunt cele de tip filonian, in care aceste doua elemente se asociaza cu Ag, Bi si uneori U. Aici, nichelul si cobaltul sunt ca arseniuri, mineralele de cobalt predominand asupra celor de Ni.

Ni si Co in Romania. Romania nu este producatoare de nichel si cobalt, dar intensificarea cercetarilor geologice ca si progresele tehnologiei de preparare, ne fac sa credem ca va fi posibila valorificarea unor minereuri sarace, cum sunt cele din sudul Banatului. Analiza rocilor de aici a condus la urmatoarele rezultate: platina variaza in limite largi, de la 0,01-1,58 g/t pana la 7 g/t. nichelul 0,01-0,4% iar cobaltul 0,02%.

Regimul mineralurgic. Se deosebesc urmatoarele tipuri de minereuri industriale de nichel:

- a. sulfuri de Cu-Ni;
- b. minereuri de Ni-As;
- c. minereuri de silicati de Ni.

In etapa actuala se prepara doar sulfurile, metodele de preparare eficiente a silicailor de nichel fiind in curs de elaborare sau sunt folosite numai pentru minereuri cu continuturi ridicate.

O parte importanta a minereurilor ce contin peste 1% Ni si toate minereurile cu peste 3% Ni se supun topirii fara o preparare prealabila. Caracteristic pentru prepararea minereului de nichel este continutul scazut al concentratului (de obicei 3-6% Ni, maxim 10-15% Ni). Pentru prepararea minereurilor de nichel se foloseste sortarea prealabila a fragmentelor mari de minereu, sfaramarea selectiva, separarea magnetica si flotatia.

Minereuri de sulfuri. Prin separare magnetica se prelucreaza minereuri in care este prezenta pirotina in asociatie cu pentlanditul si calcopirita. Procedul principal de preparare a minereurilor de Cu-Ni este flotatia colectiva, prin care se obtine un concentrat de Cu si un concentrat de Cu-Ni.

Referitor la flotabilitatea mineralelor de nichel, pentlanditul si milleritul floteaza satisfactor cu xantati in mediu neutru sau slab alcalin. Pirotina floteaza satisfactor in mediu acid sau slab acid.

Problema principala care apare la prepararea minereurilor de nichel este separarea cuprului de nichel (ca minerale). Aceasta pentru ca nichelul prezent in concentratul de cupru se pierde in procesul de extractie metalurgica, pe cand cuprul prezent in concentratul de nichel poate fi in intregime extras.

La flotatia minereurilor se practica urmatoarele scheme:

- flotatie selectiva;
- flotatie colectiva fara separare in concentrate selective;
- flotatie colectiva urmata de separare si de extractia suplimentara a nichelului din sterilul

flotatiei.

Avantajul schemei cu flotatie selectiva directa este ca se obtine un concentrat de cupru relativ bogat, lipsit de nichel si un concentrat de nichel. Dezavantajul consta in activarea dificila a mineralelor de nichel depresate pentru flotarea mineralelor de cupru. Acesta schema este recomandata cand minereul contine mai mult cupru decat nichel, iar cuprul trebuie sa se extraga separat. Pentru separarea satisfacatoare a mineralelor de Cu se utilizeaza flotabilitatea mai redusa a mineralelor de nichel care pot fi depresate cu var; in acest caz flotatia cuprului are loc cu doze reduse de colectori.

Minereuri oxidice. In ultimul timp pentru recuperarea nichelului din minereuri silicaticice se practica procedee combinate ce prevad prajirea reductoare sulfurizanta urmata de prepararea prin flotatie, separare magnetica sau prin unele procedee hidrometalurgice. O rezolvare favorabila pentru asemenea minereuri consta in transformarea Ni in combinatii individualizate, la granulatii acceptabile pentru prepararea mecanica. Acest procedeu cunoscut sub numele de "segregare" da rezultate bune si pentru minereurile de cupru si pentru cele de nichel.

Din laterite cu continuturi de 0,97% Ni si 0,2% Co supuse prajirii reductoare cu monoxid de carbon la 350<sup>o</sup>-600<sup>o</sup> C , in prezenta adausului de pirita (pentru a preveni reactii secundare de

legare a nichelului cu mangan și siliciu), urmată de leșiere, Ni și Co trec în soluție, iar Fe și altele metale rămân în fază solidă. Ni și Co sunt extrase sau precipitate apoi din soluție.

*Minerurile de cobalt* și cele care conțin în secundar cobalt sunt foarte diferite după preparabilitate. Schemele de preparare a minerurilor de Co în funcție de componentii lor minerali și de dimensiunea acestora includ: alegerea manuală, gravitația, flotatia, separarea magnetică (directă sau după o prajire prealabilă).

Pentru unele mineruri nu s-a elaborat încă procedeul de preparare mecanică cel mai eficient și ele se supun direct prelucrării metalurgice. În această categorie intra minerurile oxidate de Cu, As purtătoare de Co și cele cu siliciți de Ni purtătoare de cobalt.

Condiția principală pentru obținerea unui concentrat de Co este ca mineralul să conțină minerale de Co cu conținuturi bogate în acest element. Dacă Co este prezent în mineral ca impuritate, de exemplu în pirita, cu toată simplitatea extragerii nu se pot obține concentrate bogate de Co.

Pentru a obține un concentrat bogat este necesar ca mineralul să aibă minerale proprii de Co cu granulație și însușiri fizice diferite de ale celorlalte minerale aflate în asociație. De aceea se întâlnesc situații când din mineruri cu 0,5% Co se obțin concentrate cu 8-10% Co și mineruri cu peste 1% Co nu se pot prepara.

Alegerea manuală se folosește atunci când mineralul conține specii minerale bogate în cobalt. Ea se practică la minerurile de Cu-Co din Zair, la extragerea minerurilor cu asbolan în SUA și la unele mineruri din Japonia. Atunci când granulele minerale sunt suficient de mari și când există diferența de greutate specifică între mineralele utile și de gangă se practică procedeele gravitaționale (zetajul, concentrarea în medii dense, pe mese, etc.)

Pentru prepararea minerurilor sulfurice și a arseniurilor de Co în mod frecvent se practică flotatia.

Din minereurile de Cu-Co se separa prin flotatie mineralele cuprifere, prin depresarea celor de cobalt. Depresarea de pirita si de mineralele de cupru se realizeaza prin aerare indelungata si prin folosirea de reactivi depresanti (var si cianura).

*Minereurile cu arseniuri de Co si Ni*, se prelucreaza dupa scheme ce cuprind macinarea, flotatia primara, doua flotatii de control si reflatia concentratului primar. De exemplu, din minereuri cu 0,25-0,5% suma Co-Ni-Bi se obtine un concentrat cu o extractie de 90% Co si Ni si 95% Bi.

Minereurile cu arseniuri de cobalt, insotite de argint nativ se prepara dupa scheme ce includ procedee gravitationale si flotatie. Se obtin concentrate care au 10-12% Co si 270-3000 g/t Ag.

*Minereurile de Cu-Co si Cu-Co-pirita* se pot imparti in minereuri ce contin minerale individuale de Co si minereuri ce contin pirita cobaltifera. Din primele se separa pirita de mineralele de cobalt; de pirita cobaltifera nu se poate obtine un concentrat individual ci se obtine un concentrat sarac cu 2-5% Co. La minereurile de Cu-Co trebuie realizata separarea Cu de Co, care se poate face fie mineralurgic fie metalurgic.

Recuperarea cobaltului din pirite se obtine in diverse tari prin procedee diverse. Astfel, in Germania, prin prajirea clorurata a piritelor se transforma in saruri solubile toate metalele afara de fier si prin reprecipitari succesive se asigura purificarea completa.

### III 5. MINEREURILE DE CUPRU

Cuprul este un metal cu mare cautare, el fiind necesar in majoritatea sectoarelor industriale, mai ales in electronica si electrotehnica. Minereurile cuprifere apartin unei largi diversitati de tipuri genetice de zacaminte, de la zacaminte lichid magmatice la zacaminte sedimentare.

Printre mineralele importante de cupru, din punct de vedere economic citam: calcopirita (34,6% Cu), calcozina (79,8% Cu), covelina (66,5% Cu), bornit (63,3% Cu), enargit (48,3% Cu),

tetraedrit (46,7% Cu). Dar nu numai aceste minerale din grupa sulfurilor au importanta economica, ci si cele din grupul mineralelor oxidice: cuprit (88,8% Cu), tenorit (79,9% Cu), malachit (57,4% Cu), azurit (55,3% Cu), chalcantit (25,5% Cu) si brochantit (56,2% Cu).

