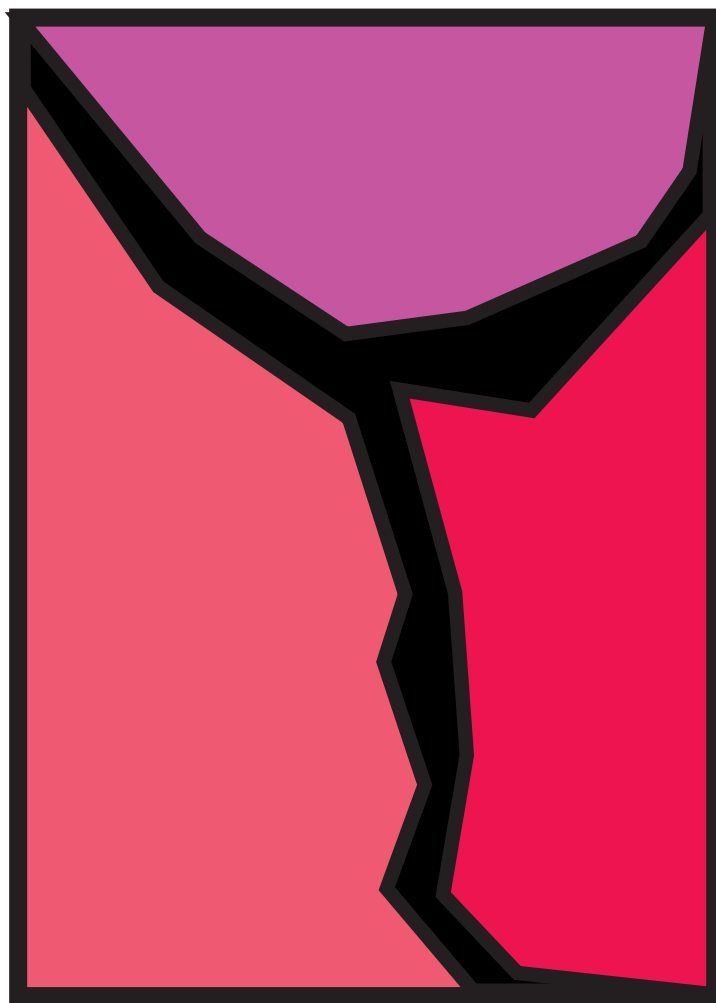


**НИКОЛА НАЧЕВСКИ
ИВАН МИТРОВСКИ**



Технологија на производство на метали

- учебник за III год. на геолошко-рударска и металуршка струка -

Скопје, 2013

Автори:

Никола Начевски

Иван Митровски

Рецензенти:

Д-р Благој Ризов, вон. проф.

Дипл. инж. Данчо Алексов

Дипл. инж. Миле Нацев

Лектура:

Славчо Пеев

Илустрајтор:

Никола Начевски

Издавач:

Министерство за образование и наука за Република Македонија

Печайи:

Графички центар дооел, Скопје

Тираж: 37

Со одлука бр.22-399/1 од 08.04.2013 на Националната комисија за учебници, се одобрува употреба на учебникот

CIP- Каталогизација во публикација

Национална и универзитетска библиотека „Св. Климент Охридски”, Скопје

669: 622. 3 (075.3)

НАЧЕВСКИ, Никола

Технологија на производство на метали: учебник за III год. на геолошко-рударска и металуршка струка / Никола Начевски, Иван Митровски, . -Скопје: Министерство за образование и наука на Република Македонија, 2013. -194 стр. : илустр. ; 26 см

ISBN 978-608-226-372-4

1. Митровски, Иван [автор]

COBISS.MK-ID 94278666

СОДРЖИНА

I дел ТЕХНОЛОГИЈА НА ПРОИЗВОДСТВО НА МЕТАЛИТЕ	1
Вовед	1
1. Механичка подготовка на рудата	3
1.1. Дробење	3
1.2. Мелење	6
1.3. Класирање	7
1.4. Обогадување	8
1.5. Хомогенизација	9
2. Металуршка подготовка	11
2.1. Брикетирање	11
2.2. Пелетизација	12
2.2.1. Особини на суровината за пелетизација (гранулација на честичките)	13
2.2.2. Облик на надворешната површина на основните честички	13
2.2.3. Квасливост на суровината и нејзината зависност од површинскиот напон на водата како врзувачко средство	14
2.2.4. Додатоци при пелетизирањето	14
2.3. Машини и уреди за формирање пелети	14
2.3.1. Барабан за пелетизација	15
2.3.2. Тава за пелетизација	16
2.4. Агломерација на руда и на концентрат	17
2.4.1. Суровини за агломерациониот процес	18
2.4.2. Гранулациска подготовка на суровините за агломерација	19
2.4.3. Подготовка на шаржата за агломерирање	20
2.4.4. Запалување на шаржата	20
2.4.5. Зони при процесот на агломерирање	21
2.4.6. Физичко-хемиски процеси при агломерирањето на рудата	22
2.5. Двајт-Лојдова машина за агломерација	23
3. Пржење руди и концентрати	24
3.1. Вовед	24
3.1. Калциначно пржење	24
3.1.2. Оксидачно пржење	25
3.1.3. Сулфатизачно пржење	25
3.1.4. Хлоридно пржење	26
3.1.5. Пржење со испарување	26
3.1.6. Редукцачно пржење	26
3.1.7. Агломерачно пржење	27

3.2.	Уреди за пржење	28
3.2.1.	Уреди за пржење железни руди и концентрати	28
3.2.2.	Уреди за пржење руди и концентрати на обоени метали	29
4.	Технологија на добивање метали	30
4.1.	Вовед	30
4.2.	Цел на металуршките процеси	33
4.3.	Хидрометалуршки процеси	33
4.4.	Електрометалуршки процеси	34
5.	Металургија на железото	35
5.1.	Историски преглед на развојот на црната металургија (железо и челик)	35
5.2.	Физичко-хемиски особини на железото	38
5.3.	Суровини за производство на железо	38
5.3.1.	Топигели	40
5.3.2.	Горива	40
5.4.	Добивање железо во висока печка	42
5.4.1.	Конструкција на високата печка	42
5.4.2.	Засип на високата печка, распоред на засипниот материјал и на гасовите	44
5.5.	Процеси на топење во високата печка	46
5.5.1.	Разложување на компонентите на засипот	47
5.5.2.	Редукција на железните оксиди	48
5.5.3.	Формирање троска	52
5.5.4.	Производи на високата печка (сурово железо)	53
5.5.5.	Прав и гасови од високата печка	53
5.6.	Добивање сурово железо во електро печка	55
5.6.1.	Состав на шаржата за електро печката	56
5.7.	Обработка на железото надвор од високата печка	58
5.8.	Десулфурација на течното железо надвор од високата печка	58
6.	Металургија на челикот	61
6.1.	Добивање челик во конвертори	61
6.2.	Видови суровини и нивна примена	62
6.3.	Бесемеров процес	63
6.4.	Томасов процес	65
6.5.	Кислородно-конверторски процеси	66
6.6.	Калдо постапка за преработка на железото во конвертор	69
6.7.	Рото-процес	70
6.8.	LD-АС процес	71
6.9.	Дезоксидација на челиците	72
6.10.	Обработка на течен челик во вакуум	72
6.11.	Сиенс-Мартинов процес	73
6.11.1.	Сиенс-Мартинова печка	75

6.11.2.	Технологија на добивање челик во Сименс-Мартинова печка	76
6.11.3.	Технологија на добивање челик со кисел Сименс-Мартинов процес	77
6.12.	Леење на челикот	78
7.	Металургија на обоените метали	81
7.1.	Поделба на обоените метали	81
7.1.1.	Современи процеси за добивање обоени метали	81
7.2.	Металургија на цинкот	83
7.2.1.	Особини на цинкот	83
7.2.2.	Руди и минерали на цинкот	83
7.2.3.	Добивање цинк	84
7.2.3.1.	Пирометалуршка постапка за добивање цинк	84
7.2.3.2.	Редукција, дестилација и кондензација	85
7.2.3.3.	Добивање цинк во шахтна печка (ISP процес)	85
7.2.4.	Рафинација на суровиот цинк	88
7.2.5.	Хидрометалуршко добивање цинк	90
7.2.6.	Пречистување на растворот	93
7.3.	Металургија на оловото	94
7.3.1.	Вовед	94
7.3.2.	Особини и употреба на оловото	94
7.3.3.	Минерали и руди на оловото	95
7.3.4.	Постапки за добивање олово	96
7.3.4.1.	Пржно-реакциска постапка за добивање олово	96
7.3.4.2.	Пржно-редукциска постапка за добивање олово	98
7.3.4.2.1.	Агломерационо пржење или синтерување на оловни руди и концентрати	98
7.3.4.2.2.	Хемиски реакции при агломерационото пржење	100
7.3.4.3.	Редукционо топење на оловен агломерат во шахтна печка	101
7.3.5.	Рафинација на суровото олово	104
7.3.5.1.	Рафинација на оловото според пирометалуршка постапка	104
7.3.5.1.1.	Одвојување на бакарот	106
7.3.5.1.2.	Одвојување на арсенот, на антимонот и на калајот	107
7.3.5.1.3.	Одвојување на среброто и на златото	109
7.3.5.1.4.	Одвојување на цинкот	111
7.3.5.1.5.	Одвојување на бизмутот	111
7.3.6.	Леење на рафинираното олово	112
7.4.	Металургија на бакарот	113
7.4.1.	Особини и употреба на бакарот	113
7.4.2.	Суровини за добивање бакар	113
7.4.3.	Постапки за добивање бакар	114
7.4.3.1.	Пирометалуршко добивање бакар	114
7.4.3.1.1.	Пржење на бакарните руди и концентрати	115
7.4.3.1.2.	Топење бакарен концентрат во пламена печка	116

7.4.3.1.3.	Топење бакарни руди во шахтна печка	118
7.4.3.1.4.	Преработка на бакренец – конвертирање	121
7.4.4.	Рафинација на бакарот	123
7.4.4.1.	Пламена рафинација на бакарот	123
7.4.4.1.1.	Уреди за пламена рафинација на бакарот	124
7.4.5.	Хидрометалуршко добивање бакар	125
7.4.5.1.	Постапка и уреди за хидрометалуршко добивање бакар	127
7.5.	Металургија на никелот	129
7.5.1.	Особини на никелот	129
7.5.2.	Руди и минерали на никелот	129
7.5.3.	Постапки за добивање никел	130
7.5.3.1.	Пирометалуршко добивање никел од сулфидни руди	130
7.5.3.2.	Добивање никел од оксидни руди	133
7.5.3.3.	Добивање фероникел од оксидна руда	134
7.5.4.	Хидрометалуршка преработка на никелова руда	135
7.6.	Металургија на алуминиумот	139
7.6.1.	Физичко-хемиски особини на алуминиумот	139
7.6.2.	Минерали на алуминиумот	139
7.6.3.	Баерова постапка за добивање Al_2O_3 – глина	140
7.7.	Металургија на магнезиумот	144
7.7.1.	Вовед	144
7.7.2.	Особини на магнезиумот	144
7.7.3.	Руди и минерали на магнезиумот	145
7.7.4.	Постапки за добивање магнезиум	146
7.7.4.1.	Постапки за електролитичко добивање магнезиум	146
7.7.4.1.1.	Карналитна технолошка шема за добивање магнезиум	147
7.7.4.1.2.	Хлор-магнезиумова шема за добивање магнезиум	148
7.7.4.1.3.	Мешовита шема за добивање магнезиум	149
7.7.4.1.4.	Добивање магнезиум од морска вода	149
7.8.	Металургија на калајот	151
7.8.1.	Особини на калајот	151
7.8.2.	Постапки за добивање калај	151
7.8.3.	Добивање калај од секундарни суровини	152
7.8.3.1.	Добивање калај од отпадни бели лимови	152
7.8.3.2.	Добивање калај од калајна треска	153

II дел МЕТАЛУРГИЈА НА БЛАГОРОДНИТЕ МЕТАЛИ 155

1.	Металургија на златото	156
1.1.	Вовед	156
1.2.	Руди и минерали на златото	157
1.3.	Особини на златото	157
1.4.	Легури на златото	158

1.5.	Постапки за добивање злато	160
1.5.1.	Подготовка на рудата за добивање концентрат	160
1.5.2.	Гравитациска концентрација	163
1.5.3.	Амалагамација	162
1.6.	Хидрометалуршки постапки за добивање злато	165
1.6.1.	Добивање злато и сребро со цијанизација	165
1.6.2.	Однесување на придружните метали при цијанизација на златото	166
1.6.3.	Примена на нецијанидни раствори	165
1.6.4.	Примена на раствори на халогени елементи	167
1.6.5.	Апсорпција со активен јаглен	167
1.6.6.	Добивање злато како меѓупроизвод при рафинирање на олово	168
1.6.7.	Добивање злато од аноден мил добиен при електролитичка рафинирање на бакар	168
1.6.8.	Рафинирање на златото и на среброт	169
1.6.9.	Добивање злато од златарски отпад	169
2.	Металургија на среброт	172
2.1.	Вовед	172
2.2.	Руди и минерали на среброт	173
2.3.	Добивање сребро	173
2.3.1.	Добивање сребро од оловно-цинкови руди	174
2.3.2.	Добивање сребро од аноден мил при рафинирање на бакар	174
2.3.3.	Добивање сребро со амалагамација	174
2.3.4.	Добивање сребро со цијанизација	174
2.3.5.	Рафинирање на среброт	174
2.4.	Добивање сребро од секундарни суровини	175
3.	Металургија на платината	177
3.1.	Руди и минерали на платината	177
3.2.	Добивање платина од платински метали	178
3.3.	Примена на плазмена технологија за добивање платина	179
3.4.	Добивање паладиум од секундарни суровини	180
4.	Прилог - Основни термини во екстрактивната металургија на железото, на челикот и на обоените метали користени во учебникот	183
5.	Литература	184

ТЕХНОЛОГИЈА НА ПРОИЗВОДСТВО НА МЕТАЛИТЕ

Вовед

Металургијата претставува наука која ги изучува сите операции неопходни да се добие чист метал од суровина, односно, легури погодни за користење во разни гранки на техниката. Според индустриската класификација, металите се делат на две основни групи, црни и обоени метали. Во црни метали спаѓа железото со сите свои легури, и тоа: сурово железо, челик, и феролегурите. Сите други метали претставуваат обоени метали кои уште се викаат нежелезни метали. Од сите произведени метали во светот преку 90% заземаат железото и неговите легури. Обоените метали се класифицирани на: тешки, лесни, благородни и ретки метали. Тешки обоени метали се: бакарот, оловото, цинкот, никелот и др. Лесни обоени метали се: алуминиумот, магнезиумот, берилиумот и др. Благородни метали се: златото, среброт, платината и др. Ретки метали се: индиумот, галиумот, талиумот, селенот, телурот, уранот и др.

Процесите при кои се вршат определени физички, хемиски и физичко-хемиски трансформации на рудата, со цел добивање метал, претставуваат металуршки процеси.

Во зависност од улогата на металуршкиот процес во технолошката постапка за добивање на металот како конечен производ, тој може да се подели во три групи:

- процес на подготовка на суровината;
- процес на добивање на металот;
- процес на рафинација на металот.

Процесот на подготовка на појдовната суровина (рудата) ги вклучува процесите на иситнување на појдовната суровина (дробење и мелење), процесите на концентрација (гравитациска, магнетна и флотација), како и процесите на металуршка подготовка (сушење, пелетизирање, брикетирање, пржење и др.)

Целта на процесот на подготовка на појдовната суровина се состои во подготовка на појдовната суровина во соодветна форма и концентрација на корисните компоненти, до определена содржина, со цел суровината да биде подготвена за понатамошна металуршка преработка.

Процесот на добивање на металот од концентрат ги вклучува процесите на топење, на конвертирање и на лужење, со цел да се добие таканаречен суров метал, кој содржи примеси од други метали.

Процесот на рафинација ги вклучува процесите на: ликвација, испарување, оксидација, екстракција и електролиза кои имаат за цел од суровиот метал да се добие метал со висока чистота.

Сите овие процеси, со оглед на условите при кои се изведуваат, може да се поделат во следните три групи:

- пирометалуршки;
- хидрометалуршки;
- електрометалуршки.

Пирометалуршките процеси претставуваат високотемпературни процеси. Со цел да се обезбеди висока температура за одвивање на овие процеси, се користат значителни количини цврсто, течно и гасно гориво. Во оваа група процеси спаѓаат: сушењето, пржењето, топењето, конвертирањето, оксидационата рафинација, ликвацијата, испарувањето и др.

Хидрометалуршките процеси се карактеризираат со тоа што се одвиваат во систем на цврсто-течно, односно, покрај цврстата фаза (руда), постои и течна фаза, воден раствор на некоја материја (реагенс). Хидрометалуршкиот процес претставува растворање на рудата со воден раствор на определен реагенс (киселина или база). Овој процес се изведува на температури до 100° С.

Електрометалуршките процеси се користат за добивање и за рафинација на металите. Во оваа група спаѓаат процесите за добивање метали од раствор или од растоп.

1. МЕХАНИЧКА ПОДГОТОВКА НА РУДАТА

1.1. Дробење

Смалувањето на гранулацијата на минералната суровина, односно, иситнувањето на минералната суровина претставува значајна операција во подготовката на минералната суровина. Иситнувањето има за цел да се зголеми содржината на металот во рудата со отстранување на јаловината.

Степенот на иситнување претставува однос на големината на минералната суровина пред и после иситнување и се изразува:

$$n = \frac{D_{\max}}{d_{\max}} \quad / m /$$

Каде: D_{\max} - среден пречник на најкрупните парчиња, пред вситнување /m/
 d_{\max} - среден пречник на наситните парчиња, по вситнување /m/

Иситнувањето на минералната суровина се врши со дробење и со мелење.

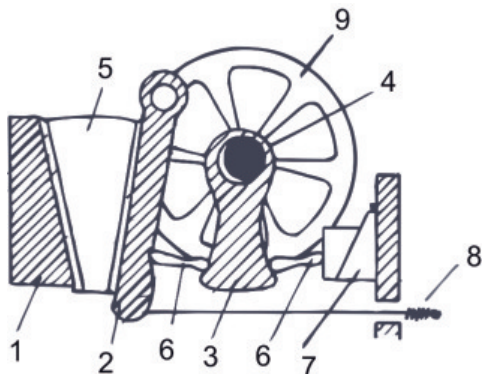
Дробењето е постапка која започнува со парчиња на минерална суровина со горна големина околу 100mm, и завршува со големина до 5mm. Мелењето се врши со иситнување на минералната суровина со гранична големина од 30mm, и завршува на околу десетина микрони.

Во зависност од големината на зрната на рудата по дробењето, разликуваме четири стадиуми:

1. крупно дробење – до гранулација од 100-300mm;
2. средно дробење – до гранулација од 40-60mm;
3. ситно дробење – до гранулација од 8-25mm;
4. мелење под 1mm.

Степенот на дробењето зависи од големината на парчињата, од тврдоста на дробената руда и од типот на дробилката. Има повеќе видови дробилки. Најмногу се употребувани: челусната, конусната, дробилката со валци и мелницата.

Челусната дробилка (сл. 1) се користи за крупно, а ретко за средно дробење. Таа се состои од две челюсти поставени под одреден агол, од кои едната е стабилна, неподвижна, а другата, подвижна. Подвижната челюст може да биде закачена на оска на горниот или долниот крај. Ако оската е на горниот крај, силата на дробилката е поголема, но издробениот материјал е со нерамномерна крупност бидејќи долниот отвор се менува.