In raport cu natura lor mineralogica, minereurile de cupru pot fi divizate in :

A. Minereuri de sulfuri;

B. Minereuri oxidice.

Minereurile oxidice sunt specifice partilor superioare , oxidate ale zacamintelor primare de cupru.

Alegerea tehnologiei de concentrare a unui minereu de cupru este dependenta de considerente de ordin tehnic si economic. In general minereurile de sulfuri se prepara mecanic, iar cele oxidice prin procedee hidrometalurgice. Exista si cazuri, este drept destul de rare, cand minereurile au continuturi de cupru atat de ridicate incat nu mai necesita o concentrare prealabila, ci sunt trimise direct la topire.

A. Minereurile de sulfuri. Procedeeul cel mai raspandit de concentrare a minereurilor de cupru este flotatia (folosita in peste 90% din cazuri). In ultimul timp se pare ca aceasta cifra a scazut, datorita extinderii procedeelor hidrometalurgice de concentrare.

In raport cu modul de prezentare si cu particularitatile de asociere a mineralelor, elemente dominante in alegerea variantei optime de flotatie, minereurile de sulfuri se impart in :

a. Minereuri de impregnatie;

b. Minereuri de pirita cuprifera;

c. Minereuri polimetalice.

*Minereuri de impregnatie.* Schema tehnologica este urmatoarea: dupa ce minereul este sfaramat si macinat pana la finetea ce permite dezasocierea sulfurilor de cupru, materialul este dirijat la flotatie. In marea majoritate a cazurilor, concentrarea debuteaza printr-o flotatie primara ce permite indepartarea unei prime parti de steril si obtinerea unor concentrate brute. Acestea sunt

remacinate si reflate in doua sau mai multe circuite, dupa care, daca este economic se recupereaza ca subprodus molibdenitul sau aurul.

**Minereuri de pirita cuprifera.** Minereurile de acest tip constau dintr-o masa fundamentală de pirita (80% si chiar mai mult), uneori cu pirotina si marcasita, in care in cantitati subordonate este prezenta calcopirita. Alaturi de ea, in cantitati reduse apare enargitul, tetraedritul, bornitul, calcozina, covelina. Sunt frecvente de asemenea si metalele pretioase, in special aurul la continuturi valorificabile.

Dificultatile care survin in prepararea unor astfel de minereuri sunt provocate in special de existenta sulfurilor de fier. In prezenta ionilor de cupru ce provin din mineralele cuprifere si a acidului sulfuric rezultat din oxidarea piritei, sulfurile de fier sunt activate si floteaza in aceleasi conditii cu mineralele de cupru. Pentru depresarea piritei trebuie sa se imprime turburelii un caracter alcalin puternic (pH= 10-12). Dar intr-un astfel de mediu depreseaza si mineralele de cupru. Pentru a accentua depresarea piritei se adauga var si cianura. Inconvenientul este ca cianura depreseaza si aurul si are efect poluant, contaminand apele.

**Minerurile polimetalice.** Sunt alcatuite din sulfuri de Pb, Zn, Cu si uneori Mo. Dupa preparabilitatea lor se impart in:

- minereuri de cupru-zinc;
- minereuri de plumb-zinc;
- minereuri de plumb-zinc-cupru.

**Minereuri de Cu-Zn.** In constitutia minereurilor de acest tip intra: calcopirita, calcozina, blenda, pirita si pirotina. Prin concentrarea lor se urmareste obtinerea unor concentrate selective de Cu, Zn si de pirita. Problema cea mai importanta este obtinerea unor concentrate cuprifere cu continuturi de zinc cat mai mici, deoarece in metalurgia cuprului nu este dorita prezenta acestui element. Este un lucru dificil intrucat blenda se activeaza usor cu ioni de cupru si floteaza impreuna cu sulfurile de cupru.

Schemele de preparare care s-au pus la punct pentru flotatia minereurilor de Cu- Zn, urmeaza urmatoarea cale: extractia selectiva a concentratelor de Cu, Zn, pirita sau flotatia colectiva a sulfurilor, urmata de separarea unor concentrate selective.

*Minereuri de Pb-Zn-Cu.* Sunt alcatuite din blenda, galena, sulfuri de cupru alaturi de care se valorifica frecvent Au, Ag, Cd, etc.

Prepararea acestor minereuri cuprinde urmatoarele trepte:

- separarea mineralelor utile de cele de ganga;
- separarea mineralelor de Pb si Cu de cele de Zn;
- obtinerea unui concentrat de pirita evitand trecerea acestui mineral in concentratul de Pb si Zn;
- extragerea metalelor pretioase si a altor elemente insititoare.

Schemele cele mai uzuale sunt:

a. Flotatia selectiva directa care conduce la obtinerea succesiva a unor concentrate individuale de minerale de cupru, galena, blenda, pirita;

b. Flotatia colectiva a sulfurilor urmata de separarea concentratului colectiv in concentrate selective;

c. Flotatia colectiva a mineralelor de Pb si Cu, urmata de flotatia selectiva succesiva a mineralelor de Zn si a piritei. Initial, dupa depresarea blendei si a piritei se floteaza un concentrat colectiv de galena si calcopirita, iar din sterilul rezultat din aceasta treapta de flotatie se separa in continuare un concentrat de Zn si apoi unul de pirita.

Prepararea minereurilor de Pb-Zn-Cu in Romania se realizeaza in principal dupa doua scheme:

1. O dubla flotatie colectiva prin care se obtin concentrate de galena si calcopirita <sup>si</sup> de blenda si pirita, care se separa ulterior in concentrate selective individuale; aceste scheme se aplica la flotatia de la Baia Mare unde se prelucreaza minereurile de la Baia Sprie, Baiut, Ilba si Nistru.



2. Flotatia selectiv colectiva cu obtinerea initiala a unui concentrat selectiv de calcopirita si a unui concentrat colectiv de galena, blenda si pirita; aceasta schema este utilizata pentru prepararea minereurilor polimetalice metamorfozate, tip Lesul Ursului, Baia Borsa.

*Mimereuri cuprifere mixte sau oxidice.* In cazul oxidarii superficiale peliculara, a mineralelor de cupru se poate recurge la flotatie in mediu acid (ca la zacamantul El Teniente). Pe aceasta cale, pelicula de minerale oxidice de la suprafata granulelor de sulfuri se dizolva, acestea sunt in acest fel spalate si activate pentru o flotatie mai buna, iar metalul din mineralele oxidice trece in solutie, de unde este apoi precipitat.

Alte scheme de preparare pentru minereurile oxidice sunt:

- a. Flotatie dupa o sulfurizare a mineralelor oxidice, procedeu indicat pentru minereurile cu azurit, malachit, atacamit;
- b. Flotatie cu acizi grasi, sapunuri si uleiuri neutre pentru mineralele a caror ganga consta din silicati sau argila.

Procedeu L-P-F (Leaching-Precipitation-Flotation). Se bazeaza pe urmatoarele considerente:

- mineralele de cupru oxidice dintr-un minereu mixt (sulfuri si oxizi) au rezistenta mecanica diferita la sfaramare si macinare, operatii care le dezasociaza in particule foarte fine;
- fractia groba, predominant sulfurica se macina intr-un circuit secundar pana la granulometria corespunzatoare si se froteaza intr-un circuit pentru sulfuri;
- fractia fina de minerale oxidice se lesiaza cu  $H_2SO_4$  si in acelasi timp spala superficial granulele de sulfuri; di acest produs, cuprul este precipitat cu ajutorul unui burete de fier macinat fin.

Dificultatile care intervin constau din fabricarea unui burete de fier cat mai ieftin si mai eficient, obtinerea unei protectii anicorazive a echipamentului, diminuarea flotabilitatii unor minerale sulfurice, datorita prezentei acidului sulfuric.

Hidrometalurgia cuprului. Aceste procedee se folosesc atunci cand prepararea pe cale mecanica sau prin procedeul LPF nu este economica. Ele au fost initial folosite pentru minereurile oxidice sau mixte si apoi au fost extinse pentru recuperarea cuprului din haldele de steril vechi, din haldele de steril de la uzinele de preparare, din zacamintele cu continuturi scazute de metal, indiferent de natura mineralelor cuprifere.

In esenta, procedeul consta din extragerea cuprului din minereuri intr-o solutie apoasa din care se separa ulterior prin precipitare chimica sau electrochimica. Preluarea metalului de catre solutii se realizeaza prin reactii simple, de descompunere in cazul mineralelor oxidice si de oxido-reducere in cazul celor sulfurice. Ca solventi se folosesc: acidul sulfuric, solutii mixte de acid sulfuric si sulfat feric, solutii de clorura feric.