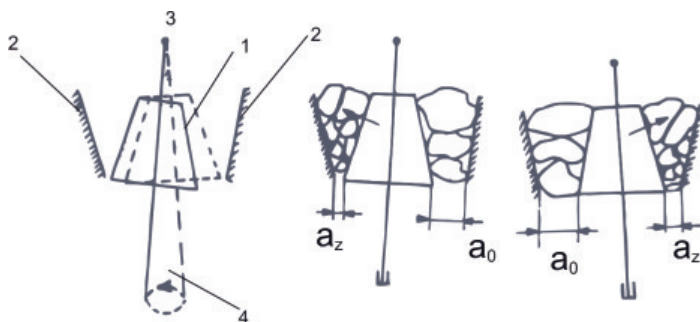


Слика 1. Челусна дробилка.

1. неподвижна плоча, 2. подвижна плоча, 3. лост
4. ексцентар, 5. странична плоча, 6. распон на плочи
7. регулатор, 8. цевка за стабилизација на системот
9. замаец.

Конусната дробилка се употребува поретко за грубо, а најчесто за средно дробење. Се состои од неподвижен дебелосиден прстен, кој претставува пресечен конус со широкиот дел надолу. Конусите се обложени со манганов челик. Движењето на внатрешниот конус се изведува така што на моменти се доближува, а на моменти се оддалечува од внатрешните ѕидови на надворешниот конус. При приближување кон ѕидовите на конусот се врши дробење на материјалот, а при оддалечување, се ослободува и паѓа надолу. Конусната дробилка (сл. 2), дроби истовремено како со притисок така и со триење. Таа има поголема производност и кај неа подобро се искористува енергијата отколку кај челусната дробилка бидејќи нема празен од. Конусната дробилка дава помал процент на ситнеж и прав на рудата. Како поголеми недостатоци на конусната дробилка може да се набројат:

- има посложена конструкција,
- потежок ремонт,
- потреба од висока просторија.



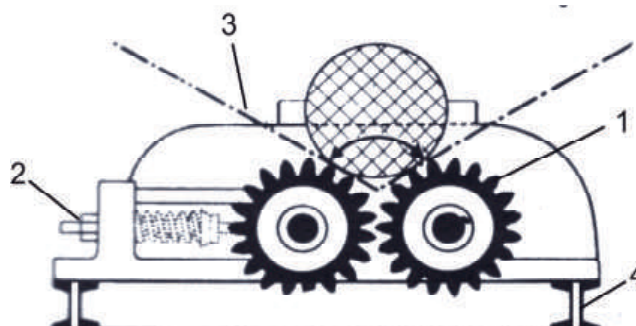
Слика 2. Шематски приказ на работа на конусна дробилка.

1. тело на дробилката, 2. облога на телото, 3. оска, 4. работен конус,
- a_z – минимален отвор при празен од на дробилката,
- a_0 – максимален отвор при празен од на дробилката.

Дробилката со валци се употребува за ситно дробење, најчесто за поцврсти материјали (сл. 3). Главниот дел се состои од два валјака со калена површина, поставени паралелно во хоризонтална состојба. При мелењето, се вртат спротивно еден на друг. За подобро зафаќање на материјалот, валците се избраздени. За дробење на жилави руди кои со гмечење не може да се иситнат се користат дробилки со назабени валци (сл. 4). Материјалот што може да го примаат валците треба да биде со големина 20 пати помала од нивниот дијаметар. Поради константниот отвор меѓу валците, издробениот материјал има порамномерна гранулација, отколку кај другите дробилки.

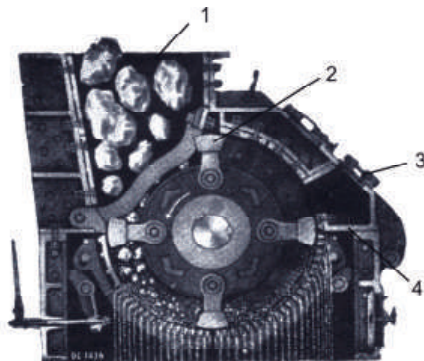


Слика 3. Шематски приказ на дробилка со валци.
1. валци, 2. облога на валците,
3. навои за регулација на растојанието меѓу валците,
4. заштитен федер.



Слика 4. Шематски приказ на дробилка со назабени валци
1. назабени валци,
2. механизам за регулирање на отворот меѓу валците,
3. агол меѓу валците,
4. фундамент на дробилката.

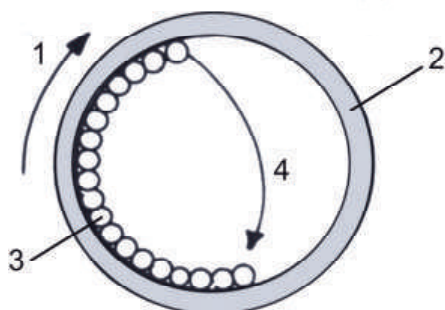
Дробилката со чекани (сл. 5) е наменета за дробење на покроти материјали (јаглен, варовник и др.). Кај овие дробилки дробењето се врши со удирање врз материјалот на подвижни чекани кои се вртат заедно со диск. Рудата, под ударот на чеканите, удира во куќиштето на дробилката и се одбива назад. Празнењето на дробилката може да биде слободно или низ решетка или преку перфорирана површина. На сл. 5 е прикажан пресек на чеканска дробилка.



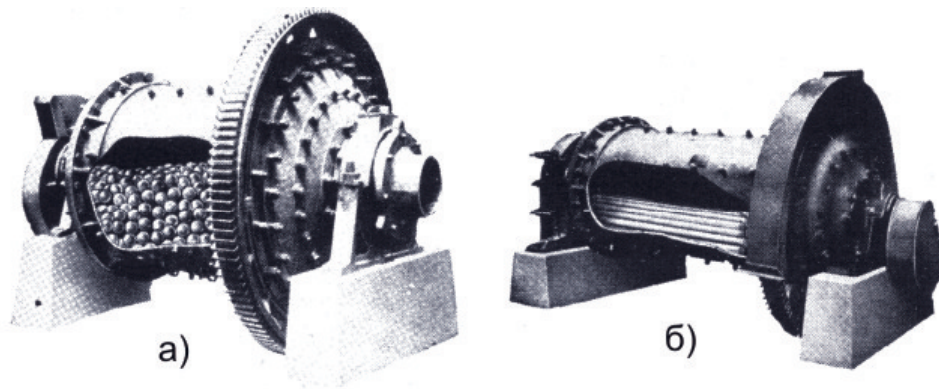
Слика 5. Пресек на чеканска дробилка.
1. отвор за влез на матерјалот, 2. челична облога,
3. решетка, 4. отвор за излез на материјалот.

1.2. Мелење

Мелењето претставува завршна фаза во процесот на отворање на минералната сировина – руда. Почнува од горната гранична големина (околу 30mm) и се изведува во уреди кои се викаат мелници. Мелењето може да се врши со сува или водена постапка, каде сировината може да се иситни до микронска големина на честичката. Иситувањето во мелницата се врши под дејството на силата на притисокот и силата на триењето предизвикано од заедничкото движење на рудата и телата кои мелат. Шематски приказ на движењето на телата кои мелат и рудата е прикажан на сл. 6. Како тела за мелење се користат челични топчиња или прачки. При вртењето на барабанот (сл. 7а и 7б), топчињата или прачките се преместуваат во барабанот, а неговата брзина на вртење се регулира така што дел од топчињата или прачките да паѓаат од горниот дел на барабанот. Другите топчиња или прачки остануваат во долниот дел од барабанот и со неговото вртење, се тријат меѓу себе и го мелат материјалот. Мелниците со прачки се со поголем капацитет, но даваат погруб производ.



Слика 6. Шематски приказ на движењето на телата во барабанот.
1. насока на движење на барабанот, 2. напречен пресек на барабанот,
3. челични топчиња, 4. насока на движење на топчињата.



Слика 7. Цилиндрична мелница.
а) со топчиња, б) со прачки.

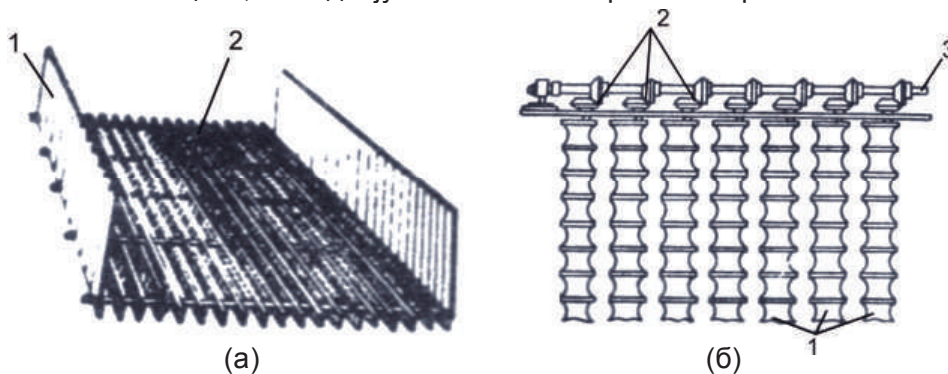
1.3. Класирање

По извршеното дробење и мелење, се преминува на класирање на рудите, т.е. нивно разделување на класи по гранулација. Овој процес се изведува со просејување. Класирањето се изведува во уреди кои се викаат класификатори. Улогата на класификаторите е да се одвојат доволно иситнетите честички од неиситнетите. Класификаторите се делат на суви и водени, во зависност од тоа дали работат во затворен круг со мелници за водено или суво мелење.

За просејување на суровината се користат различни конструкции на сита од кои најмогу се користат: сита со прачки, сита со валци, барабанести сита и вибрациски сита.

Стабилните сита со прачки (сл. 8а) во рамките имаат сместено челични прачки, обично со трапезен пречник. Прачките се меѓусебно поврзани, а меѓу нив се наоѓаат вметнатини за одржување на растојанието. Ситниот материјал проаѓа низ отворите меѓу прачките.

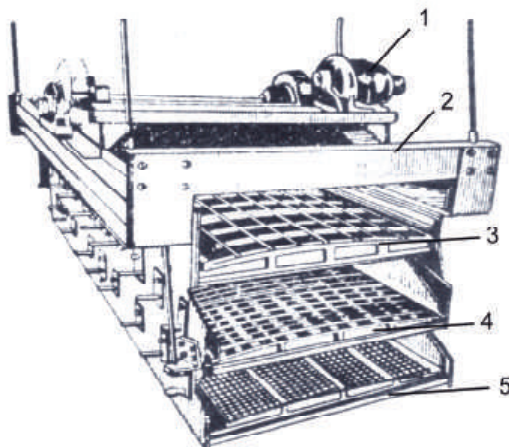
Ситата со валци (сл. 8б) имаат валци сместени во рамки, а валците се движат со мотор. Отворите на валците се во вид на калибри. Од материјалот кој се движи носен на валците, се издвојуваат ситните парчиња и пропаѓаат низ отворите.



Слика 8 (а. б.). Сито со прачки (8.а); Сито со валци. (8.б)

1(а). преграда, 2(а). прачки,
1(б). валци, 2(б). запченици, 3(б). оска.

Вибрационите сита (сл. 9) имаат рамки во кои се сместени ситата. Рамките, заедно со ситата, вибрираат вертикално на површината. Аголот на површината на ситата е од 10 до 35 степени, па поради тоа, материјалот со својата сопствена тежина се движи преку ситата. Бројот на вибрациите изнесува 1500 до 2000 во минута.



Слика 9. Вибрационно сито со три површини за сеење со различна гранулација
1. механизам за вибрирање на ситата, 2. рамка за ситото,
3. сито за крупно сеење, 4. сито за средно сеење, 5. сито за ситно сеење.

Материјалот се пропушта низ работна површина (сито) со определени отвори и под влијание на силата на тежината, одделни парчиња или зрна со помала крупност преминуваат низ отворите на таа површина. Материјалот, кој не поминува низ отворите на ситото, се вика горна класа или продукт на сито и скратено се бележи со +, а поминатиот материјал се вика долна класа или продукт под сито и се бележи со -. Како резултат на сеењето се добиваат најмалку два продукта. Сеењето може да биде суво и водено. Воденото сеење се применува за влажни и глинести материјали.

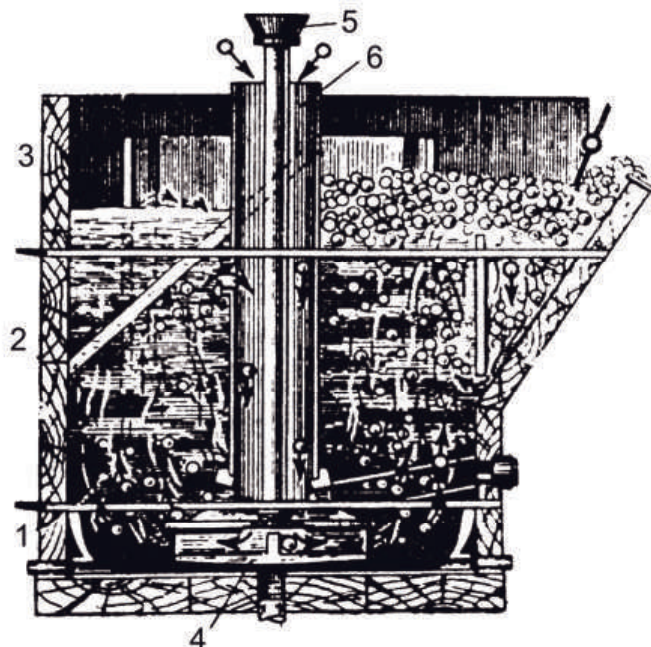
Во зависност од отворите на ситата, сеењето може да биде крупно, кога се користат сита со отвори над 50mm, средно, со отвори од 50 до 12mm, ситно, со отвори од 12 до 5mm и фино, со отвори од 5 до 0,075mm.

1.4. Обогадување

Обогадувањето има за цел да се зголеми содржината на металот во рудата со отстранување на јаловината. Дел од јаловината може да се отстрани со: рачно одбирање, миење со вода, водена сепарација и електромагнетна сепарација. Рачното одбирање се изведува врз база на различната боја и на специфичната маса на богатите и сиромашните руди. Миењето со вода се базира на фактот што јаловината има голем процент на песок и глина кои лесно се промиваат во вода. Рудата се мие во обртни, цилиндрични или конусни барабани.

За обогатување на рудите најчесто се применува процесот на флотација кој се изведува во флотациска машина (сл. 10). Суштината на процесот на флотација се

состои во тоа што при додаток на флотациски реагенси, одделни зрна (ситни честички од рудата) испливуваат на површината од водата заедно со пената; испливуваат хидрофобните зрна, т.е. зрната кои не се квасат со вода. На таквите ситни зрна се прилепуваат меурчиња од воздух, и честичките се издигнуваат или како што се вика, испливуваат, односно, флотираат на површината како воздушни меури. Хидрофилните зрна, кои се квасат со вода, не се прилепуваат на воздушните меури и остануваат во пулпата.



Слика 10. Шема на флотациска машина.
1. Зона на мешање, 2. зона на разредување, 3. зона на концентрација,
4. мешалка, 5. оска, 6. цевка за внесување на пулпата.

Процесот на флотација се засновува на две главни особини: квасење на површината на минералите и нивна апсорпција. Во процесот на флотација се упоредуваат различни реагенси кои се користат да го овозможат и регулираат самиот процес. Според начинот на кој дејствуваат може да се поделат на: колектори, пенливци, активатори и депресори.

Колекторите се органски материи чии молекули се апсорбираат на површината на минералот зголемувајќи му ја хидрофобноста.

Пенливците се органски материи што ја зголемуваат стабилноста на минерализираната пена која се состои од воздушни меури со минерални честички.

Активаторите се неоргански материи што ја менуваат површината на минералот и ја зголемуваат способноста за апсорпција на колекторот.

Депресорите се неоргански материи што ја спречуваат апсорпцијата на одредени минерали кои треба да се флотираат.

1.5. Хомогенизација

Процесот на хомогенизација на рудата има за цел да подготви поголема количина руда, која ќе има хомоген состав (физички и хемиски). Со хомогенизирана руда, печката најдобро работи. Тоа се изведува така што рудата се распростира во

слоеви еден над друг до образување форма на греда со триаголен напречен пресек, т.н. рудна греда. Рудните греди се со различна големина во зависност од количината на рудата и од големината на рудниот двор. Една рудна греда (рудно поле) може да има 10-15.000 тони руда. При хомогенизирање на рудата обично се креваат една до друга две греди, едната се користи, а другата се гради.



Слика 11. Распростирање на рудна греда (а – уред за распростирање на рудата, б – рудна греда).

Распростирањето на рудата се врши со специјални уреди (сл. 11) кои со ленти преку ракавци ја пренесуваат рудата, а со своето движење по должината на рудната греда во двете насоки постојано ја градат рудната греда.

Одземањето (празнењето на рудната греда) на рудата се врши со друг уред кој е еден вид багер. Тој се движи по посебни шини кои се под рудата. Ја одзема рудата од основата на гредата кон врвот на челната страна. Така се врши уште еднаш хомогенизирање по височина.

2. МЕТАЛУРШКА ПОДГОТОВКА

2.1. Брикетирање

Брикетирање се вика процесот на пресување ситни (20-0mm) и прашести руди и концентрати во парчиња со геометриски правилна и еднообразна форма. Брикетирањето е применувано многу поодамна од агломирањето. Но со појавата на агломерацијата, тоа изгубило многу од своето значење. Главната причина за тоа се неговите повисоки производни трошоци и помалиот капацитет на производство, како и некои слаби особини на брикетите. Брикетите се покомпактни и послабо редуktivни. Освен тоа, брикетирањето не дава можност за отстранување на некои од штетните примеси, како што се: S, As, CO₂ и др.

Основните фактори од кои зависи добивањето брикети со добар квалитет се: притисокот при пресувањето, гранулацијата на материјалот, влажноста, количината и видот на врзувачките средства, условите на сушење и на загревање на брикетите. Добиените брикети треба да исполнуваат одредени услови:

- да бидат постојани на високи температури и притисок,
- да се отпорни на влага,
- да се побогати со метал,
- да имаат минимална порозност.

Во основа, разликуваме два вида брикетирање:

1. Брикетирање без употреба на врзувачко средство, каде се бара повисок притисок (73,50-196МПа) за да можат брикетите да бидат со бараната цврстина. Јакоста на овие брикети ретко надминува 0,98-1,50МПа. Затоа, за нејзино зголемување, брикетите се жарат до определена температура, при што материјалот се спечува и стврднува.

2. Брикетирање со употреба на врзувачко средство, каде се употребуваат различни видови врзувачки средства: органски и неоргански. Најчесто употребувани се: разни видови смоли и катрани, цемент, водено стакло, магнезиумхлорид, гипс, вар и др.

Производството на брикети се состои од неколку последователни операции, од кои најважни се: подготовката на рудите, смешувањето и пресувањето.

Подготвување на рудите опфаќа: мелење, сушење и навлажнување на рудата до бараниот оптимален процент на влага. Мелењето е неопходно бидејќи здрави брикети се добиваат само од многу ситни и хомогени руди.

Формата на брикетите може да биде различна. Обично, по пресувањето, брикетите треба да престојат извесно време во покриено складиште додека ја добијат својата конечна цврстина.