In hidrometalurgia minerelor de cupru intervin o serie de dificultati ceea ce face ca aceste procedee sa fie folosite numai in cazurile in care concentrarea prin flotatie nu este avantajoasa din punct de vedere tehnic si economic. O cale importanta ce tinde sa se contureze tot mai mult este cianurarea. Ea se aplica cu bune rezultate sterilului, materialului provenit din decopertari sau minerelor cu continut de 0,2-0,3% Cu.

O alta cale este lesierea bacteriologica, mai ales pentru minereurile de cupru sarace, fiind aplicabila atat in "situ" cat si in instalatii special amenajate.

### **III 6. MINEREURI DE PLUMB SI ZINC**

Minereurile de plumb si zinc au in majoritate un caracter complex, iar pentru valorificarea lor se foloseste in cele mai multe cazuri procedeul de flotatie. Totusi metodele gravitationale si-au pastrat o pondere mare in special pentru prelucrarea minerelor sarace. Alte procedee folosite sunt separarea magnetica, pentru unele varietati de blenda bogate in fier si pentru deferizarea unor concentrate de blenda dupa prajirea lor prealabila.

Minerurile de Pb-Zn se impart in:

- a. Mineruri sulfurice;
- b. Mineruri oxidice;
- c. Mineruri sulfido-oxidice.

**Mineruri sulfurice.** Acestea au de obicei un caracter complex deoarece ele contin Cu, Cd, Au, Ag. Mineralogic, compozitia lor este complexa, dar mineralele cu valoare industrială sunt: blenda, galena, pirita, metalele pretioase. Uneori, minerurile acestea pot fi monometalice (de plumb sau de zinc), dar cazul acesta este foarte rar. In general ele sunt polimetalice.

In minerurile sulfurice, componenta principala o reprezinta sulfurile, dar, in cantitati mici pot fi si minerale oxidice.

Minerurile de acest tip se prepara prin flotatie. In schemele de preparare un rol important il au si procedeele gravitationale de preconcentrare ca:

- prepararea minerurilor cu granulatie mare folosind separarea in medii dense;
- prepararea minerurilor cu granulatie marunta, folosind hidrocicloane de separare in medii dense;
- prepararea minerurilor cu granulatie mare si marunta folosind separatoare spirale.

Preconcentrarea gravitationala pe langa cresterea capacitatii si reducerea costurilor de prelucrare permite separarea din minereu a unor componente ce dauneaza flotatiei selective.

Zetajul, concentrarea pe mese gravitationale si pe sluisuri, se folosesc cu succes pentru extragerea metalelor nobile si a fractiilor mari de galena si minerale de cupru.

Procedee de preconcentrare. Acestea sunt:

- a. Zetajul;
- b. Concentrarea in medii dense.

a. Zetajul este folosit mai ales pentru preconcentrarea mineralelor functie de greutatea specifica, in urmatoarea ordine: la baza se acumuleaza galena, intermediar blenda, superior cuarțul, etc. Prin zetaj se elimina cantitati mari de steril.

b. Concentrarea in medii dense. Greutatea specifica a mineralelor de ganga (cuarț, calcit, etc.) variaza intre 2,5-3 g/cm<sup>3</sup>, iar a mineralelor de Pb, Zn, Cu intre 3,9-7 g/cm<sup>3</sup>. Deci mediul dens trebuie sa aiba o densitate de 3-3,5 g/cm<sup>3</sup>. Suspensiile utilizate au la baza ca material de ingreuire ferosiliciul, magnetit si chiar galena, dozate in asa fel incat sa se obtina densitatea dorita.

Procedeu este destul de sensibil, permitand separarea unor minerale a caror diferenta de greutate specifica este de numai 0,01.

Acest procedeu este mai eficace decat zetajul, el reducand pierderile de metal in steril.

Flotatia, ca procedeu de concentrare se realizeaza dupa mai multe scheme:

- flotatie colectiva, prin care toate metalele (Pb+Zn+Cu) se obtin intr-un singur concentrat;

- flotatie selectiva Pb; Zn; Cu; Py.

- flotatie colectiv selectiva: initial un concentrat de metale pentru eliminarea sterilului si apoi concentrate selective pentru fiecare metal;

- flotatie selectiv colectiva aplicata minereurilor polimetalice bogate in cupru. Initial se separa un concentrat de cupru si un concentrat colectiv de Pb-Zn.

Dintre alte procedee folosite pentru prepararea minereurilor complexe amintim separarea magnetica pentru extragerea unor varietati de blenda bogata in fier, pentru separarea altor sulfuri din blenda, dupa prajirea magnetizanta prealabila.

La prepararea minereurilor de Pb-Zn+/-Cu, trebuieresolvate urmatoarele probleme:

- separarea sulfurilor de mineralele de ganga;

- separarea mineralelor de Pb si Cu de cele de Zn;

- eliminarea posibilitatilor de trecere a piritei in concentratele de plumb si zinc si extragerea ei in concentrat individual;

- extragerea aurului, argintului si altor elemente insotitoare;

Separarea sulfurilor de mineralele de ganga decurge usor daca ganga este alcatuita din cristale mari (cuart si carbonati) si este dificila atunci cand sunt prezenti filosilicati care sunt antrenati in concentrat reducand calitatea acestuia.

Pentru extragerea concentratului de plumb trebuie separata galena de blenda. Separarea se face prin depresarea blendei in mediu alcalin cu solutie de cianura si sulfat de zinc.

Pentru extragerea concentratului de zinc este necesara separarea blendei de mineralele de fier. Dintre mineralele de fier cel mai usor se separa piroxina care se oxideaza. Greu se separa pirita si arsenopirita. Separarea sulfurilor de fier se poate face prin flotatie prealabila, inainte de flotatia blendei si prin flotare comuna urmata de separare.

Extragerea concentratului de pirita nu creaza greutate. In extragerea piritei, importanta prezinta metalele pretioase, in special aurul, care influenteaza prin prezenta sa tehnologia de preparare.

Metalele nobile se extrag satisfactor in procesul metalurgic, de aceea tendinta este de a le obliga sa se acumuleze in concentratele de Cu si Pb. O mare parte din aur este legat de pirita, iar extractia lui in acest caz depinde de produsul in care va fi antrenata pirita. In multe cazuri ea este antrenata in concentratul de Pb sau Cu. Daca nu, ea este depresata in procesul de flotatie si se poate extrage din steril. Uneori aurul se poate extrage din sterilul flotatiei, folosind sluisuri, mese de concentrare, iar cand continutul este ridicat, cianurarea.

*Minereuri oxidice si sulfido-oxidice. Minereuri de plumb.* Cel mai folosit procedeu este flotatia, dar greutatea specifica mare a mineralelor oxidice, granulatia mare ca si prezenta mineralelor argiloase determina ca rationala folosirea procedeelor combinate de flotatie si concentrare gravitacionala. Procedeul pirometalurgic si hidrometalurgic se folosesc atunci cand minereurile au un continut ridicat de plumbojarosit, ocru, minerale de mangan sau dolomit.

Cele mai importante minerale oxidice de plumb sunt ceruzitul, anglezitul, piromortitul si cu participare mai redusa vanadinitul, wulfenitul, crocoitul, etc.

In general, inaintea flotatiei minereurile sunt sulfurizate. Aceasta se realizeaza cu sulfura de sodiu. Cand minereul contine pirita sau marcasita care absorb sulfura de sodiu ele se depreseaza in prealabil cu cianura.

*Minereuri de zinc.* Minereurile oxidice de zinc au o compozitie complexa, concreștere intima a mineralelor de zinc cu cele de ganga, contin o cantitate mare uneori de oxizi si hidroxizi de fier, precum si de argila, ceea ce determina dificultati de preparare. Dintre mineralele oxidice de zinc, smithsonitul si hidrozincitul sunt prezente in minereuri cu ganga formata din carbonati (calcit, dolomit), pe cand calamina este asociata unor minerale de ganga acide, cuarțul.

Extractia zincului din minereuri oxidice se face prin flotatie cu colectori cationici sau cu amine.

Tehnologic, minereurile oxidice de zinc flotata cu amine se impart in urmatoarele tipuri:

1. Minereuri ce contin smithsonit si ganga de carbonati si nu sunt impurificate cu hidroxizi si oxizi de fier. Minereurile mai contin ceruzit, blenda, galena, pirita. Schemele de preparare prevad si separarea in medii dense a galenei, iar restul se supune flotatiei. La inceput se floteaza sulfurile apoi smithsonitul si ceruzitul.