Во зависност од методот на брикетирање и од неопходниот притисок за пресување, во пракса се користат најразлични конструкции на преси за брикетирање: со валјаци, со ударно дејство, со пиштоли, хидраулични, со пресување од една или две страни и др.

2.2. Пелетизација

Големиот развој на металургијата ги исцрпува во богатите наоѓалишта светот, а во исто време бара пат за подобро обогатување на рудите. За да се изврши подобро обогатување, рудата се подготвува по пат на дробење и фино мелење. Овој фино сомелен концентрат бара нови методи за ефикасно окрупнување бидејќи при агломерацијата се наидува на поголеми тешкотии.

Метод, кој во последно време наоѓа сè поголема примена во светот, е пелетизацијата. Произведените пелети на железните руди наоѓаат примена во производството на сурово железо. Високите металуршки особини на пелетите доведуваат до подобрување на техничко-економските показатели на топилничките печки.

Пелетизирањето претставува еден вид коагулација во тврда фаза, т.е. спојување на најситни рудни честички (рудничка прав, ситнозрнести железни концентрати и сите други ситнозрнести железни носители кои доаѓаат на преработка) во одделни коагулати, наречени пелети.

Пелетите имаат приближно форма на топчиња со пречник од 15-25mm. Сферичната форма на пелетите се должи на продолжителното тркалање на влажната ситна руда по една цилиндрична рамна или конусна површина.

При тркалањето се образуваат примарни мали топченца-зародиши, кои постепено нараснуваат до значителни размери поради налепувањето на нов материјал по површината. Поради продолжителното тркалање, тие добиваат и извесна јачина.

Воведувањето на тој метод во металургијата на железо и обоени метали се наложило, главно, поради тешкотиите кои ги предизвикуваат многу ситните руди и концентрати при агломерацијата. Јасно е дека намалувањето на гасопропустливоста на агломерационата смеса ја намалува вертикалната брзина на агломерација, а со тоа, и производноста на агломерационата машина, односно, и процесот поскапува.

Ситните концентрати не само што не можат да се избегнат туку нивното количество со текот на времето сè повеќе се зголемува заради користењето на сè посиромашните руди чие обогатување бара најфино мелење.

Основите на пелетизирањето се од крајот на минатиот и од почетокот на овој век. Првите испитувања потекнуваат од Шведска, а Шведска и САД се земји кои први поставиле индустриски постројки, кои се пуштиле во експлоатација во 1951 год. Денес во светот работат постројки за пелетизација со капацитет од неколку стотини, па до 7-8 милиони тони годишно.

Треба да се напомене дека уделот на пелетите во засипот за производство на сурово железо денес е прилично голем. Во некои земји, на одделни печки изнесува и преку 65%.

При образувањето на пелетите влијаат значителен број фактори кои се најчесто меѓусебно поврзани. Оптималните услови за работа на уредите за пелетизирање се наоѓаат речиси исклучително по емпириски пат и се разликуваат за различни суровини. Првите теоретски објаснувања се дека пелетите се образуваат поради механичкиот притисок на честичките врз подлогата.

Основни причини за образување пелети се површинското напрегање на течноста (водата) и капиларната сила во капиларите, образувани од честичките на концентратот во пелетот. Овие теоретски набљудувања се надополнуваат едно со

друго. Во еден капилар, кој е делумно наполнет со вода, напонот на горната површина на водата во порите произведува напон на привлекување кој на пелетите дејствува како притисок однадвор. Истовремено, со тркалањето се раздвижуваат и зрната на рудата за градење пелети, зрна кои тесно се припираат на пелетот и меѓусебно се држат. Утврдено е дека меѓу капиларните сили и јакоста на притисокот на пелетите има линеарна зависност. При пелетизирањето на различни концентрати утврдено е дека врз јакоста не влијаат единствено капиларните сили туку и механичките. При тркалањето се јавуваат транслациони и вибрациони движења и се зголемува подвижноста на честичките на концентратот што помага за намалување на растојанието меѓу зрната, т.е. за намалување на радиусот на капиларите во пелетите и за зголемување на капиларната сила. Поради заедничкото дејство на ефектот при тркалањето и на капиларните сили, се постигнува јакост на пелетите и во исто време, настанува движење на водата кон површината на пелетите, што е услов за нивно нараснување. Постапката пелетизирање се изведува во две фази, кои го обележуваат патот од суровите, до готовите жарени пелети способни за примена во топилницата за железо и обоени метали. Тие две фази се: прва фаза, добивање сурови пелети, т.е. обликување на ситнозрнестата суровина во топчиња (пелети); втора фаза, стврдување на пелетите по пат на жарење (печење) на суровите пелети.

2.2.1. Особини на суровината за пелетизација (гранулација на честичките)

Големината на честичките на дадената суровина претставува значаен предуслов при определувањето на постапката за нејзината преработка. Материјалот за пелетизирање не треба да содржи покрупни зрна од 0,15mm, а треба да содржи 90% зрна под 0,075mm и максимална количина фракција под 0,060mm.

Меѓутоа, вакво барање не важи за сите суровини, и фиксно правило во поглед на горната граница на големината не може да се постави. Значењето на факторот гранулација на суровината произлегува поради тоа што поврзувањето на честичките на рудата во топченца при пелетизирањето се врши со незначително учество на механичките сили, а главно врзувачко дејство врши водата. Доколку честичките имаат поголема квазлива површина и сврзувањето е поголемо. Значи, колку долната граница на гранулацијата се приближува повеќе до нула толку поуспешно се спроведува пелетизирањето.

2.2.2. Облик на надворешната површина на основните честички

На ефикасноста на пелетизирањето, т.е. на механичкото вклопување на одделните минерални честички при образувањето пелети големо влијание има и обликот на надворешната површина на основните честички.

Поволен е неправилен облик на честичките, иверест и кукаст. Концентрати кои имаат јасно светликов плочест облик, како и оние со валчести честички, тешко можат да се пелетизираат.

Тешкотии при пелетизирањето предизвикуваат и некои видови пиритни изгореници, особено оние кои биле во директен допир со пламен. Кај тој материјал дошло до заоблување на рабовите, а потребна е рапава површина на честичките.

2.2.3. Квасливост на суровината и нејзината зависност од површинскиот напон на водата како врзувачко средство

Квасливоста е една од природните особини на материјата. Се карактеризира со аголот на квасаење. За практични цели, може да се одреди со мерење на времето потребно слој од дадена суровина да се накваси, до одредена длабочина. Пред пелетизирањето, суровината треба да има добра квасливост за да може поврзувањето на зрната во топче да се изврши полесно и подобро.

Врзувачкото дејство на водата се засновува на површинскиот напон, односно, на вишокот слободна енергија, на границата на течната и цврстата фаза. Според тоа, со зголемувањето на површинскиот напон на водата, со додавање определени неактивни материји, доаѓа до зголемување на врзувачкото дејство на водата. За успешно пелетизирање, влажноста на концентратот треба да е до 5% пониска од оптималната влажноста на пелетите.

Големо влијание врз процесот на образување пелети има и начинот на додавање на водата. За да се образуваат зародиши на пелети, неопходно е да се додава тенка струја на вода врз слој концентрат. За растење на пелетите, неопходно е површината да се навлажнува со вода.

2.2.4. Додатоци при пелетизирањето

При самиот процес на пелетизирање, најбитна е манипулацијата со суровините, а посебно со сушените пелети, пред жарење. За да можат влажните пелети да ги издржат транспортот и загревањето при жарењето, потребно е да имаат доволна отпорност на: притисок, паѓање, удар и абење, како и да го издржат брзото наголемување на температурата.

Се смета дека влажните пелети се доволно јаки ако се со дијаметар од 1cm и ако издржат притисок од 0,9kg тежина, и ако не се распаѓаат при паѓање од висина од 600-900mm. За зголемување на цврстината на суровите пелети, при пелетизирањето на концентратот, му се додаваат разни додатоци.

Разликуваме две групи додатоци. Првата група ја прават органските материји, како: скроб, декстрин и др. Во втората група спаѓаат цврсти или растворени неоргански материји: CaO, CaCl₂, NaCl, бентонит и глина.

Органските додатоци поволно влијаат на цврстината на суровите пелети, но при сушењето, тие изгоруваат. Додавањето сиромашни руди со поголем процент на Al₂O₃ поволно влијае на цврстината на суровите и на сушените пелети, а неповолно на цврстината на жарените пелети.

При пржењето на овие пелети, доаѓа до врзување на честичките преку троската од јаловината. Бентонитот претставува глина со 20-25% Al₂O₃ и 60-65% SiO₂, која се користи како средство за врзување во количина од 0,25-1,5%.

2.3. Машини и уреди за формирање пелети

Производството на пелети се состои од следниве операции:

- добивање сурови пелети,
- сушење на пелетите, 300-600°C,
- печење на сушените пелети, 1100-1200°C,

- ладење на пелетите, 200-100°C.

Сушењето и жарењето имаат за цел да ја зголемат механичката цврстина на пелетите за да се избегне нивното распаѓање во печката. Во индустриски размери, за тие операции се употребуваат различни постројки на различни места.

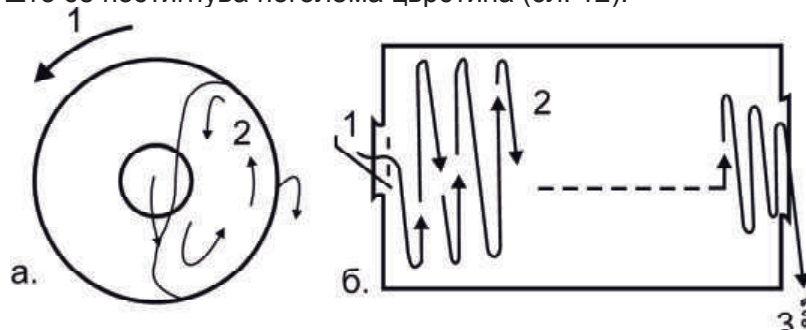
Првата операција, добивање сурови пелети, може да се изврши во три различни постројки: барабани, чинии и конусни гранулатори, кои во последно време добиваат сè поширока примена при окрупнувањето на ситните железни концентрати.

Суровите пелети се сушат и се печат во шахтна печка или на агломерациона машина, со постепено зголемување на температурата, бидејќи при брзо загревање пелетите се распаѓаат. Формирањето на пелетите настанува со кружното движење на уредот и доаѓа до тркалање на влажните ситни зрна по внатрешната површина на уредот за пелетизација.

Како резултат на врзувачкото дејство на водата и на слабиот механички притисок предизвикан од центрифугалната сила на инерција, доаѓа до поврзување на неколку зрна во едно покрупно зрно, кое се вика јадро. Во уредот со континуирано додавање на вода и руда и со тркалање на јадрото по слојот на површината, се налепуваат нови честички, а на тој начин, јадрата растат по принципот на таканаречено снежно валање. Така се формира пелетот.

2.3.1. Барабан за пелетизација

Барабанот за пелетизација претставува челичен цилиндар делумно отворен на двата краја. Железниот концентрат влегува континуирано на горниот крај кој е слабо наклонет и се врти со определена брзина. Поради вртењето, најпрво се образуваат мали топченца, кои тркалајќи се по внатрешната површина постепено растат. Додавањето на вода или растопено врзувачко средство се врши преку фини распрснувачи внатре во барабанот. Во последната третина се вртат образуваните пелети, при што се постигнува поголема цврстина (сл. 12).



Слика 12. Шема на движење на материјалот при формирање пелети во барабан за пелетизација.

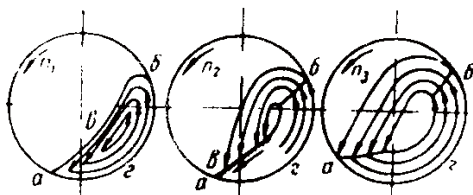
а – напречен пресек на барабанот: 1. насока на движење на барабанот, 2. насока на движење на формираните пелети 3. пелети; **б** – пресек на движењето на зрната во барабанот.

Пелетите нараснати до барабаната големина, преку праг на долниот крај на барабанот, се сортираат по големина. Суровите пелети, кои излегуваат од барабанот, се сортираат во три фракции. Најситната фракција се враќа во барабанот за да окрупни, а најкрупната се дроби и се смешува со свежиот концентрат. Од брзината на вртењето и од наклонот на барабанот зависи големината на произведените пелети. Со поголема брзина на вртење и со поголем наклон, се забрзува производството, но се добиваат поситни пелети.

2.3.2. Тава за пелетизација

Во тава за пелетизација пелетите се образуваат по истата постапка како во барабанот за пелетизација, со единствена разлика што при окрупнувањето, се тркалаат по цилиндрична и коса површина и при тркалањето опишуваат цилиндрични криви. Во зависност од основните параметри на барабанот (пречник, брзина на вртење) можни се три начини на движење на материјалот кој се пелетизира: тркалање, водопадно движење и циклично движење. Со зголемување на брзината на движењето на барабанот, се менува режимот од тркалање во водопадно и циклично движење (сл. 13 а,б,в)

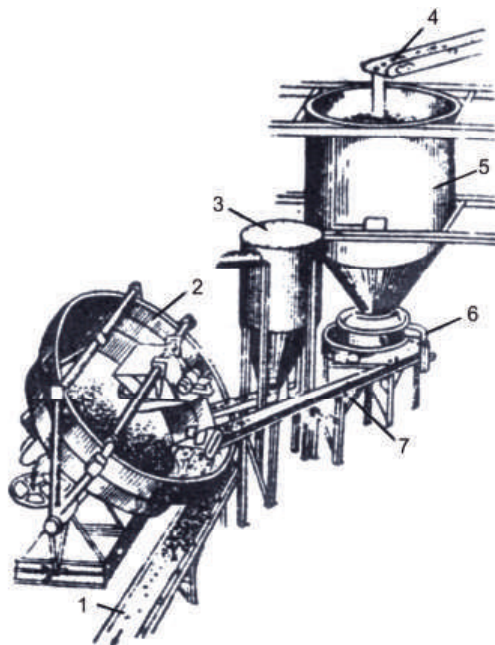
Пелетизирањето во тавата за пелетизирање е поедноставно и поекономично во споредба со барабанот за пелетизација. Со промената на аголот и на брзината на вртењето, од иста тава може да се добијат пелети со најразлична гранулација. Тавата за пелетизација (сл. 14) претставува уред со висок венец, централно прицврстен на една оска и може да се врти со различна брзина.



Слика 13. Движење на пелетите во зависност од брзината на вртење на тавата.
а. режим на тркалање, б. водопаден и
в. цикличен режим на тркалање на пелетите.

Додавањето концентрат и вода се врши во горниот дел на тавата. Водата се додава со распрснувач, а концентратот се доведува со бесконечна лента и вибрациона постројка. При истовремено додавање на концентрат и вода во тавата најпрво се образуваат зародиши на пелети кои постепено растат.

Готовите пелети се преливаат преку работ на тавата, а поситните продолжуваат да циркулираат по целата површина на тавата. Од аголот на наклонот, при непроменет степен на полнење зависи големината на пелетите. При поголем агол, пелетите пократко време се задржуваат во тавата, порано излегуваат преку работ на тавата и затоа се поситни.



Слика 14. Тава за пелетизација.
1. транспортер за готови сурови пелети, 2. чинија за пелетизирање,
3. бункер за врзувачко средство, 4. транспортер за концентрат
5. бункер за концентрат, 6. дисков дозирач, 7. лентест дозирач.

Тавата за пелетизација, во споредба со барабанот, ги има следниве предности:

- попраста конструкција и помала тежина на постројката,
- можност за континуирана промена на наклонот на тавата ($0-70^\circ$),
- можност за континуирана промена на бројот на вртежите,
- можност за менување на висината на венецот на тавата,
- полесна, брза и ефикасна контрола на процесот,
- помала потрошувачка на енергија и
- можност за класирање на пелетите во самата тава.

2.4. Агломерација на руда и на концентрат

Агломерациониот процес (спечување со провшмукување на воздух) е откриен во втората половина на XIX век. Најнапред, овој процес се употребувал во обоената металургија. Идејата да се агломерира железна руда со прав од висока печка наоѓа своја практична примена од 1900 година. Силен напредок е направен со пронаоѓањето на Двајд-Лојдовата агломерациона машина која работи континуирано. Првата машина била пуштена во САД во 1910 год. Интензивниот развој и проширувањето на агломерациониот процес се поврзани со редица нови технички усовршувања, и тоа: зголемување на работната површина на агломерационите машини, добивање самотоплив агломерат, интензификација на процесот, ладење и сеење на агломератот, зголемување на количината на провшмукуваниот воздух, користење комбинирани гориво и др.

Агломерациониот процес се изведува со претходно мешање и навлажнување. При смешувањето и при навлажнувањето на ситна руда или концентрат со ситен кокс, материјалот добива зрнест карактер и станува гасопропустлив.

Пригответниот материјал се насипува врз решетката на агломерационата машина во слој од 200-300mm. Со помош на специјална печка за почетно палење на шаржата се запалува горивото во материјалот и започнува провшмукување на воздух, како резултат на создадениот вакуум под решетката од 7,84-11,76 kPa.

Воздухот се провшмукува низ целиот слој на материјалот, со што се осигурува интензивно горење на јаглеродот и развивање висока температура од 1200–1500°C. Започнатото горење во една тесна зона се спушта по висината на слојот на материјалот и завршува на решетката. Од високата температура во зоната на топење, честичките на материјалот омекнуваат и се спечуваат во тврди порозни парчиња – агломерат. Затопената маса се стврднува како резултат на ладењето под дејство на провшмуканиот воздух.

Провшмуканиот воздух создава многу пори и празнини во агломератот, со што му дава порозна структура. Значи, агломерациониот процес е метод при кој со загревање на рудата и концентратот до температура на топење, а потоа со оладување и стврднување, материјалот се спечува во тврди порозни парчиња.

Добиениот готов агломерат се дроби и се сее, со цел да се оддели од него непечениот ситен материјал. Овој материјал со големина под 12mm се враќа на повторно спечување со другите суровини во вид на повратен материјал.

2.4.1. Суровини за агломерациониот процес

Основни суровини за агломерациониот процес се железните руди и концентрати. Како носители на железо уште се користат отпадоците од металуршкото производство, правта од високите печки, коварината и пиритните изгореници. При производството на агломерат, поради содржината на манган, се употребува манганова руда или концентрат. Додатни суровини во агломерациониот процес се: варовникот како топител, коксот и антрацитот како гориво.

Втора најзначајна суровина во агломерациониот процес е правта од високата печка како носител на железото.

Во обоената металургија, како суровина за агломерационо пржење се користи оловен концентрат за добивање олово или колективен оловно-цинков концентрат при истовремено добивање цинк и олово. Во составот на шаржата влегуваат топител, варовник и повратни материјали од процесот на топење и рафинација на олово. При истовремено добивање цинк и олово, шаржата се состои од оловен концентрат помешан со повратен агломерат и повратни материјали.

Како гориво за агломерациониот процес најчесто се употребува ситнежот од коксот. Тој претставува отпадок добиен при класифицирањето по големина во самите коксарници при неговото повторно сеење, пред да се употреби во високата печка. Неговата големина е обично (0-25)mm.

За агломерациониот процес, ситнежот од кокс треба да се дроби на многу поситни честички од 0-3mm. Најважни компоненти во неговиот состав се: јаглеродот, сулфурот, волатилите и влагата. Колку е повисок процентот на јаглерод, а понизок процентот на пепел, сулфур и волатили, толку коксовиот ситнеж е попогоден за агломерациониот процес. Обично, тој треба да содржи 12-15% пепел.