2. Minereuri cu carbonati impurificate cu oxizi si hidroxizi de fier sau argila. Asemenea minereuri contin ceruzit, smithsonit, hidroxizi de fier, minerale argiloase si saruri solubile.

3. Minereuri cu carbonati-silicati ce au un continut ridicat de oxizi, hidroxizi de fier, argila. Contin ceruzit, calamina, smithsonit, intr-o ganga de silicati si carbonati. In asemenea minereuri circa 40% zinc este legat de hidroxizi de fier.

4. Minereuri cu silicati, in care zincul este prezent ca franklinit, calamina, zincit. Se floteaza dificil.

5. Minereuri oculo-argiloase, in care mineralele de zinc sunt in stare dispersa. Aceste minereuri nu se pot prelucra prin flotatie.

Pentru extragerea zincului din minereuri oxidice exista orientarea aplicarii unor procedee de prelucrare chimica prin dizolvare-precipitare.

Reactia de sulfurare a minereurilor oxidice se petrece astfel: se foloseste  $\text{Na}_2\text{S}$  care la suprafata ceruzitelui formeaza o pelicula fina de sulfura de plumb:



In felul acesta ceruzitul are in cursul flotatiei o comportare asemanatoare galenei.

#### Prelucrarea hidrometalurgica a minereurilor de Pb si Zn

Tratarea prin flotatie a minereurilor oxidate de zinc, conduce la pierderi relativ mari de metal. Din aceasta cauza s-au facut cercetari pentru recuperarea zincului din astfel de minereuri pe cale hidrometalurgica, pe doua scheme:

1. Lesierea amoniacala in care se foloseste hidroxidul de amoniu ca agent de lesiere;
2. Lesierea cu soda, in care (toate minereurile oxidate de zinc) agentul de lesiere este

NaOH.

Recuperarea zincului se realizeaza prin:

- electroliza sau hidroliza solutiei, caz in care se obtine zinc metalic;
- carbonatarea solutiei pentru obtinerea  $\text{ZnO}$ ;
- sulfurizarea solutiei pentru  $\text{ZnS}$ .

#### Tratarea minereurilor din haldele vechi

Minereurile din haldele vechi, in marea lor majoritate sunt constituite din galena, blenda, pirita, care au suferit un proces partial de oxidare: galena s-a transformat in ceruzit, blenda in sulfat bazic de zinc, pirita in sulfat si hidroxizi de fier. Tratarea acestor minereuri este dificila si in numeroase cazuri extractia in metal nu depaseste 45%. O operatie importanta aici este spalarea pentru eliminarea sarurilor solubile, in special a sulfatului feros si a particulelor argiloase. In

continuare se foloseste sulfurarea si flotatia. Procedul de flotatie folosit in cazul haldelor este dependent de compozitia mineralogica.

### III 7. MINEREURI DE AUR SI ARGINT

Minereurile aurifere ce se prelucreaza in prezent se deosebesc printr-o mare variabilitate compozitionala. Pe langa minereurile care contin numai aur se prelucreaza si minereuri complexe din care se mai extrage Cu, Ag, As, Sb, U, Ba, Bi, etc.

Tehnologia de prelucrare a minereurilor trebuie legata de felul in care este asociat aurul cu ceilalti componentii minerali, dupa care se deosebesc urmatoarele tipuri mineralogo-tehnologice de minereuri:

1. Minereuri cu aur nativ in cuarț, carbonati si alte minerale nemetalice; asemenea minereuri se prelucreaza prin procedee gravitationale urmate de amalgamarea concentratului gravitacional, cianurare, flotatie si din nou cianurarea concentratului.

2. Minereuri de aur nativ fin dispersat in sulfuri; astfel de minereuri sunt dificil de prelucrat, pentru ele fiind obligatorie flotatia urmata de prajirea concentratului si cianurarea lui.

3. Minereuri din zona de oxidare a zacamintelor cu aur nativ inclus in sulfuri. Din aceste minereuri aurul se extrage prin cianurare; atunci cand minereul mai contine sulfuri neoxidate se practica flotatia, urmata de prajirea concentratului si cianurarea lui. Pentru astfel de minereuri este caracteristica schimbarea tehnologiei in functie de gradul de oxidare.

4. Minereurile care contin telururi de aur, precum si aur nativ inclus in cuarț si sulfuri; tratarea unor astfel de minereuri se complica datorita necesitatii unor regimuri speciale de cianurare, pentru a se extrage separat telururile de aur. Atunci cand sunt prezente sulfuri, acestea se extrag separat intr-un concentrat colectiv (telururi de aur, sulfuri cu aur, aur liber) care se supune cianurarii dupa prajire.



Aceste patru tipuri de minereu se divid, dupa compozitia chimica in mai multe subtipuri: aurifere, piritaurifere, cuprifere-arsenifere, aurifer-cuprifere, aurifer-antimonioase, aurifer-uranifere, aurifer-polimetalice.

Minerurile aurifere cuartoase se prelucreaza prin cianurare directa, iar cele sulfurice dupa scheme ce prevad flotatia sulfurilor urmata de cianurarea mineralelor aurifere.

Tipul 1 este caracterizat de prezenta si unor cantitati mici de sulfuri ca pirita, arsenopirita, lollingit, pirotina, blenda, calcopirita, galena si ocazional bismut si stibina. O proportie mica de aur poate fi si in aceste sulfuri. Atat aurul cat si sulfurile au granulatie grosiera.

Tipul 2 poate fi subdivizat in:

2.a. Mineruri de aur cu sulfuri in care aurul este singurul metal valoros. Sulfurile pot fi pirita, pirotina, mai putin arsenopirita. Aurul si sulfurile au granulatie fina.

2.b. Aur cu sulfuri in mineruri polimetalice.

Modul de ocurenta a aurului in mineruri este dependent de timpul in care a fost depus, simultan sau subsecvent sulfurilor asociate sau a celor de ganga si aceasta este functie de temperatura la care s-a format. Cand aurul si sulfurile au fost depuse simultan, el apare ca incluziuni fine, cu dimensiuni in jur de de 0.01 mm, in sulfuri. Cand apare subsecvent sulfurilor, acestea sunt fisurate si aurul este ca umplutura a fisurilor si pe marginea granulelor. Cu mai mica extindere el substituie sulfurile. In acest caz aurul este mai grosier.

La macinare, cel din urma caz este mai favorabil, punandu-se in libertate o cantitate mai mare de aur, pentru ca exista tendinta de rupere a mineralelor de-a lungul fisurilor, in special pe liniile de contact dintre minerale cu duritate diferita si clivaj slab. Un astfel de minereu poate fi supus cianurarii imediat dupa macinare. Primul tip este un minereu refractar care necesita o prajire, pentru eliberarea aurului inainte de cianurare.

Distinctia dintre aceste doua tipuri in natura este dificila, pentru ca in majoritatea cazurilor, perioada de depunere a sulfurilor este suprapusa cu perioada de depunere a aurului, o parte din aur

fiind deus simultan cu sulfurile, o parte dupa ele. Majoritatea tipurilor de minereuri aurifere au ambele texturi si deci grade diferite de refractaritate.

Aurul care ocuira in particule micronice in piritita poate fi privit ca format pe planele cristalografice ale gazdei. Piritita care contine astfel de incluziuni fine este in mod obisnuit idiomorfa si foarte fragila si in cele mai multe cazuri arata rezistenta la oxidare. Unele incluziuni de aur de acest tip au o foarte slaba susceptibilitate magnetica si sunt rezistente la cianurare. Un astfel de aur este probabil anvelopat de un compus inca nedeterminat.

In cazul extrem de refractaritate, aurul ocuira ca particule cu dimensiuni submicroscopice distribuite in sulfurile contemporane ca perioada de depunere.

In multe minereuri aurul arata o pronuntata tendinta de a fi asociat cu un anumit mineral care serveste ca precipitant pentru aur sau care a fost deus in stadiul de mineralizare cand aurul atingea maxim de depunere. De exemplu la Bendingo-Ballarot (Australia), o anumita cantitate de aur tinde sa ocuira sub forma de cruste pe cristalele de ankerit. Intr-un numar mare de zacaminte de Pb-Zn tot din Australia este vizibila asociatia Au-tetraedrit.

Alteori, aurul este acoperit cu pelicule fine, in mod obisnuit oxid (hidroxid) de fier. Acest aur nu poate fi nici amalgamat, nici cianurat, pana cand aceste pelicule fine nu sunt eliminate prin macinare. De asemenea, aurul bogat in argint dezvoltita in anumite conditii o pelicula de clorura de argint redusa intr-un anumit grad la argint.