Друга помошна суровина за агломерацијата, кога се произведува самотоплив синтер, е варовникот. Варовникот претставува CaCO_3 заедно со примеси од кварц, глина, железни оксиди и др. За квалитетот на варовникот најголемо значење има процентот на CaO . Во квалитетен варовник CaO изнесува од 50-60%. Варовникот обично содржи многу малку штетни примеси, како фосфор и сулфур. За процесот на агломерирање, варовникот се дроби од 0-3mm.

2.4.2. Гранулациска подготовка на суровините за агломерација

Подготовката по крупност на суровините за агломерациониот процес е многу важна операција од која зависат во голем степен производноста на агломерационата машина и квалитетот на агломератот.

Оптималната гранулација на рудите за агломерација се движи во граници 2-10mm. Крупните парчиња руда над 10mm, за време на агломерациониот процес, не можат да се запечат и да реагираат. Тие остануваат во непроменета состојба и се слаба точка за ситнење на агломератот. Од друга страна, и многу ситнозрнестиот материјал тешко се спечува како резултат на многу малата брзина на процесот поради намалената гасопропустливост на шаржата. Така, додавањето ситна руда или концентрат кон извесна количина покрупна руда позитивно влијае на процесот на спечување, без да се намали тврдоста на агломератот. При агломерацијата на ситни железни концентрати, чија гранулација е под 1mm, додавањето руда секако е задолжително; во спротивен случај брзината на процесот е многу мала.

Големината на рудата е од суштинско значење и за ослободувањето на сулфурот (согорување на сулфурот до SO_2 гас) од агломератот, односно, за намалувањето на неговата количина. Од многу крупните парчиња руда, сулфурот слабо или воопшто не се ослободува. На рудата, а исто така, и на сите компоненти од засипот, се прави ситова анализа. Преку неа се дава процентуално содржината на сите фракции.

Значаен фактор, кој влијае врз процесот на спечување и врз квалитетот на агломератот, е гранулацијата на горивото и на варовникот. Со испитувања е докажано дека најпогодна гранулација на горивото и на варовникот за агломерациониот процес е (0-3)mm, со преовладување на фракцијата (0-2)mm. Фракцијата +3mm, која во пракса е неизбежна, не треба да биде повеќе од (5-8)%

Ако горивото е со големи зрна, тоа гори во слојот на шаржата подолго и побавно, зоната на горење се раширува, и не се создава неопходната температура за стопување на материјалот. Освен тоа, големите зрна на горивото, при насипувањето на материјалот на агломерационата машина, се издвојуваат во долниот дел врз решетките.

Како резултат на тоа, агломератот се залепува за решетките, тие брзо се трошат, и горивото не ја врши во целост својата намена. Многу ситното гориво, исто така, не е добро. Тоа ја влошува гасопропустливоста, односно, ситните честички многу брзо изгоруваат и не успеваат да ја загреат шаржата до бараната температура на стопување. Отпадните суровини за агломерационото производство, како: правта од високите печки, коварината и пиритните изгореници, поради својот физички изглед, треба дополнително да се подготвуваат по големина.

Повраток претставуваат ситниот лошо спечен агломерат и честичките од неспечената шаржа. Тој се враќа на повторно спечување. Неговата големина е различна и зависи од гранулацијата на почетниот засип. Оптимална големина на зрната на повратокот е од 0 до 10mm. При спечување на многу ситни концентрати, се препорачува поситен повраток од 0 до 6mm. При покрупни руди може да се работи и со повраток од 0 до 15mm.

Повратокот е неизбежен продукт кој циркулира при агломерирањето и има корисно дејство затоа што ја растресува шаржата, која станува гасопропустлива, што влијае на зголемување на производството. Повратокот се одделува со сеене на агломератот непосредно по неговото излегување од агломерационата машина.

Постелката претставува претходно одделен и насипен слој од агломератот врз решетките Улогата му е да ги заштитува решетките од предвремено оштетување. Обично, постелката е со големина од (10-25)mm, но има предност порамномерната оптимална големина на зрната од (10–15)mm која подобро се насипува врз решетките.

2.4.3. Подготовка на шаржата за агломерирање

Пред да се насипе шаржата во агломерационата машина, таа се смешува и се навлажнува. Целта на смешувањето како технолошка операција е да се добие еднородна смеса, шаржа, во која секоја точка или област има еднаква содржина на дозволените компоненти: руда, гориво, топители и др. Со смешувањето се добива хемиска и физичка еднородност на шаржата, т.е. еднакво распределување на хемиските компоненти на крупните и ситните фракции.

Во барабаните за смешување, истовремено со смешувањето, се извршува и навлажнување на агломерационата шаржа. Целта на навлажнувањето е да се претвори шаржата во зрнеста, ровка и гасопропустлива маса. Шаржата се навлажнува со специјални распрснувачи. Под влијание на оваа вода, фините и ситни честички од шаржата се собираат во поголеми зрна и мали топченца.

Откако шаржата е подготвена за синтерување, таа се насипува на агломерационата машина. Насипувањето се врши со специјални постројки. Најпрво врз решетката се нанесува постелката, а потоа, агломерационата шаржа. Насипувањето на шаржата се врши рамномерно во слој со дебелина од 20 до 30mm. Висината на слојот зависи од тоа дали јаловината во шаржата е базна (самооден синтер), односно, од количината на сулфурот во шаржата.

Базната шаржа дозволува повисок слој, а сулфатната треба да се синтерува при понизок слој. Насипниот слој треба да има еднаква височина по ширината и по должината на агломерационата машина.

2.4.4. Запалување на шаржата

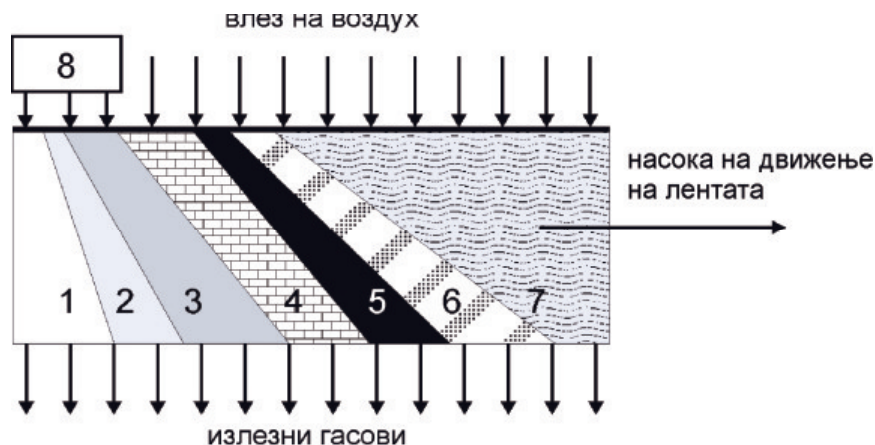
За да започне процесот на синтерување (спечување), насипаната шаржа треба да се запали. Со запалувањето започнува горење на тврдото гориво. Агломерационата шаржа се запалува со специјален уред, кој најчесто работи со гасно гориво. Односот меѓу гасот и воздухот во уредот за запалување се регулира автоматски или рачно. Запалувањето треба да биде рамномерно по целата запалива површина под уредот.

Горниот површински слој при добро запалена шаржа е добро испечен и има металносива боја. Кога е лошо запален, тој е недопечен и има црвена боја. Кога површинскиот слој е препечен, тој има стаклест сјај, и тој слој од агломератот е компактен и многу слабо пропушта воздух.

Доброто запалување, освен од работата на уредот за запалување, зависи во голем степен и од влажноста и гранулацијата на шаржата, а исто така, и од брзината на движењето на лентата. Повлажната шаржа се запалува, и површинскиот слој е слабо печен и со црвенокафеава боја. Сувата и ситна шаржа лесно се препечува на површината и добива металноцрна боја. Од доброто запалување зависи квалитетот на површинскиот слој на агломератот.

2.4.5. Зони при процесот на агломирање

По завршувањето на агломерациониот процес, во шаржата се оформуваат неколку зони. Секоја зона се карактеризира со специфични физичко-хемиски процеси. На сл. 15 е даден шематски пресек на шаржата каде се означени зоните што се образуваат при еден започнат процес на агломирање. Како што се гледа од сликата, се разликуваат шест зони: зона на постелка (1), зона на навлажнување (2), зона на сушење (3), зона на интензивно загревање (4), зона на агломирање (5), зона на ладење (6), зона на готовиот агломерат (7), печка за потпалување (8).



Слика 15. Шема на распределба на зоните во слој од шаржата при процесот на агломерација со долен провев.
 1. зона на постелка, 2. зона на навлажнување, 3. зона на сушење, 4. зона на интензивно загревање, 5. зона на агломирање, 6. зона на ладење, 7. зона на оладен агломерат, 8. печка за потпалување.

Зоната на постелката (1) не зема големо учество во процесот на спечување. Во неа не се содржи гориво и не настанува горење. Таа има само заштитна улога. Зоната на навлажнување се одликува со повисока влажност (20–30%) од оптимумот. Навлажнувањето во неа е резултат на кондензирањето, во студената шаржа, на испарената влага од зоната на сушење.

Во зоната на сушење (3) настанува интензивно одделување на влагата како резултат на загревањето со топлиите гасови кои се спуштаат од погорните зони. Во зоната на претходно интензивно загревање се извршува подготовка на горивото за запалување под дејство на врелите гасови кои се спуштаат од погорните зони, и се загрева шаржата до запалување на горивото. Во зоната на агломирање (5), настануваат согорување на горивото и формирање на агломератот.

Таа зона е многу тесна, има само неколку mm и во неа се извршуваат главните физичко-хемиски процеси и промени во рудните минерали. Во оваа зона се изведуваат процесот на затоплување на материјалот, процесот на формирање и рекристализирање на новите хемиски соединенија и минерали. Од температурниот режим во зоната на агломирање во голем степен се одредуваат квалитетот на агломератот и количината на течната фаза.

Во зоната на ладење (6), готовиот агломерат се лади поради провмукување на надворешен ладен воздух. Во исто време се врши загревање на воздухот кој потоа оди во зоната на загревање. Тука делумно се одвива и секундарната оксидација на образуваниот Fe_3O_4 во агломератот до Fe_2O_3 .

2.4.6. Физичко-хемиски процеси при агломирањето на рудата

Агломерациониот процес е сложен физичко-хемиски процес, кој се одвива во повеќекомпонентен систем, каде се зголемува температурата од 100-1500°C, а потоа пак се оладува. За тоа кратко време материјалите преминуваат од тврда во делумно течна состојба и потоа повторно се стврднуваат.

Највисоката температура во процесот, температурата на агломирањето, може да се изрази како:

$$T_a = (0,8-0,9) \times T_T \text{ (}^\circ\text{C)}$$

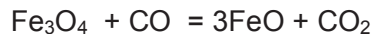
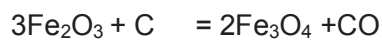
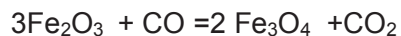
каде:

T_a – температура на агломирање (синтерување) ($^\circ\text{C}$)

T_T – температура на топење ($^\circ\text{C}$)

За целокупното време на процесот, низ материјалот поминува воздух и се образуваат гасови. Така, во процесот учествуваат три агрегатни состојби, односно, три фази: тврда, течна и гасовита.

При агломирањето на шаржата, подготовката на железни руди се одвива според следниве реакции:



Во почетокот на процесот, до температура од околу 900°C, настануваат редукција на железните оксиди и образување на тврд раствор меѓу Fe_2O_3 со FeO и Fe_3O_4 со FeO . Тврдиот раствор, кој се образува, се вика вустит. Потоа, со зголемувањето на температурата во системот се јавува течна фаза, при што FeO се врзува со SiO_2 од шаржата и се образува соединение кое се вика фајалит (2FeOSiO_2). Тоа соединение е лесно топливо и ја зголемува количината на течната фаза.

Во температурниот интервал (700-900)°C, карбонатите термички се разложуваат според реакцијата:



Образуваната течна фаза е основното средство за врзување што го изградува скелетот на агломератот и го дава неговиот квалитет. Добиениот агломерат се лади, при што течната фаза преминува во тврда состојба. Притоа се извршува кристализација на растворите и на соединенијата кои се веќе образувани во зоната на агломерацијата.

Кристализацијата на течната фаза се врши интензивно поради оладувачкото дејство на воздухот и поради добивањето многу центри на кристализација така што настапува процес на оладување по порите и празнините на готовиот агломерат.

2.5. Двајт-Лојдова машина за агломерација

Двојд-Лојдовата машина која денес е најмногу распространета, во основа, претставува една елипсоидна бескрајна лента, која се состои од многубројни челични колички (сл. 16), стр.28.

Количките се движат по шини, а во нив се засипува агломерационата шаржа. Тие имаат само надолжни страни и при движењето на хоризонталниот дел од лентата, се прилепуваат една до друга.

Шаржата, која е претходно подготвена, со систем за шаржирање се нанесува на лентата во слој со висина од 30 до 35 см. Претходно, врз решетките се нанесува слој од повратен ситен синтер, постелка, кој ја заштитува лентата и овозможува добра гасопропустливост.

Со помош на уред за запалување, горилник, кој обично работи со гасовито гориво, шаржата се пали, и понатамошното согорување се одржува поради провсмукнувањето на воздухот и поради согорувањето на горивото во шаржата.

Со согорувањето на горивото, материјалот се загрева до потребната температура на спечување. Брзината на движењето на лентата е така нагодена што процесот на синтерување се завршува пред да дојде материјалот на крајот на лентата.

За целото време на синтерување, лентата се наоѓа над низа комори низ кои ексхаусторот ги влече воздухот и согорливите гасови. Синтерот излегува на крајот на лентата во еден голем бункер во кој има дробилки.

Издробениот синтер потоа паѓа на систем од сита, каде се врши одвојување на крупната фракција, која оди за високата печка. Гранулацијата од 10 до 20mm служи за постелка, а гранулацијата до 10mm, се враќа за повторно синтерување.

Оваа постројка работи континуирано со голем капацитет кој достигнува преку 2000 тони на ден. Во зависност од бараното производство агломерационите машини се поставуваат во различни големини. Должината на работната површина најчесто се движи меѓу 11 и 30m, а ширината меѓу 1,5 и 2,5m, што одговара на работна површина од 18m² до 75m². Во последно време се проектирани постројки со агломерациони површини од 200m² до 300m². Помалите најмногу се користат во обоената, а поголемите, во црната металургија.

3. ПРЖЕЊЕ РУДИ И КОНЦЕНТРАТИ

3.1. Вовед

Под поимот пржење во металургијата се подразбира третирање на некоја минерална суровина, со цел нејзина технолошка подготовка за добивање метал.

Природната минерална суровина (руда), по рударската подготовка и обогатување, претставува појдовна суровина за металуршка преработка, чија цел е добивање метал.

Пирумталуршкото третирање на суровината претставува сложен комплекс од повеќе хемиски процеси и операции, кои се одвиваат на релативно високи температури. Пржењето претставува прва фаза од повеќе последователни технолошки постапки за добивање на металите.

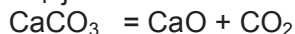
Во зависност од хемиските процеси што се одвиваат во процесот на пржење, постојат следниве видови пржење: калциначионо, оксидачионо, сулфатизачионо, хлоридно и пржење со испарување.

Во зависност од уредите што се користат: агломерачионо и флуидизачионо.

3.1.1. Калциначионо пржење

Под калциначионо пржење се подразбира термичко разложување на карбонати и хидрооксиди, со цел добивање оксиди кои се подложуваат на понатамошна металуршка преработка.

На пример, термичкото разложување на варовникот се одвива според следната реакција:



или термичко разложување на алуминиумхидрооксид:



Реакциите, кои се одвиваат при калциначионото пржење, се ендотермни, што значи за одвивање на овој процес, потребно е да се внесе топлина со согорување на некое гориво.

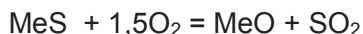
На идентичен начин се разложуваат и останатите карбонати при калциначионото пржење руди на обоени метали. На овој начин, процесот на термичко разложување на карбонатите во металуршката пракса претставува дисоцијација, а термичкото разложување на хидрооксидот е дехидратација.

3.1.2. Оксидационо пржење

Оксидационото пржење претставува процес, кој се состои од оксидација на компонентите на рудата на зголемени температури.

Во обоената металургија најчесто се присутни сулфидни минерали кои со оксидацијата се претвораат во оксиди, а сулфурот се оксидира и се претвора во сулфурдвооксид.

Општиот израз за оксидационо пржење на сулфидни минерали може да се претстави на следниов начин:

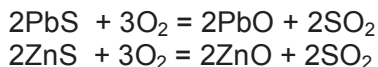


Овој вид реакција е силно егзотермен, што значи дека во процесот се ослободува значителна количина топлина која е доволна процесот да се одвива без внесување на топлина однадвор. Ваквите процеси претставуваат автогени процеси.

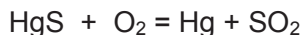
Меѓутоа, за одвивање на реакцијата на оксидација на сулфидите, потребно е претходно загревање на рудата до определена температура, на таканаречена температура на палење.

Под поимот температура на палење во металургијата се подразбира највисоката температура при која процесот на оксидација на сулфидите почнува да се одвива трајно, без понатамошно доведување на топлина однадвор.

Ако во определен систем, во текот на оксидационото пржење, целосно се отстранува сулфурот, овој вид на пржење претставува целосно пржење. Кај оловно-цинковите концентрати се применува целосното пржење, според реакциите:



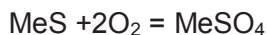
Кај металите со незначителен афинитет кон сулфурот, оксидационото пржење се врши до метална состојба, како што е процесот на пржење на живиниот сулфид според реакцијата:



3.1.3. Сулфатизационо пржење

Сулфатизационото пржење претставува процес на пржење при кој корисните минерали се претвораат главно во сулфатен облик.

Ако рудата што се пржи е во сулфидна форма, тогаш сулфатизационото пржење претставува процес на делумно оксидационо пржење. Образувањето на сулфатите од сулфидите се врши според следнава реакција:



Образуваниот сулфат, со зголемување на температурата, се разложува со образување на оксид, според реакцијата:



Сулфатизационото пржење руди и концентрати на обоени метали се применува како металуршка подготовка за понатамошен хидрометалуршки третман, и тоа, за метали чии сулфати лесно се раствораат во вода или разблажена сулфурна киселина.

3.1.4. Хлоридно пржење

Хлоридното пржење претставува процес на пржење при кој една или повеќе метални компоненти на минералната суровина се претвораат во хлориди. Процесот на хлорирање чисти метали, метални оксиди и метални сулфиди со гасен хлор може да се примени со следниве реакции:

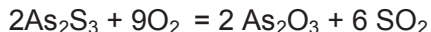


Процесот на хлорирање се изведува на зголемени температури, при што е возможно селективно хлорирање на поединечни компоненти присутни во појдовната руда или концентрат.

За обезбедување селективност при процесот на хлорирање, потребно е да се избере соодветен температурен интервал во кој се врши хлорирање на определени компоненти. Основен недостаток при процесот на хлорирање е токсичноста на хлорот, при што потребна е максимална заштита на животната средина.

3.1.5. Пржење со испарување

Основна карактеристика на процесот на пржење со испарување е тоа што поединечни компоненти на минералната суровина, која термички се третира, се претвораат во гасна состојба. Карактеристичен пример на пржење со испарување претставува пржењето сулфидини арсенови руди кое се изведува според следнава хемиска реакција:

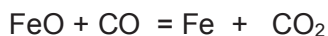
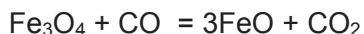
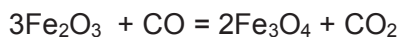


Формираниот As_2O_3 на температурата на реакцијата има толку висок напон на пара што целосно преминува во гасна состојба и го напушта реакциониот простор заедно со сулфурдвооксидот. Со ладење на гасовите, се врши кондензација на As_2O_3 во облик на бела прах која се таложи и се издвојува со гасовите. Сулфидните руди на: оловото, бакарот, цинкот, имаат штетни примеси, како арсениди и антимиониди, кои се отстрануваат со пржење со испарување.

3.1.6. Редукционо пржење

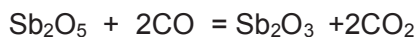
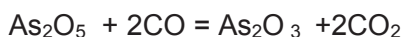
Редукционото пржење претставува процес на термичко третирање на повисоките оксиди, со цел нивно претворање во пониски оксиди. Редукционото пржење се применува во металургијата на железото како претходна технолошка

операција на процесот на топење на железните руди. Хематитната железна руда се подложува на редукционо пржење, при што се одвиваат следниве хемиски реакции:



Редукционото пржење се изведува во комбинација со пржење со испарување. При пржење на антимоновите и на арсеновите сулфидни руди, се добиваат виши оксиди на арсен и на антимон (As_2O_5 , Sb_2O_5).

Овие оксиди редуктивно се пржат и преминуваат во испарливи пониски оксиди според хемиските реакции:



Редукционото пржење железни руди и концентрати се изведува во ротациона печка (сл. 17, стр. 28).

3.1.7. Агломерационо пржење

Агломерационото пржење се применува како подготвителна металуршка операција во металургијата на железото и на обоените метали. Основна карактеристика на агломерационото пржење е тоа што при самиот процес настанува физичка промена на суровината која се пржи, односно, при пржењето на релативно високи температури ($900-1173^\circ\text{C}$ за железни руди и $705-800^\circ\text{C}$ за оловно-цинкови руди) се вршат омекнување и површинско топење на поединечни лесно топливи компоненти на мешавината што се топи.

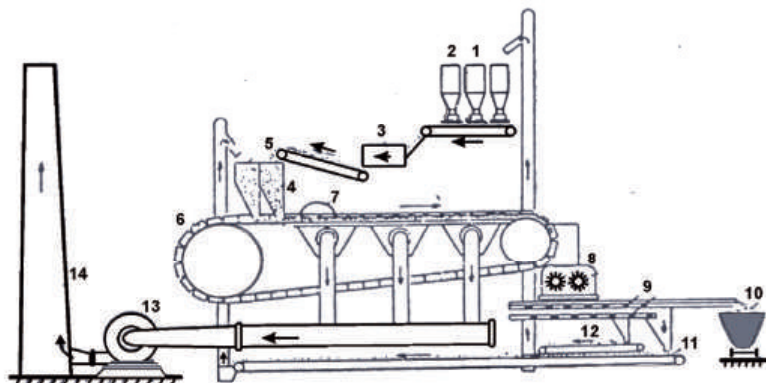
При ладењето, делумно споените компоненти на мешавината зацврстуваат, при што ситните честички на рудата и варовникот се поврзуваат во хомоген конгломерат, односно, материјал во вид на крупни порозни парчиња кој се вика агломерат.

Агломерационото пржење на железните руди и концентрати се изведува во присуство на јаглен, односно, во редуктивна средина. Агломерационото пржење на концентрати на обоените метали (олово, цинк) се изведува во оксидациона атмосфера, односно, претставува оксидационен процес.

3.2. Уреди за пржење

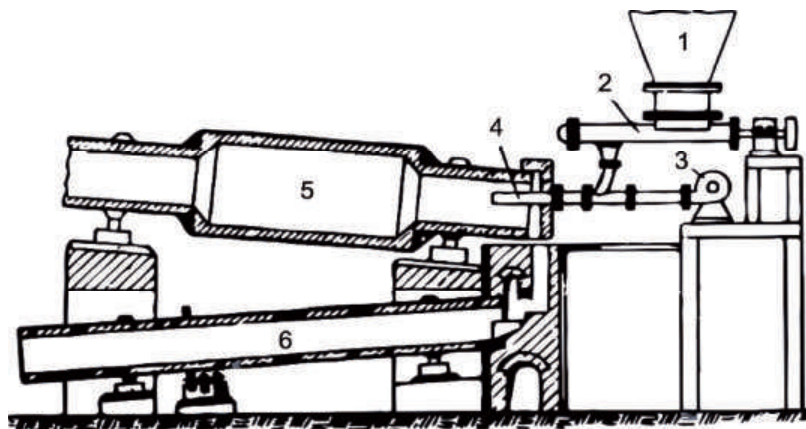
3.2.1. Уреди за пржење железни руди и концентрати

Во металургијата на железото, при пржењето на железните руди и концентрати се применуваат следниве уреди за пржење: Двајт-Лојдова машина за агломерационо пржење (сл. 16) и ротациона машина за редукционо пржење (сл. 17).



Слика 16. Шема на Двајт-Лојдова машина за агломерационо пржење железни руди и концентрати.

1. бункер за ситна руда, 2. бункер за ситен кокс, 3. мешалка со постројка за влажнење, 4. бункер за смеса, 5. бункер за постелка, 6. лента, 7. уред за запалување на смесата, 8. дробилка, 9. систем на сита, 10. крупен агломерат, 11. агломерат за постелка, 12. повраток, 13. ексхаустор, 14. оџак.

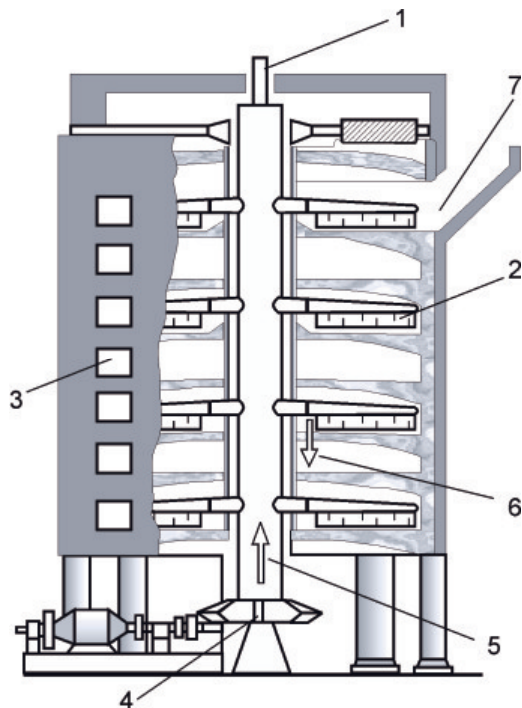


Слика 17. Шема на ротациона машина за редукционо пржење железни руди и концентрати.

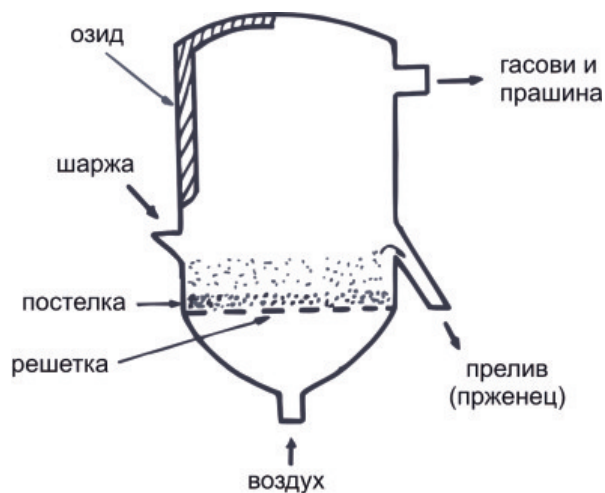
1. бункер, 2. додавач, 3. вентилатор, 4. горилник, 5. ротациона печка, 6. ладилник.

3.2.2. Уреди за пржење руди и концентрати на обоени метали

Во металургијата на обоените метали се применуваат следниве уреди за пржење: повеќеетажна печка за пржење бакарни, цинкови и оловни концентрати (сл. 18) и флуосолид реактор за флуидизационо пржење бакарни и цинкови концентрати (сл. 19).



Слика 18. Шема на повеќеетажна печка за пржење бакарни концентрати.
1. централна оска, 2. лопатка, 3. работен отвор со вратички, 4. запченик,
5. довод на воздух, 6. одвод на готов прженец, 7. гасови.



Слика 19. Шема на флуосолид реактор за пржење бакарни и цинкови концентрати.

4. ТЕХНОЛОГИЈА НА ДОБИВАЊЕ МЕТАЛИ

4.1. Вовед

Металуршките процеси се одвиваат според општи законитости во физиката, во хемијата и во физичката хемија. Меѓутоа, тие имаат свои специфичности кои во определени случаи имаат значајна улога при нивното одвивање во праксата. Физичките процеси се оние при кои хемискиот состав на материјалот не се менува, и тоа: дробење, сушење, растворување, загревање, топење, испарување и др.

Истовремено, во металуршките процеси постојат голем број такви при кои составот на материјата хемиски се менува. Такви процеси се: оксидацијата, редуцијата, образувањето хемиски соединенија во троската и др.

4.2. Цел на металуршките процеси

При преработка на рудата, со цел да се добие метал, во најголем број случаи не е возможно со еден степен на преработка да се добие корисниот метал. Најчесто за преработка на рудата се користат постапки што вклучуваат поголем број процеси и операции кои се меѓусебно поврзани. Во една технолошка постапка секој технолошки процес има своја дефинирана цел и задача. Тоа значи дека при дадени услови, ќе се изврши определен степен на преработка на рудата како предуслов за следниот степен на преработка.

Така, на пример, при преработка на бакарен концентрат, со цел добивање метал, користената технолошка постапка се состои од поголем број процеси, како што се: пржење, топење, конвертирање, пламена рафиниција и електролитичка рафиниција. Сите овие процеси во користената металуршка постапка се застапени според точно определен редослед, и не е можно да се менува дефинираниот редослед.

Во овој случај, секој металуршки процес има задача при третирањето на појдовната суровина, да се извршат определени физичко-хемиски трансформации на суровината потребни за изведување на следниот процес.

Според тоа, цел на секој металуршки процес е на суровината, која се преработува, да се изведат потребните физички, хемиски и физичко-хемиски трансформации за да биде подготвена за следниот степен на преработка за добивање на корисниот метал. Треба да се истакне дека секогаш се бара металуршкиот процес, од аспект на економичноста, да се изведе со минимални трошоци.

За добивање метал од руда или концентрат, се користат различни постапки што содржат одвоени или истовремени физички, хемиски и физичко-хемиски процеси.

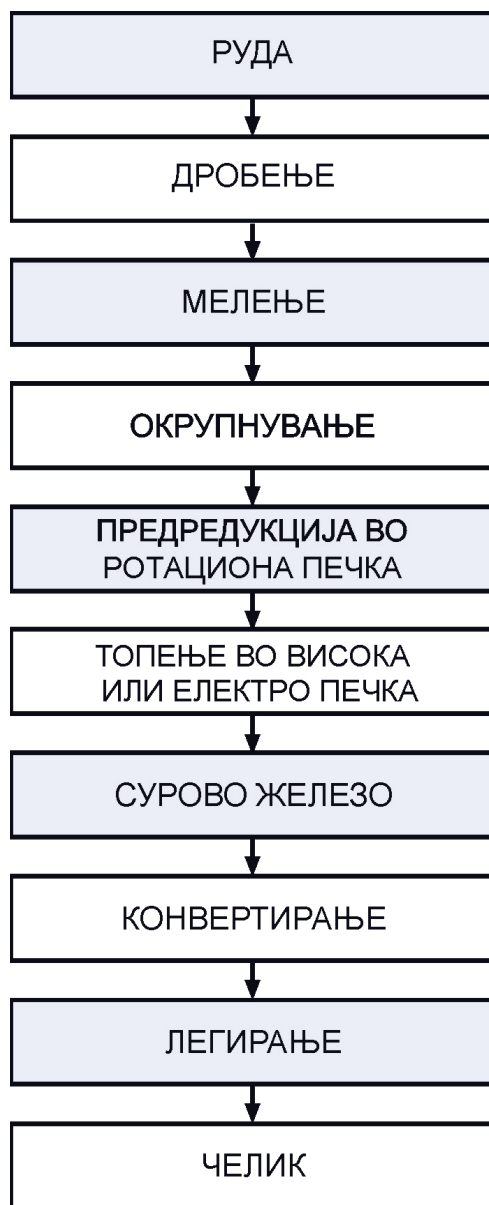
Сите процеси во екстрактивната металургија може да се поделат на:

- пирометалуршки процеси,
- хидрометалуршки процеси и
- електрометалуршки процеси.

Пирометалуршките процеси се користат за добивање метали од руда и од концентрат на зголемени температури. Во оваа група процеси е добивањето железо

и се одвиваат следниве технолошки постапки: редукционо или агломерационо пржење, топење во висока или електропечка, рафинирање на железото, односно, добивање челик во конвертори (Бесемеров, Томасов или Сименс-Мартинов процес).

Основните металуршки процеси при добивањето железо и челик се прикажани на следнава технолошка шема.

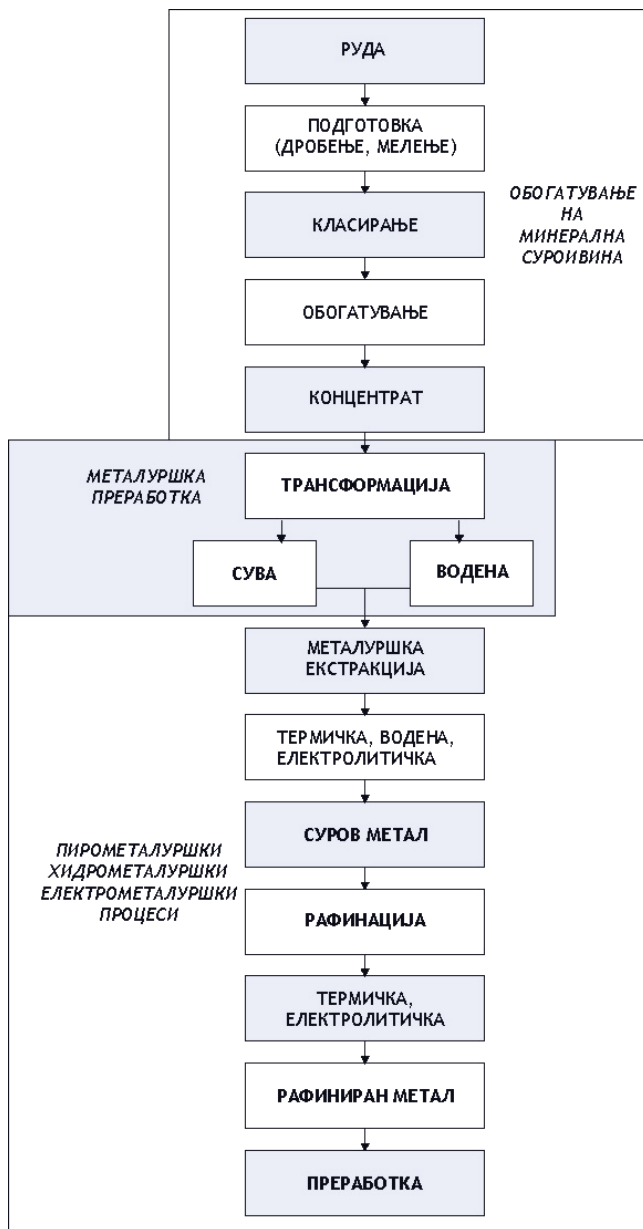


Слика 20. Технолошка шема за добивање железо и челик.

Во пиromеталуршкото добивање обоени метали се одвиваат следниве технолошки процеси:

- металургија на бакарот: пржење, топење, конвертирање, термичка рафинација.
- металургија на оловото: агломерационо пржење, редукционо топење, термичка рафинација.
- металургија на цинкот: оксидационо пржење, дестилационо топење, рафинација со испарување и сублимација.

На сл. 21 е дадена технолошката шема на пирометалуршкото добивање обоени метали:



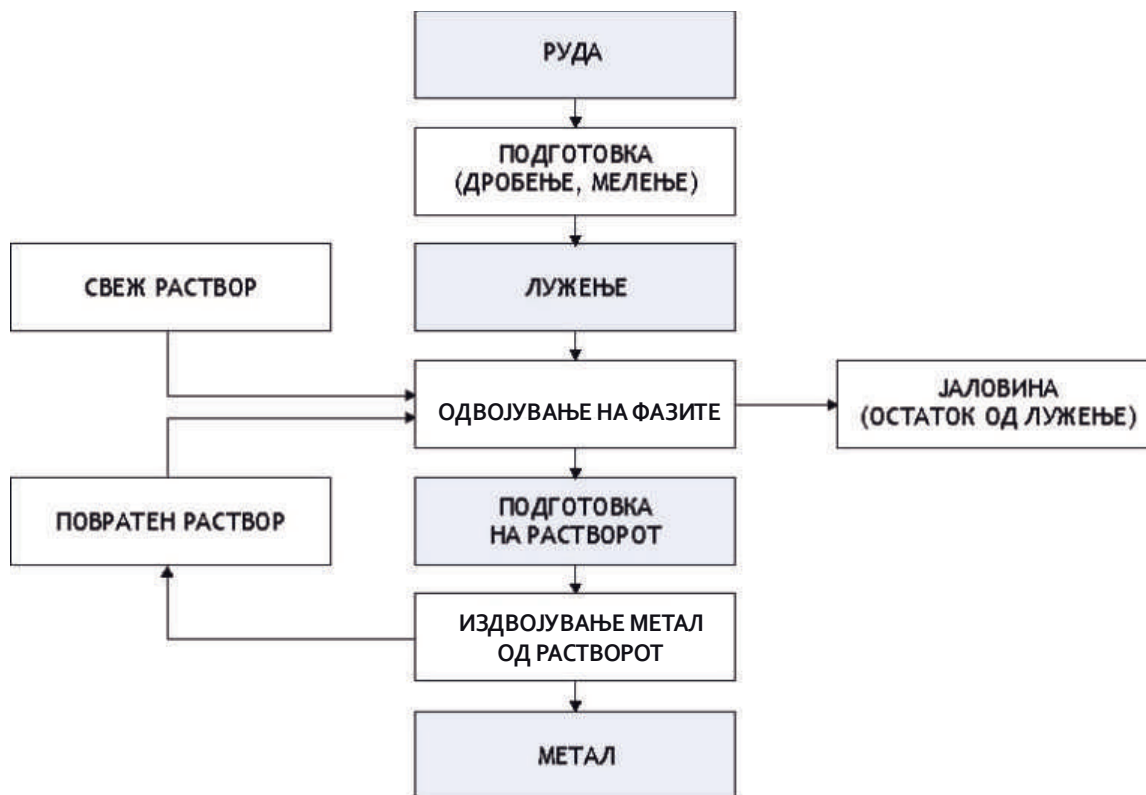
Слика 21. Технолошка шема на пирометалуршкото добивање обоени метали.