Minereurile care contin sulfuri de As, Sb sunt mai greu preparabile. Aici se practica scheme ce cuprind prajirea concentratului inainte de cianurare. Majoritatea schemelor sunt combinate si cu procedee gravitationale, eficiente in circuitul de macinare a aurului liber si a sulfurilor. Cel mai frecvent procedeu este zetajul. Pentru captarea aurului se mai folosesc si sluisurile.

**Amalgamarea.** Are la baza interactiunea dintre aur (argint) si mercur, ce are drept urmare dizolvarea sau aderenta aurului la mercur. Procedeu se aplica minereurilor care contin aur si argint fie in stare libera fie sub forma de impregnatii mai grobe. Pregatirea materialului in vederea

amalgamarii consta in maruntirea la dimensiuni de 0,5-1 mm, la care se considera posibila individualizarea tuturor granulelor de aur, necesara realizarii contactului cu mercurul. Tehnologia amalgamarii este diferita dupa cum minereul este bogat sau are un continut obisnuit in metal.

**Minereurile bogate.** Se considera bogate minereurile care au un continut de 1-10 kg Au la tona de minereu. Ele se colecteaza separat in mina si se supun tehnologiei de preparare discontinua ce cuprinde: sfaramarea lor la circa 20 mm si macinare in mori de constructie speciala in care se realizeaza si procesul de amalgamare. Aceste mori se incarca cu 30-40 kg minereu, mercur, si var si se pun in functiune timp de o ora, minereul macinandu-se sub 1 mm. Varul este adaugat pentru a contracara actiunea daunatoare a unor substante (uleiuri, grasimi) a caror prezenta are influenta negativa asupra procesului de amalgamare. La oprirea morii se constata o stratificare a sarjei: la baza este amalgamul, bilele si apoi turbureala ce contine in suspensie minereul macinat din care a fost extras metalul pretios. Se sifoneaza apoi aceasta turbureala, se adauga o noua cantitate de minereu si daca mai este nevoie si mercur si operatia se repeta. In final se scoate amalgamul, se spala, se preseaza pentru indepartarea excesului de mercur si se supune altor procedee pentru recuperarea pe cat posibil a metalului pretios.

**Minereuri obisnuite.** Acestea au un continut de cateva grame, rareori zeci de grame la tona si se prezinta sub forma unor asociatii de dimensiuni ce necesita o macinare avansata a materialului.

Minereul se poate macina in mori cu bile, cand este urmata de amalgamarea pe mese sau in steampuri cand amalgamarea incepe simultan cu maruntirea granulelor. Se adauga mercur in stemp, cam 1-2 g de mercur la un gram de aur. De o parte se de alta se monteaza doua placi de cupru de 3-5 mm grosime, pe care se prinde o parte din amalgamul format. Restul paraseste steampul printr-o sita impreuna cu turbureala, curgand pe o masa fixa, acoperita de asemenea cu o placa de cupru ale carei dimensiuni asigura o suprafata de amalgamare de 1-1,5 m<sup>2</sup>/t de minereu prelucrat pe zi

Placile de amalgamare ce acopera masa sunt netede; pentru indepartarea de pe suprafata lor a oricaror urme de impuritati ele se spala cu o solutie slaba de cianura alcalina.

În cazul în care macinarea se efectuează în mori cu bile, materialul este adus pe mese de amalgamare, care, pentru a asigura un bun contact cu particulele sunt supuse unei mișcări oscilante în direcție perpendiculară pe cea de scurgere a turburelii.

După spălarea și îndepărtarea excesului de Hg, amalgamul se supune distilării la 450° C, operație prin care se recuperează mercurul, iar aurul și argintul, împreună cu impuritățile antrenate în amalgam formează o masă cu aspect spongios denumită "aur ars". Aceasta se topește la temperaturi de peste 1200° C în recipiente de grafit cu adăugare de fondanți (borax, carbonat de sodiu), substanțe care au rolul de a forma deasupra topiturii un strat protector în care trec impuritățile rămase în masa de metal. După îndepărtarea acestei zguri, metalul se toarnă în lingouri de aur brut care sunt supuse apoi rafinării electrolitice.

**Cianurarea.** Este procedeul de obținere a metalului (Au, Ag) prin solubilizare în soluții slabe de cianuri alcaline. Această metodă se aplică la minereurile ce conțin metal prețios în stare liberă, dar de dimensiuni foarte fine, sub formă de asociații foarte fine sau sub formă peliculară pe suprafața altor particule minerale.

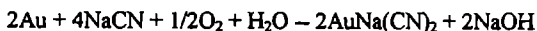
Tehnologia cianurării cuprinde următoarele etape:

A. Dizolvarea metalelor prețioase în soluție de cianură;

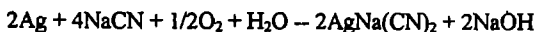
B. Precipitarea Au și Ag din soluții;

C. Prelucrarea precipitatului.

**A. Dizolvarea.** Se realizează în soluții diluate de cianură de sodiu sau potasiu, pe baza următoarei reacții chimice:



și similar pentru argint:



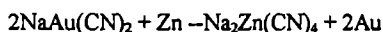
Nu orice mineralizație de aur și argint se poate prelucra prin cianurare, pentru că diferitele minerale se comportă diferit față de soluțiile de cianură. Astfel, sulfurile de Cu, Pb, Zn, Fe nu

reactioneaza cu solutia si deci nu vor impiedica procesul de dizolvare; in prezenta sulfurilor solubile, a mineralelor de As, Sb, a unor componente cu crom si mangan, cianurarea este impiedicata sau consumul specific de cianura creste exagerat. Daca se urmareste totusi cianurarea unor minereuri ce contin astfel de compusi este necesar un tratament prealabil (spalare in solutii alcaline, prajire, etc.).

Procesul de cianurare necesita prezenta oxigenului - lucru care se realizeaza atat prin participarea la reactii a aerului atmosferic cat si prin adaugarea unor oxidanti puternici ca  $KMnO_4$  sau  $MnO_2$ . De asemenea, oxidantii pot anihila actiunea unor substante daunatoare, dar trebuie evitat excesul lor care duce la un consum inutil de cianura. Procesul de dizolvare mai este favorizat si de incalzirea solutiilor de cianura.

Operatia de dizolvare a minereurilor se realizeaza prin doua modalitati, functie de granulatia acestuia: prin percolare, pentru materiale cu dimensiuni sub 0,5 mm si prin agitare, pentru material de dimensiuni foarte fine, sub forma de namoluri. La sfarsit, solutia de cianura bogata in aur si argint se separa de minereul lesiat prin decantare sau filtrare. Decantarea se realizeaza intr-o instalatie in care se efectueaza spalarea minereului, solutia imbogatita circuland in sens contrar celui de circulatie a apei de spalare. Filtrarea se realizeaza in filtre cu vid.

B. Precipitarea aurului si argintului. In majoritatea cazurilor aceasta operatie se face cu zinc metallic sub forma de praf. Reactia decurge in felul urmator:



In vederea realizarii precipitarii in bune conditii, solutia tehnica trebuie sa fie in prealabil dezaerata, sa aiba o concentratie constanta de cianura si o anumita alcalinitate. Consumul de praf de zinc este de 10-15 g/t pentru minereul aurifer si de 200-250 g/t pentru minereul argentifer.

C. Prelucrarea precipitatului. Precipitatele de aur si de argint sunt tratate cu o solutie de acid sulfuric 10 % pentru dizolvarea si indepartarea excesului de zinc si apoi sunt separate de solutia de spalare. Rafinarea in continuare a precipitatului se realizeaza prin topirea acestuia in

prezenta unor fondanti in recipienti de grafit, la peste 1000° C; impuritatile se elimina in zgura care se formeaza, iar metalul se toarna in lingouri brute. Acestea se supun in continuare unor operatii de rafinare electrolitica ce decurge in doua etape:

- depunerea argintului, electroliza avand loc in baie de azotat de argint; argintul se depune la polul negativ, iar aurul si impuritatile raman in baia de electroliza de unde se colecteaza aurul si se retopeste in lingouri cu puritate de 92-95 %;

- electroliza aurului, in care electrolitul este clorura aurica, iar aurul se depune la catod. Aurul astfel obtinut se topeste din nou si se toarna in lingouri.

O alta metoda de prelucrare a minereurilor de aur este flotatia. Aceasta, in comparatie cu cianurarea da posibilitatea sa se extraga si mineralele sulfurice insotitoare - de Cu, Pb, etc.- si asigura o extractie mai mare pentru argint.

*Minereurile aurifer-uranifere se prelucraza dupa doua scheme:*

- flotatia colectiva a aurului si uraniului urmata de cianurarea concentratului si lesierea acida a uraniului din sterilul cianurarii;

- cianurarea minereului, lesierea acida a uraniului din sterilul cianurarii si flotatia sulfurilor din sterilul lesierii acide.

Concentratele aurifer-piritoase obtinute din minereuri aurifere-cuprifere sau polimetalice contin de obicei putin aur. Aceste concentrate se cianureaza sau sunt dirijate direct catre uzinele de acid sulfuric fara a fi cianurate sau dupa o cianurare prealabila. Cenusile contin: 1-2 g/t Au, 5-10 g/t Ag, 0,3-0,4 % Cu, 45-50 % Fe, 5 % S. Aceste cenusi cu continut ridicat de metale nobile se folosesc ca fondant la topirea plumbului si cuprului, de unde se concentreaza Cu si Pb brut, care vor fi apoi extrase prin rafinare.

Extragerea aurului cu ajutorul bacteriilor. Acest procedeu a fost aplicat, pe langa procedeele chimice de extragere a aurului. Inceput acum 20 ani la Dakar, procedeul prezinta interes stiintific mai ales si, cel putin pana acum, mai putin practic. Incercarile de solubilizare s-au facut pe

aur fin, sub forma de pulbere si pe aur dintr-un minereu lateritic, de pe o masa argiloasa, unde aurul se prezenta sub forma de graunti microscopici sau ca pepite. Bacteriile folosite au fost din genul *Pseudomonas*. S-a constatat ca la inceput sunt 3-5 saptamani de latentă, dupa care se observa o crestere ascendenta, un palier constant pentru cateva luni si dupa circa 6-12 luni, un declin definitiv. Disolutia aurului necesita un mediu alcalin, iar procentul de metal extras este 65-82 %.

O alta experienta interesanta, realizata in Rusia, a aratat ca aurul din minereuri poate fi dizolvat de unele ciuperci (mucegaiuri), in limite ce merg pana la 30 % din continut.

### III 8. MINEREURI DE WOLFRAM

Fabricarea produselor finite, plecand de la minereurile de wolfram, trece prin doua cai metalurgice:

1. Producerea ferrotungstenului folosit ca sursa de W in elaborarea otelurilor speciale (cale, azi in declin);
2. Obținerea produselor wolframice (oxidul de wolfram, acidul wolframic), ce conduce la obținerea metalului.

Mineralele industriale de wolfram sunt wolframitul si scheelitul ce contin in principiu 65 %  $WO_3$  minim si 75 %  $WO_3$  maxim. Minereurile exploatabile au continuturi minime 0,4 %, in cele mai bune cazuri, 1-2 %  $WO_3$ .

Obținerea unui concentrat vandabil de scheelit sau de wolframit presupune separarea mineralelor valoroase de cele de ganga, utilizand diferentele de proprietati dintre ele. Mineralele de ganga in minereurile de wolfram sunt: cuarț, feldspat, calcit, apatit, diversi silicati, sulfuri, etc. Aceste proprietati utilizate in mineralurgia minereurilor de wolfram pot fi divizate in proprietati de masa si proprietati de suprafata.

Proprietati de masa. Aceste proprietati sunt: densitatea ridicata ( $6 \text{ g/cm}^3$  pentru scheelit si  $7,1-7,5 \text{ g/cm}^3$  pentru wolframit), care joaca un rol important in separarea gravimetrica si face din aceasta un procedeu de baza in mineralurgia W; fragilitatea, care este comuna atat scheelitului cat si wolframitului (nefasta atunci cand mineralele de ganga sunt mai rezistente. Ea poate fi folosita, este drept destul de rar, tinandu-se cont de reducerile de pierderi de W sub forma de particule foarte fine, in general greu recuperabile.

O alta proprietate este reprezentata prin susceptibilitatea magnetica. Scheelitul este diamagnetic si este clasat printre mineralele nerecuperabile, iar wolframitul este paramagnetic si poate fi separat usor in separatoare de intensitate mare. Potentialul mineralurgic al acestor proprietati trebuie sa tina cont in mod egal si de proprietatile mineralelor de ganga asociate.

Proprietati de suprafata. Printre acestea se numara aptitudinea de adsorbtie selectiva a anumitor molecule ce dau o suprafata hidrofoba. Din acest motiv, flotatia selectiva a scheelitului cu acizi grasi este cunoscuta ca un procedeu industrial de obtinere a concentratelor, dar flotatia wolframitului, care nu este bine stabilita pare realizabila.

Alte tipuri de proprietati de suprafata care au utilizare practica sunt:

- reflexia sau transmisia luminii naturale sau ultraviolete; scheelitul are o fluorescenta bleu-ciel in UV, in timp ce wolframitul se distinge prin culoare de ganga sa de quart.
- conductibilitatea electrica ce este utilizata uneori.

Alte produse din care poate fi extras W, sunt deseurile de wolfram, generate la fabricarea si utilizarea produselor finite, reprezentate prin deseurile de metale grele, prafurile de rectificare, reziduri amoniacale.

In concentrarea minereurilor de wolfram se disting trei etape:

- A. Preconcentrarea;
- B. Concentrarea;
- C. Epurarea.



**A. Preconcentrarea.** Aceasta operatie permite eliminarea, dupa o maruntire grosiera, a unei importante fractiuni de steril, inainte de efectuarea reducerii granulometrice pana la dimensiunea de separare a mineralelor de W. Se practica pentru dimensiuni ale particulelor ce variaza intre cateva zeci si 100 mm. Cel mai uzitat procedeu este cel gravimetric, prin separare in medii dense, intr-o suspensie fine de fero-siliciu, pe mese de concentrare sau pe jghiaburi. Alte procedee ce pot fi aplicate sunt separarea de cuarț prin luminiscenta uv, sortare manuala sau separare magnetica la inalta intensitate.

Schema de preconcentrare consta in obtinerea unui preconcentrat grosier cu un anumit continut de  $WO_3$ , a unui steril definitiv si a unei fractiuni fine, mai mult sau mai putin imbogatita.

**B. Concentrarea.** Aceasta poate fi uneori faza finala si se realizeaza:

- gravitacional, pe jghiaburi, pentru dimensiuni mai mari de 0,5-1 mm sau
- flotatia, folosita ca un complement al separarii gravitationale.

**C. Epurarea.** Aceasta are ca obiect inlaturarea ultimelor minerale ce acompaniaza pe cele de W : sulfuri, oxizi, diversi silicati. Scheelitul este adesea insotit de minerale calcice ce poseda un comportament similar in etapa de concentrare prin flotatie, precum calcitul, fluorina sau apatitul. Pentru epurarea concentratului de tungsten se folosesc tehnici variate ca flotatia, separarea magnetica fara sau dupa un tratament termic, separarea electrostatica. Daca scheelitul este concentrat prin flotatie si ramane putin calcit si apatit, cu o granulometrie  $< 0,1$  mm, acestea sunt eliminate prin spalare cu HCl sau  $HNO_3$ . Concentratul comercial trebuie sa aiba urmatoarele continuturi: 67 %  $WO_3$ , (tolerat 65 %), Sn, As, S, Cu, Mo 0,1-0,5 %, CaO 1,5% si 4 %  $SiO_2$ .

### III 9. MINEREURI DE MOLIBDEN

Molibdenul este un metal greu fuzibil care apare în diferite tipuri de concentrațiuni, în general de temperatură ridicată. Mineralele de molibden care au importanță economică sunt: molibdenitul, ferimolibditul, powellitul și wulfenitul.

După compoziție și textură, minereurile industriale de Mo sunt:

1. Minereuri de Mo;
2. Minereuri de Cu-Mo;
3. Minereuri de Mo-W.

Cel mai ușor se extrage Mo din minereuri în care este prezent sub formă de sulfură; din minereurile oxidice, extragerea Mo se realizează mai dificil și implică procedee hidrometalurgice.

Prepararea minereurilor molibdenice a caror gangă este cuarțoasă are loc prin flotatie, folosind un număr mare de refoțări, funcție de conținutul în Mo al minereului. Macinarea minereului decurge în mai multe stadii, concentratele primare fiind supuse remacinării și apoi refoțărilor. Se recomandă o macinare autogenă.

În timpul flotării trebuie să se depreseze cuarțul și o serie de sulfuri. Atunci când este prezent ca mineral de gangă, trebuie depresat și sericitul.