4.3. Хидрометалуршки процеси

Хидрометалуршките процеси претставуваат технолошки процеси при кои минералните сировини на обоените метали (бакар, цинк, никел, калај) се раствораат во кисели или базни реагенси, односно, водени раствори на сулфурна киселина, на амониумхидрооксид и др., при што корисните компоненти (бакар, цинк) преминуваат во раствор.

Основни технолошки фази при хидрометалурското добивање обоени метали се: лужење, пречистување на растворот од примеси, одвојување на тврдата фаза од растворот.

Самата операција на растворувањето на корисните компоненти се вика лужење и претставува прва фаза во хидрометалурското добивање на металите. Втора фаза во хидрометалурското добивање на металите претставува одвојувањето на цврстата од течната фаза, при што цврстиот остаток претставува талог, а течната фаза е раствор. Во растворот е концентрирана корисната компонента. Издвојувањето на металот од подготвениот раствор може да се изврши со следниве постапки: кристализација, редукција од раствор, цементација, електролитичко издвојување на металот и др.



Слика 22. Шема на хидрометалурското добивање обоени метали (бакар, цинк).

4.4. Електрометалуршки процеси

Електрометалуршките процеси претставуваат процеси за добивање метал од раствор на неговите соли со електрорафинација. За примена на електрометалуршките процеси, потребно е да се обезбеди извор на електрична енергија бидејќи овие процеси се потрошувачи на значителна количина електрична енергија.

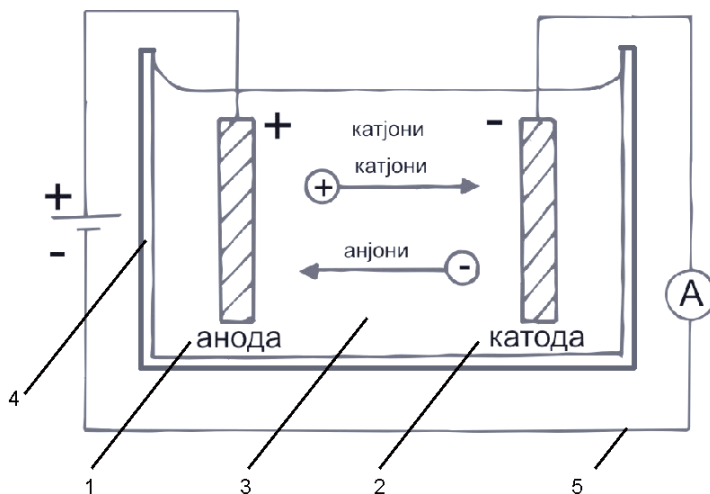
Од теоретска гледна точка, сите супстанции имаат особини да спроведуваат електрична струја. Најдобри проводници на електрична струја се металите. Водените раствори, киселините и нивните метални соли ја спроведуваат струјата и претставуваат електролити.

Под поимот електролиза се подразбира разложување на електролитот под дејство на електрична струја. Електродата врзана за позитивниот пол на еднонасочна струја претставува анода, а електродата врзана за негативниот пол од изворот е катода. Двете електроди, садот во кој е сместен електролитот со електродите се ќелија за електролиза. При процесот на електролиза, на катодата се врши редукција на привлечените катјони, а на анодата, оксидација на анјоните. Технолошката шема на ќелија за електролиза е прикажана на сл. 23.

Пример, електролиза на $ZnSO_4$:

На катодата, редукција $Zn^{2+} + 2e \rightarrow Zn^0$

На анодата, оксидација $SO_4^{2-} + H_2O \rightarrow H_2SO_4 + 0.5 O_2 + 2e$



Слика 23. Технолошка шема на ќелија за електролитичко добивање обоени метали.

1. анода, 2. катода, 3. електролит, 4. осид на ќелијата, 5. струјно коло.

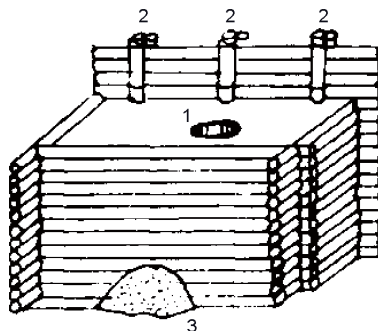
5. МЕТАЛУРГИЈА НА ЖЕЛЕЗОТО

5.1. Историски преглед на развојот на црната металургија (железо и челик)

Првото железо добиено од руда претставувал челикот и е добиено многу примитивно во таканаречено „грно“. Грно претставува јама обложена со глина и поставена на места каде било обезбедено природно струење на воздухот потребно за согорување на дрвениот јаглен кој служел како гориво (сл. 24). Металната железна руда наизменично е внесувана во грното заедно со кумурот, при што се врши топење на рудата сè додека на дното од грното не се добијат доволно големо парче делумно растопен челик прекриен со троска од јаловина на рудата и пепелот од дрвениот јаглен. Потоа, дел од грното се руши, парчето добиен челик се вади, се кова, сè додека се ослободи од троската, и на крајот, се добива компактен метал – легура.



Слика 24. Добивање челик со постапка „грно“.
1. отвор на огништето,
2. отвор за руда и за јаглен.



Слика 25. Рафинационо грно.
1. отвор за внесување течно железо,
2. дувалки за воздух,
3. отвор за изливање на челикот.

Добиената легура од „грно“ претставувала многу мек челик со 0,1% растворени примеси и проткаен со 3% силикатна згура. Згурата богата со оксиди спречува јаглородот од дрвениот јаглен да биде растворен во железото бидејќи интензивно согорува со кислородот од оксидите. Добиениот производ од „грното“ би бил многу мек челик или ковно железо.

Конструкцијата на „грното“ и технологијата се усовршувале со текот на времето. Природната промаја била заменена со мегови за вдувнување воздух кои работеле со користење на човечката сила, а подоцна се користела и водена сила.

Бидејќи потребата за железо била сè поголема, грното се усовршувало. Така, грното се градело повисоко и се сидало со огноотпорна опека. Воздухот се вдувувал со помош на специјални дувалки. Така настанало сиданото или рафинационото грно. Во рафинационото грно (сл. 25) можело да се добие потврд челик кој имал подобри особини од мекиот челик добиен во првобитното грно. Поради големата висина, поради зголеменото вдувнување на воздухот и поради повисоките температури, железото кое се редуцирало од рудата во горните делови на грното повторно се најјагленисувало во пониските слоеви. Така случајно била добиена легура која не можела со ковање да се преработува, односно, било добиено железо. Подоцна било

забележано дека ако железото се загрева во огништето, се добивала железна маса со ниска содржина на јаглерод, односно, железо кое лесно се обликува со ковање, т.е. на тој начин, почнало да се добива челик во рафинационото огниште.

Процесот на добивање челик во рафинационото огниште се состоел од следниве операции: во огништето се внесувало железо, кое било претходно добиено со топење во присуство на дрвен кумур. При топењето на железото, доаѓало до оксидација на примесите во железото. Во текот на процесот на рафинација, температурата во огништето била ниска за да се одржи металот во течна состојба. Затоа на дното од огништето се собирале метални кристали кои формирале густа тестеста маса. Оваа маса се поместувала кон дното од огништето каде што температурите биле највисоки, повторно се подложувала на топење и бил добиен нискојаглероден челик, кој можел лесно да се кова и профилира. Рафинационото огниште било усовершено во смисла на механизано додавање воздух преку неколку дувници, а потоа и користење на прегреан воздух. Сепак, и покрај тоа, производноста на рафинационото огниште била мала, при што се добивал челик со променлив состав. Од една страна, како што се јавувале зголемените потреби од челик, а од друга страна, поради малата производност на рафинационото грно, во 1784 година бил воведен таканаречен „пудлинг“ процес за добивање челик.

При овој процес, претходно добиеното железо најпрвин се претгревало, а потоа во огништето се вршела рафинацијата. Загревањето и топењето на железото се вршеле со помош на димни гасови ослободени од согорување на цврсто или течено гориво во друга комора. Горивото согорувало со вишок воздух, а вишокот кислород ги оксидирал примесите во железото. Во железото за време на процесот на мешањето, како кај рафинационото огниште на дното од печката се собирале кристали од нискојагленороден челик. Производноста на пудлинг печките изнесувала 4-15 тони челик на ден. Со текот на времето, се истражувале можности за зголемување на производството и квалитетот на челикот при што се усовершувале печките со дувници, а веќе во 1535 година, англискиот индустријалец Дарби за првпат произвел железо со користење кокс добиен од камен јаглен.

Со замената на дрвениот јаглен со кокс, кој има подобри механички особини, се овозможувало зголемување на висината на профилот на високата печка. Подоцна 1775-1776 година, веќе се користела парна машина за добивање и за вдување воздух во високата печка.

Зголемувањето на притисокот и на количината на воздух и коксирањето на коксот овозможиле зголемување на капацитетот на високата печка. Во 1830 година во Шведска за првпат се вршело вдување на загреан воздух во високата печка, и тоа на температура од 150°C. Загревањето на воздухот најпрвин се вршело на принципот на рекуператори, а подоцна, англискиот истражувач Каупер предложил загревањето на воздухот да се врши на принцип на регенератори, што овозможува загревање на воздухот на температура од 800-900°C. Загревањето на воздухот овозможило да се намали потрошувачката на кокс во високите печки. Во 1900 година почнале да се применуваат гасни дувници, а во 1905 година, и парни турбодувници, што овозможило интензификација на процесот на топење во високите печки. Со развојот на индустријата во XIX век, се зголемува побарувачката на квалитетен челик. Челикот добиен од „пудлинг“ печките бил мек и требало дополнително да се цементира со загревање со дрвен кумур. Постапката за добивање течен челик ја открил англискиот истражувач Хунтсман во 1740 година, која се состоела од претопување на цементниот челик во тигел лонци. Бидејќи претопувањето и цементирањето, поради малата производност и дисконтинуираната работа, не ги задоволувале потребите, англискиот пронаоѓач Бесемер во 1856 година го решил

проблемот на масовното производство на челик во течна состојба, и според него, масовната преработка на течено железо во течен челик го добила името Бесемеров процес. Процесот се состоел од вдување на воздухот низ маса течено железо. При вдувањето доаѓало до согорување на составните елементи во железото (јаглерод, манган, фосфор, силициум), при што се ослободувала топлина за одвивање на процесот и железото преминувало во челик. Процесот се одвивал доста интензивно, при што 15-20 тони метал се продувувале за време од 10-15 минути.

За Бесемеровиот процес било потребно железо со низок процент на фосфор и сулфур. Земјите што произведувале железо со поголема содржина на фосфор не можеле да го преработат железото во челик по Бесемеровиот процес поради киселата облога на Бесемеровиот конвертор. Во 1879 година, Томас ја заменил киселата облога со базна, со што бил решен проблемот во врска со сулфурот и со фосфорот. Томасовиот процес овозможувал да се преработуваат железни руди со различен состав, а тоа, пак, овозможувало варирање на составот на железото, односно, подобрување на квалитетот на добиениот челик.

Развојот на индустријата, односно, зголемувањето на производноста на Бесемеровиот процес овозможило појава на огромни количества метални отпадоци, за чија преработка во челик била потребна посебна технологија.

Браќата Сименс и технологот Мартин во 1864 година конструирале нова печка и предложиле нова технологија за добивање челик, со користење метални отпадоци. Со оваа технологија се добивал челик со претопување на металните отпадоци, потоа чисто железо, и со комбинација на отпадоци и железо, се добил квалитетен челик.

Во 1900 година вршени биле експерименти за користење на електричната енергија за добивање челик од железо или отпадоци. Хераулт ја конструирал првата електрична печка, која во почетокот се користела за добивање челик од железо, а денес се користи за добивање електрочелик од отпадоци и од железо.

Во 1938 година, Тисланд и Холе конструирале електрична печка во која од руда се произведувало железо.

По Втората светска војна се зголемиле потребите за челик што условило усовершување на постојните процеси за добивање челик. Имено, со развојот на производството на кислород, наместо воздух, во конверторите се вдувувал кислород, што условило развој на кислородно-конверторски постапки.

Како гориво за ослободување топлина за процесот на топење се користел коксот. Коксот содржи и испарливи материи (јагленоводороди, кислород и азот), кои при зголемување на температурата, односно, при топењето, испаруваат. Нивното количество изнесува 0,2-1,2%. Коксот има многу мала способност да впива влага. Зголемената влажност на коксот го отежнува просејувањето на ситните фракции, при што се смалува количината на фракциите поситни од 10mm, а се зголемува количината на фракциите над 40mm. Исто така, непожелно е влажноста на коксот да биде над 1% бидејќи се образува поголема количина прав при транспортот. Потребно е секогаш да се одржува константна содржина на влага во коксот, бидејќи со тоа, се обезбедуваат константна содржина на јаглерод во коксот и константен топлотен режим на печката. Коксот, кој се користи во високите печки, во својот хемиски состав содржи 82-90% јаглерод, 7-10% пепел, 0,4-1,3% сулфур и 0,006-0,15% фосфор. Карактеристично за коксот што се употребува во високите печки е дека треба да содржи минимални количини сулфурдвооксид, т.е. сулфурот е непожелен бидејќи ја смалува количината на врзаниот јаглен, односно, ја зголемува

потрошувачката на коксот. Смалувањето на содржината на сулфурот во коксот за 0,1% ја намалува потрошувачката на коксот за 5-10kg по тон железо.

При топењето во високата печка фосфорот од коксот преминува во железото и затоа, потребно е коксот да содржи минимални количини фосфор. Коксот може да содржи зголемена содржина фосфор само во случај кога се произведува железо за преработка во Томасов конвертор, каде што во процесот се користи топлината на согорувањето на фосфорот.

Согорувањето, односно, реакционата способност на коксот да се врзе со кислородот многу влијае врз работата на високата печка. За зголемување на производноста на високите печки, кои работат со лесно редуktivни руди, потребен е кокс со зголемена реакциона способност.

5.2. Физичко-хемиски особини на железото

Железото е метал со сива боја кој има магнетни особини. Во природата се среќава во слободна состојба, во метеориди и во вулкански карпи. Се среќава како оксидни, карбонатни и суфидни руди. Температурата на топење му е 1538°C. Точката на вриење, 2861°C, специфичната маса, 7,875 g/cm³. Железото, во споредба со другите метали, претставува метал кој најмногу се употребува. На влажен воздух оксидира. Реагира со сулфурната и со солната киселина.

5.3. Суровини за производство на железо

Од железните руди, кои служат како суровини за црната металургија, најважни се оксидната и карбонатната руда. Во зависност од видот на рудните минерали, железните руди можат да се поделат на: магнетитни, хематитни, лимонитни и сидеритни.

Магнетитните руди спаѓаат во групата оксидни руди кои во себе го содржат минералот Fe₃O₄. Чистиот магнетит содржи 72,4% Fe, а при дробењето не формира ситнежи. Во допир со воздухот, постепено оксидира, односно, се смалува количината на FeO и на крајот, се добива хематит Fe₂O₃.

Хематитните руди спаѓаат во групата оксидни руди и го содржат минералот Fe₂O₃. Чистиот хематит содржи 70,1% Fe, а при дробењето се добива голема количина ситнеж. Минералот хематит, како чист, не содржи хидратна вода.

Лимонитните руди претставуваат оксидни руди на железото каде што основен минерал е Fe₂O₃, но се разликуваат од хематитот бидејќи содржат поголем број хидратисани молекули и се прикажуваат со хемиска формула Fe₂O₃nH₂O. Чистиот лимонит се изразува со формулата 2Fe₂O₃·3H₂O и содржи 66,1% Fe.

Сидеритните руди спаѓаат во групата карбонатни руди и содржат минерал од типот Fe₂CO₃. Чистиот сидерит содржи до 48,2% Fe и претставува доста компактна руда. Во составот на железните руди влегуваат и нерудните минерали, односно, јаловината која е составена од оксиди: SiO₂, Al₂O₃, CaO, MgO, и зависно од нивната количина и однос, јаловината може да биде кисела или базна. Ако количината на нерудните минерали е мала тогаш тие руди се сметаат за богати, односно, тоа се руди кои содржат од 40-50% Fe. Рудите каде што количината на нерудните минерали е поголема, а количината на железо е 20-30%, претставуваат сиромашни

железни руди. За експлоатација на овој тип руди потребно е нивно претходно збогатување. Збогатување на рудите се изведува со помош на дробење и мелење на рудата, сува и водена сепарација, при што од руда со 20-30% Fe се добиваат богати железни концентрати со 60-65% Fe.

Пред збогатувањето, рудата се дроби и се меле, при што по механички пат се раскинува врската меѓу рудните и нерудните минерали. Рудните концентрати се многу ситни материјали, и големината на честичите е до 0,1mm.

Во металургијата, како суровини се користат и пиритни изгореници, прав од висока печка, метален крш и струганици.

Содржината на железо во пиритните изгореници се движи во границите од 50 до 65%, меѓутоа, недостаток е што во составот содржат сулфур, бакар, олово, цинк, за кои потребно е претходно да се отстранат. Правта од високата печка содржи 40-55% Fe, а се добива со пречистување на гасовите од високата печка.

Валавничката троска се јавува како спореден производ при загревање на полуфабрикатите во валавничките печки.

Троската содржи до 50% Fe, а се среќава во вид на крупни парчиња кои се внесуваат во печката без претходна подготовка.

Коварината претставува ситен материјал кој се добива при валањето на челикот во валавниците. Коварината содржи до 20% железо. Металниот крш претставува отпадок кој се добива во ливната хала на високата печка, на ливната машина и во валавниците. Металните струганици претставуваат ситен материјал кој се добива при машинската обработка на делови од железо и од челик.

Во процесот на издвојување на железната руда од рудниците, покрај рудата во парчиња, висок процент од рудата претставува ситната фракција под 10mm. е Невозможно е да се изведе директната преработка на оваа руда во висока печка бидејќи во работата на печката, при вклучување на дувниците, честичите под 5mm ќе бидат издвоени со гасната струја во системот за пречистување на гасот.

Користењето ситен материјал под 5mm е можно само со претходна подготовка. Оваа подготовка на материјалот претставува окрупнување на ситниот материјал до гранулација која може да се преработува во високата печка. Окрупнувањето се изведува преку процес на брикетирање, на агломерирање и на пелетизација.

Под брикетирање на ситни руди и концентрати се подразбира нивно пресување во парчиња (брикети) со еднаков облик, кој може да биде правоаголен или јајцевиден. По пресувањето, брикетите се подложуваат на термичка и хемиска обработка за подобрување на нивните особини.

Окрупнувањето со агломерирање се состои од две меѓусебно поврзани фази: подготовка на мешавината за синтерување и синтерување во агломерациони машини.

Една од можностите за окрупнување на рудните концентрати претставува процесот на пелетизација, кој се состои од две основни операции: изработка на сурови пелети со одредени димензии и високотемпературно жарење на пелетите, со цел да се зголеми нивната цврстина.

5.3.1. Топители

Топителите претставуваат минерални материи кои при пирометалуршките процеси се користат за регулирање на хемискиот состав и за образување на троската. Топителите во пирометалуршките процеси хемиски ги врзуваат нерудните минерали во лесно топливи соединенија.

Топителите можат да бидат базни, кисели, и амфотермни. Базни топители се варовникот и доломитот; кисели се кварцитите; а амфотермни се бокситите.

При топењето во висока печка се користат базни и кисели топители, односно, варовник и кварцит.

Вредноста на варовникот како топител се оценува според содржината на CaO во чистиот варовник (CaCO_3 содржи 56% CaO). Во варовниците кои се користат во металургијата, минималната содржина на CaO треба да изнесува 52% за I класа и 50% за II класа. Квалитетот на варовникот зависи и од содржината на нерастворливите остатоци кои претставуваат SiO_2 и Al_2O_3 .

Исто така, за варовникот што се користи како топител во високата печка постои горна и долна гранична големина на парчињата. Горната гранична големина на парчињата изнесува 80-100mm, а долната гранична големина, 25mm. Потребно е варовникот за високата печка да има отпорност на притисок и на абење, односно, да има притисна цврстина од минимум 19,5 kPa.

Во процесот на топење во високата печка понекогаш се бара да се користи кисел топител. Во тој случај, се користи кварцит SiO_2 , кој претставува силициум двооксид со гранулација до 80mm.

5.3.2. Горива

Горивата претставуваат материи кои при согорувањето со кислородот ослободуваат голема количина топлина која се користи за изведување на металуршките процеси.

За производство на железо во висока печка како основно гориво се користи кокс или дрвен кумур, а како дополнително гориво се користи природен гас, мазут или јагленова прав. Коксот, дрвениот кумур и мазутот претставуваат вештачко гориво кое се добива од природните горива (јаглен, нафта) по одредена технолошка постапка.

Во високите печки како основно гориво се користи коксот, додека дрвениот кумур, само за производство на специјални видови железо. Освен како гориво, коксот при топењето се користи како редуцент, односно, за редуција на оксидите и за легирање на железото со јаглерод.

Коксот се добива по пат на коксирање во специјални печки, коксари, од различни видови коксни јаглени. Коксот се произведува во парчиња со гранулација 10-40mm. За производство на железо во високи печки се користи кокс со гранулација од 40mm.

Хемиските карактеристики на коксот се одредуваат преку: количината на волатилите (испарливи материи), влажноста, хемискиот состав, содржината на сулфур, на фосфор и на пепел.

По својот хемиски состав коксот главно содржи јаглерод, во помали количини јаглеводород, кислород, азот и сулфур. Содржината на врзаниот јаглерод се движи од 82 до 90%.

Прашања

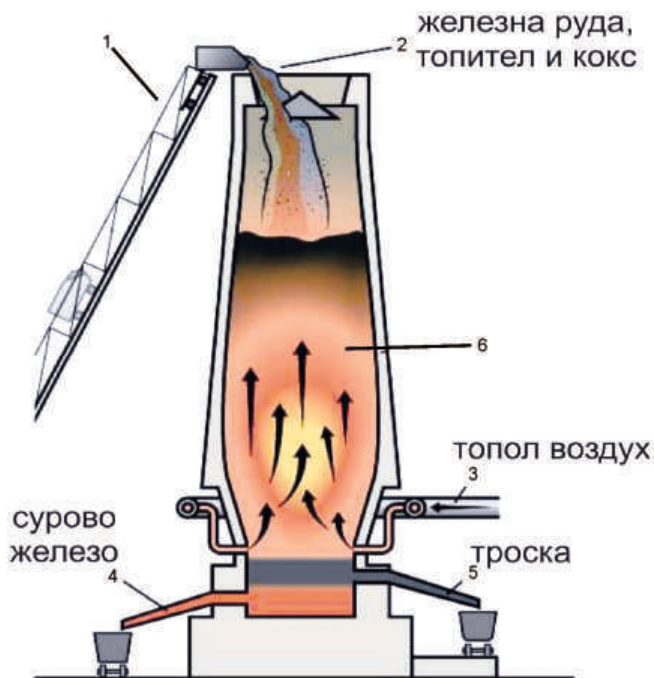
1. Како се добивало железото од грно и во рафинационо грно?
2. Каква е разликата меѓу грно и рафинационо грно?
3. Како се добивал челик по пудлинг процесот?
4. Каква е разликата меѓу Бесемеровиот и Томасовиот процес за добивање челик?
5. Какви суровини се користат за производство на железо и кои се нивните карактеристики?

5.4. Добивање железо во висока печка

5.4.1. Конструкција на високата печка

Високата печка претставува еден вид шахтна печка. Работниот профил на печката одозгора надолу е поделен на следниве делови: грло, труп, мев, седало и огниште. Секоја зона во печката има точно определена функција и влијание на материјалот кој се пушта одозгора надолу.

Процесот на производство на суровото железо во високата печка претставува сложен процес составен од механички, физички, топлотни и физичко-хемиски појави, каде што краен резултат претставува добивањето течно сурово железо, троска и гасови од појдовен материјал: руда, агломерат, топители и гориво. Процесот на топење во високата печка има непрекинат, односно, континуиран тек одозгора, при што во печката се додаваат суровините, руда, агломерат, топители и кокс, а долу низ дувниците се доведува загреан воздух, а во некои случаи, помешан со цврсто и течно гориво. Добиените гасови како производ на согорувањето минуваат низ столбот на шахтата и ја одведуваат својата хемиска и топлотна енергија. Рудниот засип се загрева, редуцира и на крајот се топи. На сл. 26 е прикажан работниот профил на високата печка со своите составни елементи.

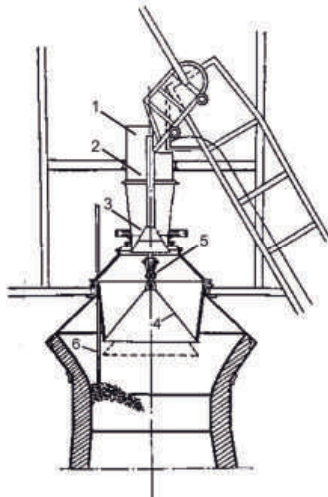


Слика 26. Вертикален пресек на висока печка.

1. уред за шаржирање, 2. шаржа (железна руда, кокс и топители), 3. загреан воздух,
4. сурово железо, 5. троска, 6. излезни гасови.

Во долниот дел на печката се наоѓа огништето кое служи за собирање на суровото железо и на троската. Отворите за испуштање на суровото железо се затвораат со маса од ситен кокс. Кога треба да се врши испуст, тогаш отворот се пробива, т.е. се врши пробод. Прободениот отвор за сурово железо се наоѓа повисоко од дното на огништето за да не се создаде мртов слој во висина од 500-1000mm. Високата печка има и два отвора за троска, изработени од бакарен цилиндар кој се лади со вода. Во горниот дел на огништето се распоредени дувниците преку кои влегува воздух. Ладењето на печката се врши со вертикални ладилници вградени во облогата. Трупот на печката е обложен со шамотни тули. Исто и трупот се лади со вертикални или хоризонтални ладилници. Во ждрелото на печката се вградени леани заштитни сегменти засидани од внатрешната страна. Тука се наоѓа засипниот систем. Засипот доаѓа во ждрелото на печката во скип преку мост. Скипот претставува вагонетка од две оски кои се движат на две дупли шини. Волуменот на скипот за современа печка изнесува 14 m^3 , т.е. во него може да се собере 7 тони кокс. Начинот на шаржирањето на коксот шематски е прикажан на сл. 27.

Засипот се шаржира во високата печка со помош на шаржниот механизам (сл. 27) кој се состои од приемен бункер (1), ротациона инка (2), мал конус (3) и голем конус (4). Наизменичното спуштање на малиот и на големиот конус го спречува излегувањето на гасовите во атмосферата, а ротационата инка, со помош на малиот конус, рамномерно ја распоредува шаржата во големиот конус, а преку него, во печката. Бидејќи шаржата се наоѓа од една иста страна на малиот конус, таа предизвикува нерамномерно засипување на печката, при што ротационата инка ја смалува оваа нерамномерност.



Слика 27. Шема на двокопусен засипен систем.

1. приемен бункер, 2. ротациона инка,
3. мал конус, 4. голем конус,
5. запченик кој го движи малиот конус,
6. сонда за мерење на висината на засипот.

5.4.2. Засип на високата печка, распоред на засипниот материјал и на гасовите

Рамномерна работа на високата печка и најправилно искористување на топлотната и хемиската енергија се постигнуваат со правилна распределба на материјалот во ждрелото од печката, односно, со соодветен распоред на движењето на гасниот ток одоздола нагоре.

Во практични услови, докажано е дека рамномерна работа на високата печка е можна при нерамномерна распределба на материјалот и на гасниот ток по должината на печката, односно, при смалена содржина на јаглероддвооксид покрај сидовите и во центарот на печката.

Тоа значи дека за нормална работа на печката, потребна е активна работа на печката во централната зона (зона на огништето), што обезбедува насочување на гасовите низ центарот на печката. Во современите високи печки, распределбата на материјалот и на гасовите е правилна ако содржината на јаглероддиоксидот на периферијата од ждрелото на печката изнесува 8-12%, а во центарот, 6-8%. За правилна распределба на гасовите, потребно е при засипувањето, најголемиот дел од материјалот (агломератот) да биде подалеку од сидовите на грлото, а помал дел во центарот.

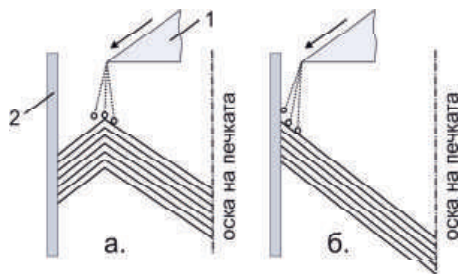
Распределбата на материјалот, односно, протокот на гасовите се постигнува со двоконусен апарат со кружен распоредувач на материјалот.

Основни фактори, кои влијаат врз распределбата на материјалот и врз протокот на гасовите, се: големината на засипот на коксот и на рудата (агломератот), особините на материјалот кој се засипува, гранулацијата, насипната тежина, насипниот агол, редоследот на засипувањето итн.

Сите овие фактори што ја определуваат распределбата на материјалот, односно, протокот на гасовите, влијаат врз режимот на засипувањето, а нивното менување во текот на процесот претставува таканаречено „водење на печката одозгора“. Распределбата на материјалот на ждрелото на печката може да се подели на хоризонтална и вертикална.

Хоризонталната распределба се добива во хоризонтален пресек на ждрелото со празнење на скипот во малиот конус. Вертикалната распределба се добива по вертикален пресек на ждрелото, а зависи од големината на коксниот засип и од начинот на засипувањето на материјалот во печката.

При внесување на материјалот во ждрелото на печката, се формира гребен, при што поситниот материјал останува на врвот, а покрупниот, на подножјето од гребенот. Од големината на растојанието помеѓу конусот и врвот на гребенот зависи колку ќе биде врвот на формируваниот гребен оддалечен од сидот на ждрелото на печката. Ако растојанието е помало, врвот на гребенот ќе биде поблизу до сидовите на ждрелото. Значи, со промената на растојанието помеѓу конусот и засипот може да се помести гребенот на засипот на определено растојание од сидот на печката. Влијанието на големината на растојанието помеѓу гребенот и конусот врз распределбата на материјалот на ждрелото од печката е прикажано на сл. 28.



Слика 28. Влијание на растојанието меѓу гребенот и конусот врз распределбата на материјалот.

а) големо растојание б) мало растојание, 1. конус, 2. сид.

На положбата на гребенот влијае висината на нивото на насипаниот материјал. Доколку нивото е пониско, гребенот од насипаниот материјал ќе биде поблиску до сидовите на ждрелото, додека високото ниво го одделува гребенот од сидовите и се развива периферен проток на гасовите. За нормална работа на високата печка потребно е да се воспостави оптимално ниво на насипаниот материјал. Оптималното ниво на насипаниот материјал се одредува претходно, и за воспоставени услови на работа, се одржува константно.

Прашања

1. Кои се составните делови на високата печка?
2. Како се врши шаржирањето на високата печка?
3. Кои се основните фактори кои влијаат врз распределбата на материјалот и врз протокот на гасовите?

5.5. Процеси на топење во високата печка

Суштината на процесот на топење во високата печка претставуваат физичко-хемиски промени на засипниот материјал со формирање железо и троска. Овие процеси со одвиваат во зависност од движењето на материјалот низ печката и од топлотните измени помеѓу засипниот материјал и претгреаниот гас. Засипниот материјал континуирано се движи одозгора надолу низ печката, во спротивна насока на гасовите, кои се формираат со согорување на коксот пред дувниците. Брзината на спуштањето на материјалот по пресекот на печката е нерамномерна и се движи во граници од 20-150mm/min. Нерамномерната брзина на спуштање на материјалот по пресекот на печката предизвикува побрзо протекување надолу на тешки и лесни материјали, т.е. на рудниот дел од засипот.

Рудниот дел од засипот се движи надолу, потиснувајќи го конусот кон сидовите на печката. Движењето на гасовите нагоре низ печката се одвива со многу поголема брзина од движењето на материјалот надолу. За успешно водење на процесот во високата печка, многу значајна е правилната распределба на топлината и на температурата по висина на печката бидејќи во тој случај, постои можност да се одвиваат потребните хемиски реакции.

Процесот на топење на железната руда во висока печка може да се претстави на следниов начин: коксот пред дувниците непрекинато согорува во струјата на воздухот кој се внесува преку дувниците; како резултат на согорувањето на коксот, се образува гас со висок процент на јаглородмоноксид; на местото на согорениот кокс доаѓа нова количина кокс, а дел од коксот, кој не согорил, како течна троска преминува во долниот дел на огништето.

Претгреаните гасови одат кон горните зони на печката, предавајќи ја својата топлина на материјалите што се движат надолу и вршејќи истовремено редуција на железото од оксидите. Со внесување на материјалот во печката, тој стапува во контакт со загреаните гасови на температура 250-500°C.

Од материјалот најпрвин се одвојуваат влагата и испарливите материји. На температура од 400°C почнува редуција на оксидите на железото, а од 900°C, разложување на карбонатите. Со движење на материјалот во долната зона на повисоки температури, се зголемува интензитетот на редуцијата на оксидите на железото, и на 1000°C, поголем дел од повисоките оксиди на железото се редуцирани до FeO (железен моноксид). Значи, на овој начин се образува сунѓересто железо кое се најагленисува и растопено преминува во огништето.

Јаловината на рудата доаѓа во контакт со калциумоксидот, и на температури повисоки од 1100 °C, се добива смеша која се формира во зоната на стомакот на печката и како троска преминува во огништето.

За одвивање на сите овие процеси во високата печка, потребна е голема количина топлина, која освен што се троши на процесот на топење, се губи со гасовите, троската и железото, преку системот за ладење и др. Потребната топлина се обезбедува со согорување на коксот, со загревање на воздухот и со внесување на течно гориво.

Атмосферата во високата печка, освен во околината на дувниците каде коксот согорува со кислородот од воздухот, е изразито редуktivна, што овозможува редуktivно топење на рудата.

При движењето на материјалот од грлото на печката кон огништето се одвиваат следниве процеси:

- Разложување на материјалот кое опфаќа: испарување на влагата, разложување на хидратната вода, издвојување на волатилите и разложување на карбонатите.
- Редукција на железните оксиди по индиректна и директна постапка.
- Редукција на: манганот, силициумот, фосфорот, сулфурот и други елементи.
- Образување железо и троска.

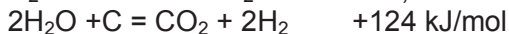
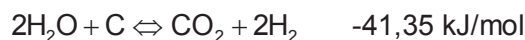
5.5.1. Разложување на компонентите на засипот

Засипот што се шаржира во печката содржи хигроскопна и хидратна или кристална влага.

Хигроскопната влага лесно испарува во грлото на печката и за нејзино отстранување не е потребна дополнителна топлина бидејќи температурата на гасовите е поголема отколку температурата на испарување на водата.

Хидратната влага се среќава само во случај кога се топи руда, а не агломерат, т.е. лимонитните руди.

Рудите на железо од типот на лимонит секогаш се сврзани со мали количини Al_2O_3 и хидратна вода. Оваа руда се разложува на температура од 400 до 1000°C, ослободувајќи водена пара која доаѓа во зона каде под дејство на јаглеродмоноксид од гасот, се разложува според реакциите:



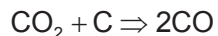
Првата реакција е со позитивен топлотен ефект, меѓутоа нема посебно значење бидејќи топлината се одделува во грлото и се изнесува со гасовите.

Другите две реакции се со негативен топлотен ефект (ендотермни). Тие се одвиваат во температурен интервал од 500 до 1000°C, нивното одвивање е сврзано со потрошувачката на топлина.

Гасот од високата печка содржи извесна количина испарливи материи, кои испаруваат при согорување на коксот и се издвојуваат во определениот дел од печката. Испарливите материи (волатилите) содржат: 39,5% H_2 , 14% CO_2 , 0,9% CH_4 . Карбонатите во високата печка се наоѓаат во форма на $CaCO_3$, $MgCO_3$, $MnCO_3$, $FeCO_3$, и тие се разложуваат според еднотермната реакција:



На температури преку 1000°C, дел од јаглеродвоксидот од коксот се редуцира според реакцијата:



Се претпоставува дека околу 30-70% CO_2 се разложуваат со јаглеродот од коксот. Преостанатиот дел на CO_2 ги смалува редуktivната способност на гасот од високата печка и степенот на индиректна редукција на оксидите.

Во денешно време сè повеќе се употребуваат синтерувани агломерати, каде што карбонатите веќе не постојат, што ја исклучува можноста карбонатите да дојдат во високата печка.

5.5.2. Редукција на железните оксиди

Процесот на редукција на железните оксиди од агломератот и од рудата претставува основна цел при работата на високата печка, при што како производ се добива сурово железо. Реакциите на редукција на железните оксиди се одвиваат во високата печка, при истовремено дејство на температурата и редуцентите јаглеродмоноксид (CO), водород (H₂) и цврст јаглерод (C).

Самиот процес на редукција се состои од постепено одземање на кислородот од оксидите на железото, што може да се прикаже според реакциите:

а) При температура пониска од 570°C



б) При температура повисока од 570°C



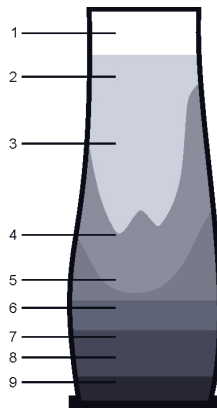
Редуценти на железните оксиди во високата печка се: јаглеродот, јаглеродмоноксидот и водородот.

Редукцијата, која се одвива со помош на гасовите CO и H₂, се вика индиректна, а со помош на јаглеродот, директна редукција.

Големината на зоната во која се одвива индиректна или директна редукција, како и брзината на одвивањето на реакциите, зависат од повеќе фактори, како што се: температурата, составот и брзината на гасовите, редуктивноста на рудата, режимот на работата на печката и др.

Работниот волумен на високата печка може да се подели на три зони и тоа:

- зона каде што владеат температури под 800°C, а се одвиваат реакции на индиректна редукција;
- зона каде температурата е 800 до 1100°C, каде се одвиваат реакции на индиректна и директна редукција и
- зона со температура над 1100°C каде се одвиваат реакции на директна редукција.



Слика 29. Зони на редукција на железните оксиди во високата печка.

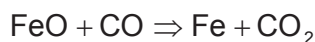
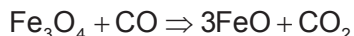
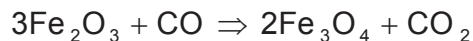
1. зона на шаржирање, 2. зона на загревање, 3. зона на индиректна редукција, 4. зона на индиректна и директна редукција, 5. зона на директна редукција, 6. зона на огниште, 7. зона на формирање на железо и троска, 8. зона на троска, 9. зона на сурово железо.