Pentru minereurile oxidice cu powellit, ferimolibdit și wulfenit se practică flotatia. Separarea de gangă, în special de carbonați se face prin depresare; aceasta implică o încălzire la 80-90° C, a turburelii de flotatie. Apoi concentratul se supune din nou refoțărilor, ajungând la un conținut de 10% Mo, în produsul final.

Prepararea minereurilor de Cu-Mo este concentrată mai ales în SUA, Canada, Chile. Caracteristic pentru uzinele ce concentrează astfel de minereuri este capacitatea mare și productivitatea ridicată.

În principiu, sunt două căi de separare a concentratului colectiv:

- depresarea molibdenitului, urmata de flotatia mineralelor de cupru;
- depresarea mineralelor de cupru si flotarea molibdenitului

Minereurile ce contin molibdenit, wolframit si scheelit se prepara dupa scheme combinate ce cuprind procedee gravitationale, flotatia si hidrometalurgia. Metodele gravitationale sunt eficiente pentru minereuri cu impregnatii de minerale mari. Functie de dimensiunea de impregnatie si de raportul continuturilor de W si Mo in minereu, se folosesc doua scheme gravitationale. La continuturi mari de W si impregnatii cu dimensiuni mari, procedeul gravitacional precede flotatia molibdenitului care se acumuleaza in concentratul gravitacional, iar la impregnatii fine trece in sterilul separarii gravitationale. La continuturi mari de Mo, ce depasesc pe cele de wolfram si atunci cand impregnatia este fina se folosesc scheme de flotatie prealabila a molibdenitului, urmate de separarea gravitacionala a wolframitului din sterilul flotatiei.

La prepararea minereurilor de Mo (+/-Bi) se folosesc fie procedee gravitationale la care mineralele de Bi sunt retinute in concentratul gravitacional, iar prin flotatie selectiva se extrage molibdenitul si bismutina cu impregnatie fina. De asemenea poate fi folosita si flotatia colectiv-selectiva.

### III 10. MINEREURI DE URANIU

Uraniul este la ora actuala unul din metalele cele mai cautate, data fiind marea importanta pe care o are in energetica. Principalele minerale de uraniu sunt uraninitul si pechblenda care au aceeasi compozitie chimica si aceleasi proprietati optice, deosebirea fiind de natura morfologica si genetica, ele aparand la temperaturi diferite. De asemenea, uraniul, la continuturi ridicate este prezent si intr-o serie de oxizi complecsi de tip euxenit, fergusonit, davidit.

Acestea sunt minerale primare de uraniu, in care acest element este in stare tetravalenta. Alte minerale, pe care le numim secundare, sunt prezente in zacamintele exogene si se formeaza pe

seama celor primare, au uraniu hexavalent, în combinație cu oxigenul, formând ionul uranil. În funcție de această împărțire a mineralelor de uraniu și procedeele de separare a acestora sunt diferite. Astfel, pentru mineralele primare se practică sortarea radiometrică, metodele gravitaționale, flotatia, etc., pe când pentru mineralele secundare metoda cea mai frecventă este leșierea cu acizi sau soda.

În vederea obținerii uraniului de puritate nucleară se parcurg, în general, următoarele etape de lucru:

- extractia minereului de U din mina (0,03-0,5 %);
- tratari fizice preliminare în vederea îmbogățirii minereului în component util și îndepărtarea sterilului. În urma acestei etape rezultă concentrate de uraniu cu conținuturi de 5 - 20 %;
- solubilizarea (leșierea) minereului concentrat, adică dizolvarea mineralelor cu conținut de U, prin leșiere acida sau bazica;
- separarea reziduiilor de minereu de uraniu de soluțiile sau pastele ce conțin elementul respectiv într-o formă solubilă;
- purificarea și concentrarea soluțiilor;
- obținerea uraniului metalic sau a unor compusi ai acestuia de puritate nucleară (dioxid sau hexafluorura de U).

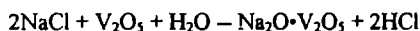
Cea mai importantă metodă de concentrare este cea hidrometalurgică. Inițial, minereurile de mai multe calități se amestecă pentru omogenizare. Urmează apoi o sfărâmare grosieră și o macinare fină a minereului. Cum mineralele de uraniu sunt mai fragile decât mineralele de gangă asociate, ele se vor sfărâma mai ușor, iar prin macinare rezultă o granulatie ce permite separarea de mineralele de gangă cu ajutorul unor site cu ochiuri de 0,1-1 mm. În practică se are în vedere să se facă o astfel de macinare (umedă sau uscată), astfel încât să rezultă o granulatie fină a minereului.

ca dupa tratamentul chimic sa se atinga un randament de transformare a uraniului in combinatie solubila, de cel putin 90%.

Alte procedee de concentrare sunt reprezentate prin flotatie, la care se spumantii folositi sunt uleiul de pin, alcoolii si fenolii si concentrarea gravitacionala care se realizeaza in medii dense, prin zetaj sau pe mese oscilante. Concentrarea minereurilor de uraniu mai poate fi facuta si pe baza proprietatilor radioactive, prin sortare radiometrica.

O alta operatie care se aplica minereului de uraniu macinat, este cea de prajire. Ea are ca scop distrugerea substantelor organice care pot deranja procesul de solubilizare si cel de filtrare. Temperatura de lucru trebuie sa fie de  $550^{\circ}$ - $600^{\circ}$  C, intrucat o temperatura mai mare atrage dupa sine reducerea uraniului de la starea hexavalenta solubila la starea tetravalenta, cu solubilitate mai scazuta.

Daca minereul de uraniu contine si vanadadiu, prajirea se realizeaza la  $850^{\circ}$  C in prezenta NaCl:



Prin acest tratament, produsul care se obtine devine solubil in apa sau in solutie de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  intr-o proportie de 70-80 %, fapt ce antreneaza si o cantitate considerabila de uraniu, realizandu-se in felul acesta o preconcentrare.

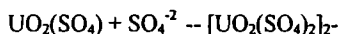
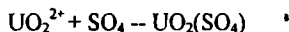
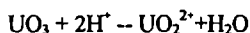
Metode de dezagregare (solubilizare). Scopul dezagregarii este trecerea uraniului din minereu in compusi chimici cu ioni uranil, ce sunt solubili in solutii apoase.

Pentru solubilizarea (lesierea) chimica a minereului de uraniu preconcentrat se apeleaza la o tratare chimica acida sau alcalina. Alegerea metodei depinde de tipul de minereu, deci de mineralele utile, ca si de cele de ganga. Ambele metode prezinta avantaje si dezavantaje. Astfel, o dezagregare acida necesita o macinare mai putin avansata a minereului, are un randament de extractie al uraniului marit si un timp de solubilizare mai mic, insa are actiune coroziva asupra

instalatiilor, iar neutralizarea solutiilor acide reziduale se realizeaza prin consum sporit de substante chimice. Dezagregarea alcalina are o selectivitate mult mai mare decat cea acida si nu antreneaza impuritati suplimentare in solutia rezultata si deci nu necesita operatii ulterioare de purificare. De asemenea, dupa un ciclu de solubilizare, reactivii folositi pot fi recuperati si refolositi pentru o noua dezagregare alcalina. Dezavantajele constau intr-o macinare mai avansata a minereului, deci un consum suplimentar de energie.

**A. Dezagregarea acida.** Acidul sulfuric este agentul chimic folosit in dezagregarea acida a minereurilor de uraniu cu continuturi mai ridicate. Daca continuturile sunt mai reduse, dezagregarea se realizeaza cu acid azotic.

Plecandu-se de la minereurile de uraniu pot fi urmarite urmatoarele reactii:



In felul acesta rezulta sulfati complecsi de uranil.

Oxidarea  $UO_2^{2+}$  (insolubil) la ionul uranil (solubil) se petrece conform reactiei  $UO_2 - 2e = UO_2^{2+}$ . Aceasta are loc in prezenta ionilor ferici ce se gasesc in mediul de reactie si care au rol de catalizator:  $UO_2 + 2Fe^{3+} = UO_2^{2+} + 2Fe^{2+}$

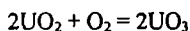
Oxidarea  $Fe^{2+}$  la  $Fe^{3+}$  pentru ca reactia sa continue se realizeaza prin introducerea unor substante oxidante ca  $NaClO_3$  sau  $MnO_2$ . Daca minereul de uraniu contine pirita intr-o cantitate mai mare, atunci in suspensia incalzita se trece oxigen la presiune de 10-12 kbari. In felul acesta se produce oxidarea sulfului din pirita la acid sulfuric. Unii cationi, ca cei de fosfor sau sulf pot bloca ionii  $Fe^{3+}$  cu rol de catalizator si aceasta duce la micșorarea randamentului de solubilizare chimica a minereului de uraniu. De asemenea, prezenta unor elemente chimice ca Ti, Mo deranjeaza solubilizarea minereului de uraniu cat si operatiile ulterioare de purificare a acestuia. Produsul de

solubilizare chimică a minereului este o suspensie în care uraniul a fost trecut în forma solubilă de sulfati complecși, într-o proporție de peste 90 %. Această suspensie se diluează cu apă și se filtrează. Filtratul obținut conține ioni de uraniu și se supune apoi concentrării și purificării pentru obținerea unor compusi chimici ai uraniului de puritate mai ridicată.

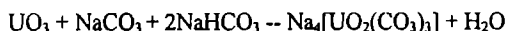
**B. Dezagregarea alcalină.** Acest procedeu se aplică minereurilor de uraniu ce conțin gangă bazică în cantitate mare. Dezagregarea se realizează cu un amestec de soluții de carbonat și bicarbonat de sodiu la un pH = 9,5-10. Ca mediu oxidant se utilizează permanganatul de potasiu și în mod frecvent oxigenul din aer. În urma solubilizării alcaline a minereului, uraniul trece în soluție ca anion de tricarbonat de uraniu.

Principalele reacții chimice care se produc la dezagregarea alcalină sunt următoarele:

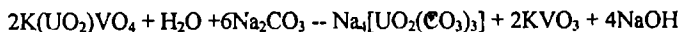
- dacă se pleacă de la pechblenda sau uraninit, oxidarea  $U^{4+}$  la  $U^{6+}$  se face pe seama oxigenului atmosferic, sub presiune:



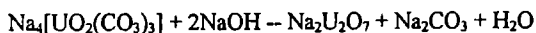
După această oxidare urmează dezagregarea alcalină propriu-zisă :



- dacă se pleacă de la carnotit, reacția decurge astfel:



După terminarea dezagregării alcaline se face filtrarea. Pentru ca soluția filtrată are o puritate avansată, în prezența unui exces de hidroxid de sodiu, la pH > 11 se poate precipita uraniul sub formă de diuranat de sodiu:



În felul acesta se obține un produs numit Yellow Cake, un concentrat galben, amestec de uranati cu conținut de 70-75 %  $U_3O_8$ , de puritate avansată ce poate fi livrat uzinei pentru prepararea uraniului metalic sau a dioxidului, carburii, tetra sau hexafluorurii de uraniu de puritate nucleară.

Purificarea și concentrarea soluțiilor. Pentru obținerea uraniului sau a compusilor săi de puritate nucleară, se impune o purificare avansată a suspensiei rezultate la dezagregarea alcalină. Fata de soluția provenită de la solubilizarea alcalină, suspensia provenită de la dezagregarea acida conține impurități de Fe, Cu, Pb, Mo, V, etc. Pentru purificarea avansată a suspensiei sau a soluției se recomandă utilizarea schimbătorilor de ioni sau extracția cu solvenți organici, imiscibili cu apa.

Alte metode de solubilizare. A. Solubilizarea bacteriană. Această metodă a fost folosită pentru extragerea și concentrarea uraniului în 1952 la Urgeirica, în Portugalia.

Apa de ploaie dizolvă lent mineralul de uraniu, iar procesul este catalizat de prezența mediului bacterian. În acest fel, bacteriile vor oxida sulfură din sulfura la sulfat în același timp cu oxidarea fierului bivalent la trivalent. Aceasta favorizează obținerea uraniului hexavalent, ca formă solubilă.

Cele mai importante bacterii folosite sunt cele care aparțin genului Thiobacillus (T. ferrooxidans, T. thiooxidans) sau Ferrobacillus ferrooxidans.

B. Solubilizarea cu solvenți. Minereul de uraniu este supus întâi macerării cu  $H_2SO_4$  și apoi se tratează cu o soluție concentrată de  $NH_4NO_3$ . Rezultă  $UO_2(NO_3)_2$  ce poate fi extras cu kerosen.

Obținerea uraniului din fosfați. În rocile fosfatice uraniul se găsește la conținuturi în jur de 60 g/t. În urma reacției dintre fluorapatit și acidul sulfuric, în soluție alături de acidul fosforic și acidul fluorhidric, trece implicit și uraniul. În precipitat, alături de sulfatul de calciu se găsesc și sulfati de raniu și de potasiu. Soluția se filtrează și se extrage uraniu cu solvenți organici.

C. Solubilizarea în "situ". Această constă în acțiunea apei freactice asupra minereului de uraniu. Purificarea și concentrarea unor astfel de soluții se face cu ajutorul schimbătorilor de ioni. Solubilizarea direct în mină se aplică minereurilor sărace în uraniu, caz în care metodele uzuale sunt nerentabile economic. Ea se realizează cu soluții diluate de carbonați și carbonați acizi de sodiu și amoniu.



Purificarea și concentrarea soluției rezultate de la dezagregarea acida a minereurilor de uraniu se realizează prin precipitare directă. Precipitarea se face cu hidroxizi ai metalelor alcaline și alcalino pământoase, sau cu apă oxigenată în urma căreia rămâne un precipitat de peroxid de uraniu hidratat.

Produsul comercial Yellow Cake este un amestec de săruri (diuranati și uranati) sau oxizi ce conțin uraniu la un conținut de 70-75 %. La livrare produsul trebuie să îndeplinească următoarele caracteristici generale: conținut ridicat în uraniu, umiditate sub 10 % din greutatea concentratului și să se prezinte sub formă de pudră fină sau granulară. Impuritățile limită ale produsului comercial sunt:

V 1 %, P 6 %, B 0,2%, As 2 %, Mo 0,6% Si 4 %. Concentratul galben nu este un material unitar din punct de vedere chimic. Pentru a putea fi folosit drept combustibil nuclear  $^{235}\text{U}$  sau  $^{238}\text{U}$  se cere uraniu metalic sau compusi ai acestui element de puritate nucleară. Din acest motiv, concentratul galben este convertit în  $\text{UO}_2$  sau în  $\text{UF}_6$ .

## BIBLIOGRAFIE

1. Amstutz, G. C.(1960)- A geometrical classification of basic intergrwth patterns of minerals. Am. Geol. Inst., Data Sheet 21
2. Bastin, E. S. (1950)- Interpretation of ore textures. Geol. Soc. America, Mem., 45.
3. Craig, J. R., Vaughan, D. J. (1981) - Ore microscopy and ore petrography. John Wiley & Sons. New York - Toronto.
4. Craiescu, I, Krausz, S., Sarbu, R., Constantin, D., Hanes, N. (1982)- Prepararea substantelor minerale utile. Editura Didactica si Pedagogica, Bucuresti.
5. Craiescu, I., Golcea, N., Guran, Ilie, P., Tataru S., (1988)- Mineralurgie. Editura Tehnica, Bucuresti.
6. Dobrescu L. (1977)- Preparabilitatea substantelor minerale utile. Editura Academiei, Bucuresti.
7. Edwards A.B. (1954)- Textures of the ore minerals and their significance. Australasian Inst. Mining Metalurgy, Melbourne.
8. Gaudin A.M. (1957)- Flotation. McGraw Hill, New York.
9. Hansen M.D., Won C. Park (editori) (1981)- Process mineralogy. Conference Proceedings, The Metalurgical Society of AIME.
10. Ilie P. (1978)- Regimuri de preparare a substantelor minerale utile. Editura Tehnica, Bucuresti.
11. Ilie P. (1989)- Flotatia. Editura Tehnica, Bucuresti.
12. Jain S.K.(1987)- Ore processing. A.A. Balkema, Rotterdam.
13. Ramdohr P. (1967)- The ore minerals and their intergrowths. Pergamon Press.
14. Tocaci L., Guran M., Mihailescu L., Ilie P., Golcea N. (1985)- Mineralurgie. Editura Tehnica, Bucuresti.
- 15.\*\*\* Chroniques de la recherche miniere (periodice)
- 16.\*\*\* Economic geology (periodice)

---

Tiparul s-a efectuat sub c-da nr. 197/1995  
la Tipografia Editurii Universităţii Bucureşti

---

VERIFICAT  
2017



VERIFICAT  
2007

# DATA RESTITUIRII

27 FEB 2002		
21 MAR 2005		
25 MAR 2005		

BIBLIOTECA CENTRALA  
UNIVERSITARA „CAROL I”



DE SPIRITU ET ANIMA

ISBN 973-575-047-3

Lei 3600