На сл. 29 е прикажан распоредот на наведените зони во висината на профилот на печката.

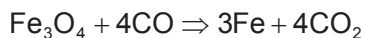
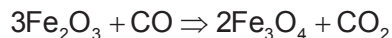
Брзината на редукционите процеси во високата печка се зголемува со зголемување на: температурата, брзината на гасовите и содржината на редуцентот.

Редукцијата се забавува ако рудата содржи тешко топливи минерали (магнетити, силикати и железо) или големи парчиња јаловина.

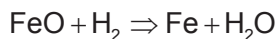
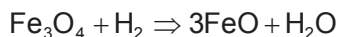
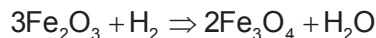
Индиректната редукција на железните оксиди со јаглеродмоноксид, при температури повисоки од 557°C , се одвива според реакциите:



додека при температури пониски од 570°C :

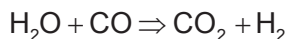


Ако индиректната редукција се одвива со водород, тогаш се одвиваат следниве реакции:

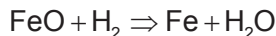


На температура под 570°C , редукцијата се одвива аналогно како со јаглеродмоноксид, а на температура над 570°C , редукцијата се одвива со вишок на водород.

Над 1000°C, водената пара се разложува под дејство на јаглеродмоноксид според реакцијата:

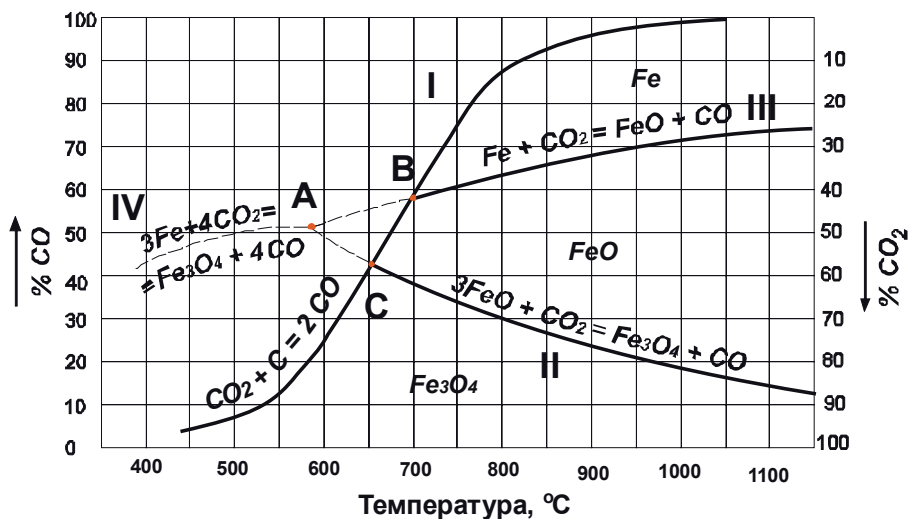


Формирианиот водород се троши на реакцијата на редукција:



До температура од 810°C, во составот на рамнотежната смеса водородот треба да биде повеќе од јаглеродмоноксидот, додека при повисоки температури, јаглеродмоноксидот треба да биде повеќе од водородот.

На дијаграмот на сл. 30 е прикажана рамнотежната состојба на гасната смеса CO и CO₂ со железните оксиди и железото.



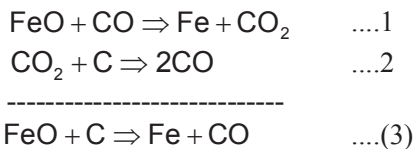
Слика 30. Рамнотежна состојба при редукција на железни оксиди Fe₃O₄, FeO со помош на CO и на CO₂ во зависност од температурата.

Рамнотежниот состав на гасната фаза за реакција на редукција на Fe₃O₄ и на FeO одговара на кривите 2 и 3.

Директната редукција на железните оксиди се одвива на температури повисоки од 1100°C. Директната редукција на железните оксиди преостанати од индиректната редукција се врши со цврст јаглерод од коксот.

Директната редукција на железните оксиди со јаглеродот од коксот не се одвива со директен контакт на рудата и коксот, туку преку гасната фаза.

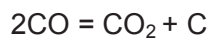
Процесот на директна редукција може да се прикаже преку збирната реакција (3):



На прв поглед, од горните равенки произлегува дека редуцијата на FeO се врши со јаглеродмоноксид; сепак, реакцијата не е индиректна бидејќи јаглеродмоноксидот настанал со разложување на CO₂ со јаглерод. Значи, јаглерод моноксидот во реакцијата на директна редуција се јавува како фактор кој ја забрзува самата реакција, т.е. преку него, јаглеродот се претвора во јаглерод моноксид и како таков, се троши за редуција на железните оксиди.

Редуцијата на CO₂ по реакцијата CO₂ + C → 2CO интензивно се одвива на температури над 950°C и во вишок C.

На температури од 400 до 600°C, се одвива спротивна реакција, таканаречена Белова реакција:



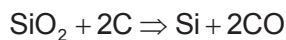
Беловата реакција го зголемува искористувањето на јаглеродот, т.е. со смалување на количината на јаглеродмоноксидот во гасот, ја спречува индиректната редуција.

Минималната потрошувачка на кокс во високата печка не би била остварена кога редуцијата на железните оксиди во целост би се одвивала преку индиректна редуција. Имено, со зголемувањето на степенот на индиректната редуција, во огништето ќе се образува вишок топлина, а поради намалување на директната редуција која троши топлина, ќе се предизвика нарушување на правилниот режим на работа на печката.

Значи, оптималниот степен на директна редуција зависи од потребната количина топлина за процесот во високата печка, од количината топлина која се внесува со воздухот, како и од количината додатни редуценти (мазут, гас). Колку е помала количината топлина за процесот во високата печка и колку е повисока температурата на воздухот, степенот на директната редуција ќе биде поголем. Во денешни услови, кај високите печки кои работат економично, околу 30% од оксидите на железото се редуцираат преку директна редуција.

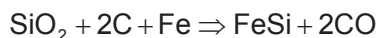
Во суровото железо, освен 93-94% Fe, содржани се 6-7% и други елементи, како: јаглерод, силициум, манган, фосфор и сулфур. Во одделни случаи, покрај овие елементи, присутни се: бакар, никел, хром, ванадиум и др. Сите овие елементи при топењето во високата печка се редуцираат и преминуваат во железото.

Силициумот може да се редуцира во високата печка само по пат на директна редуција. Редуцијата се одвива на температура од 1450°C, во седалото на високата печка. Утврдено е дека редуцијата на силициумдиоксидот се одвива според равенката:



Меѓутоа, утврдено е дека редуцијата на силициумот во високата печка се одвива и на пониска температура од 1450°C бидејќи се формираат соединенија на силициумот со железото (FeSi), и силициумот преминува во метален растоп.

Редуцијата на силициумот може да се претстави според равенката:



Оваа реакција се одвива на температура од 1050 до 1150°C. За зголемување на степенот на редуцијата на силициумот, потребни се: висока температура на

воздухот, користење воздух збогатен со кислород, подготовка на шаржа со кисела содржина во јаловината или да се работи со кисела троска со зголемена содржина на Al_2O_3 .

5.5.3. Формирање троска

Првата течна фаза која во печката се појавува пред образување на течното железо е троската. Троската претставува стопена јаловина од рудата и агломератот, коксот и топители.

На самиот процес на формирањето на течната троска му претходат низа подготвителни процеси, кои се одвиваат уште во цврстите, а делумно и во размекнатите материјали.

На температури од $800-1100^{\circ}C$ се одвива синтерување на железните рудни материјали. Процесот на синтерување претставува комбинација од физичко слепување на честичите на оксидите и нивно заемно хемиско дејство, при што се формираат нови соединенија.

Синтеруваниот материјал на повисоки температури почнува да се размекнува. Процесот на размекнување му претходи на формирањето течна троска, при што завршна фаза на размекнувањето претставуваат топењето и формирањето течна троска.

Првата течна троска претставува предтроска. Формирањето течна предтроска се одвива главно во долниот дел од шахтата на високата печка, при температура $1100-1200^{\circ}C$.

Во текот на движењето надолу, троската се загрева, нејзината количина се зголемува, а со тоа, се менува и нејзиниот хемиски состав како резултат на формирањето големи количини: SiO_2 , CaO , MgO , Al_2O_3 . Формираната предтроска содржи: 30-40% SiO_2 , 11-20% Al_2O_3 , 27-35% CaO , 6% MgO и др.

Троската што се формира во долниот дел на седалото и во горниот дел на огништето, се вика меѓутроска која содржи просечно: 35-38% SiO_2 , 6% Al_2O_3 , 39-40% CaO , 2% MgO .

Конечната троска се формира на ниво на дувниците, каде што во составот на троската влегуваат и оксидите од пепелот на коксот, како и други елементи кои се делумно оксидирани во зоната на дувниците.

Прашања

1. Како се врши формирањето на железото и на троската во високата печка?
2. Како се менува составот на гасот по висина на печката?
3. Кои фактори влијаат врз интензификацијата на процесот во високата печка?
4. Зошто се користи претгреан воздух при процесот на топење во високата печка?
5. Како влијае зголемувањето на содржината на кислород во воздухот врз производноста на високата печка?

5.5.4. Производи на високата печка (сурово железо)

Под сурово железо се подразбираат сите легури на железото и јаглеродот кои содржат повеќе од 2,14% јаглерод. Суровото железо претставува примарна легура бидејќи се добива директно со редуција од рудата. Во својот состав, покрај јаглеродот, суровото железо содржи одредени количини силициум, манган, фосфор, сулфур, бакар, арсен и други нечистотии. Кај одредени видови железо посебно се додаваат овие елементи за постигнување на одредени особини на железото.

Врз основа на хемискиот состав, суровото железо може да се подели на: бело, сиво, мелирано и специјално железо.

Под бело железо се подразбираат легури на железо и јаглерод кои содржат повеќе од 2,14% јаглерод. Во овој вид железо, јаглеродот, кој не е во цврст раствор со железото, е издвоен во вид на железен карбид – цементит. Површината на преломот кај белото железо е светла поради издвоениот карбид и затоа се вика бело железо. Ова железо поради својата голема тврдина и крутост директно не се користи, туку оди на понатамошна преработка за добивање на челик.

Под сиво сурово железо се подразбираат легурите на железо и јаглерод кои содржат повеќе од 2,14% јаглерод. Целокупниот јаглерод, кој не е во цврст раствор со железото, е издвоен делумно како графит, а делумно како цементит, што зависи од брзината на ладењето. Издвоениот графит му дава темно на сивото железо сив прелом, и затоа ова железо претставува сиво железо, кое се карактеризира со најголема цврстина. Сивото железо, поради својата цврстина, се користи за изработка на одливници и конструкциони материјали. Бидејќи поради својата слаба пластичност, се преработува со леене, сивото железо има назив и сив лив.

Постојат и таканаречени мелирани железа, кои претставуваат премин од бело во сиво железо, т.е. сурово железо каде што јаглеродот е издвоен во облик на цементит и во облик на графит. Ова се постигнува со регулирање на содржината на силициум и со брзината на ладењето.

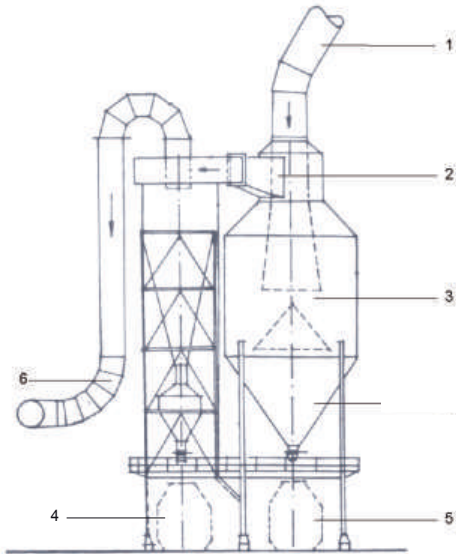
Постојат и специјални железа кои претставуваат легирани железа кои содржат поголеми количини силициум, манган и елементи како: Ni, Cr, Mo, V, Ti, Al, при што поединечни елементи се додаваат за подобрување на одредени особини на железото. Специјалните железа можат да бидат ниско и високолегираните железа.

Кај нисколегираните железа количината на додатните елементи не преминува повеќе од 5%, додека кај високолегираните железа количината на одделните легираните елементи е поголема и од 10%.

5.5.5. Прав и гасови од високата печка

Со гасовите од високата печка излегуваат ситни честици (прав), кои при работа на печката со агломерирани материјали имаат 30-40 g/dm³ прав, а при работа со суров неподготвен материјал, 50-100g/dm³ прав. Овие гасови се пречистуваат до дозволена содржина на нечистотии.

Гасот може да се пречистува грубо, средно и фино. Грубото пречистување се врши во уред наречен фаќач на правта, кој претставува вертикален цилиндар со конус во долниот дел (сл. 31). Доводната цевка влегува во фаќачот на правта, при што гасот ја менува насоката при излегување од фаќачот на неговиот горен дел. Овде гасот се пречистува до 1-4 g/dm³ прав. На сл. 31 е прикажан уред за фаќање на правта.



Слика 31. Циклон и фаќач на правта.
1. влез на гасовите, 2. распрснувач на вода, 3. дезинтегратор,
4., 5. резервоари за прав, 6. излез на пречистен гас.

Средното чистење на гасот се врши во скрубери кои се слични на фаќачите на правта. Тие претставуваат цилиндри изработени од челична лимарија со дијаметар од 7 m и висина до 30 m. Во горниот дел се распрснува вода, која при довод на гасот ги навлажува честиците од гасот, кои како потешки се одвојуваат од него. При пречистување на гасот низ скруберот, гасот содржи $0,3-0,5 \text{ g/m}^3$ честици прав.

Финото чистење на гасот од високата печка може да се врши на 4 начини: водена постапка со дезинтегратор, суво флотирање на гасовите, електрофилтри и вентури цевки.

Воденото пречистување претставува минување на гасот преку дезинтегратор во кој се внесува вода која се распрснува и се меша со гасот. Навлажнетите честици на правта отежнуваат, а бидејќи во дезинтеграторот ротираат, се отфрлуваат надвор од оклопот, каде се исплакнуваат со вода.

Сувото пречистување се врши во коморни филтри со вреќи. Во коморите се обесени вреќи низ кои проминува гасот, ја остава правта во вреќите и излегува пречистен од гасовите. Пречистувањето на гасот од високата печка се врши и во електрофилтри, каде се врши наелектризирање на честиците од правта (анода) и нивно таложење (катода) при нивното празнење.

Електрофилтерот претставува затворена комора во која електроди од жица се обесени на изолатори. Правта што се таложи на електродите на комората се тресе со удирање со чекани.

Прашања

1. Што претставува суровото железо?
2. Какви видови сурово железо постојат според хемискиот состав?
3. Кои се основните карактеристики на троската?
4. Кои услови треба да ги задоволи троската за нормална работа на печката?
5. Како се врши пречистување на излезните гасови?

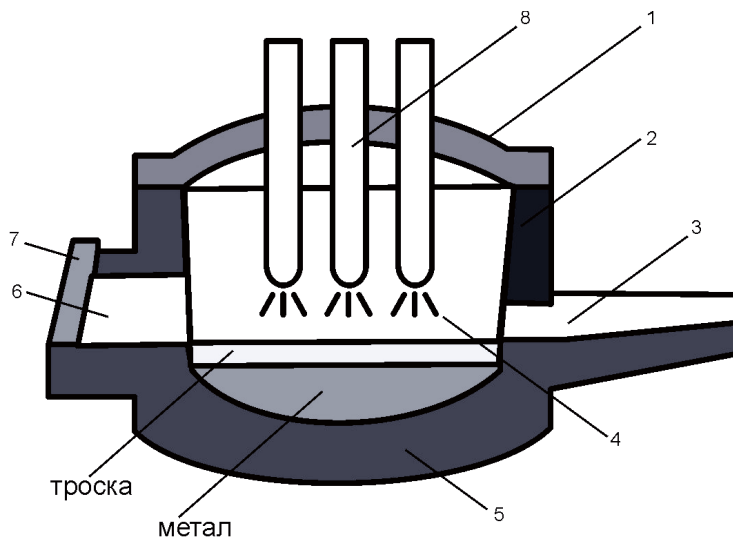
5.6. Добивање сурово железо во електро печката

Во земјите кои имаат доволно електрична енергија, а како суровина се користи богата железна руда, топењето се врши во електро печки. Првите конструкции на електропечките биле такви што деловите од сидот претставувале електроди. Кај овој вид печки, голема количина енергија се ослободувала од сидот на печката и се покажале како неекономични. Подоцна овие печки се усовршиле на тој начин што се конструирале електроди, кои се внесувале во шаржата. Во почетокот електродите биле поставени на нивото на дувниците. Оваа конструкција на електро печката се усовршувала со проширување на долниот дел од печката, при што количината на гасовите потребна за загревање на материјалот во оваа печка била 5-6 пати помала отколку во високата печка.

Во 1921 година Тисланд конструирал мала печка со капацитет од 500 KW во која како редукционо средство се користел кокс. Подоцна оваа печка се усовршила со поставување на три електроди, при што шаржирањето се вршело околу секоја електрода. За редукција се користел ситен кокс или антрацит.

Електро печката за топење сурово железо (сл.32) има кружен облик и е покриена со свод низ кој поминуваат три електроди. Електродите во текот на процесот се синтеруваат и на тој начин, непрекинато се обновуваат а нивната положба се регулира автоматски. Пречникот на електро печката може да достигне и до 15 метри, а висината се движи од 4 до 8m.

Од надворешната страна печката е изградена од метална облога, а од внатрешната страна е осидана со шамотна и магнезитна тула. Од долната страна печката има отвори за излевање на суровото железо и на троската. Во горниот дел од печката се наоѓаат отвори за издвојување на гасовите, кои преку гасовод се прифаќаат и се носат на пречистување. Печката од горната страна е покриена со поклопка, која е изработена од посебна конструкција со трапезен простор.



Слика 32. Пресек на електро печка.
 1. механизам за движење, 2. графитни електроди, 3. зона на топење на рудата,
 4. осид на печката, 5. фундамент на печката.

Оваа конструкција на сводот од печката ја носи опеката која е изработена од магнезитен или високоалуминозен материјал. На сводот на печката се наоѓаат три отвори за електроди, кои се поставени во надолжна оска на печката или во облик на триаголник. Електричната енергија во печката се пренесува преку електроди.

Денес најмногу се користат Седерберговите електроди, кои се направени во вид на цилиндар од челична ламарина со дебелина 1,5-2,5mm и пречник до 1900mm. Над самата печка постои платформа од каде што се шаржира електродната маса. Со спуштање на електродната маса надолу, таа се пече, при што се формира самата електрода. Електродите имаат бакарни цилиндри преку кои се доведува електрична енергија. Во горниот дел се наоѓаат контактни прстени кои ги обвиткуваат електродите. Електродната маса постепено се коксира во самата електрода, при што оној дел од електродата кој се наоѓа во шаржата е коксиран. Во текот на процесот, електродите се трошат, па поради тоа, потребно е тие да се продолжуваат. Електричната енергија преку контактните челюсти поминува низ обвивката на електродата, ослободува дел од топлината, при што еден дел од топлината за печење на електродите се добива со преносот на топлината од печката до контактниот прстен. Електродната маса при загревањето најпрвин станува тестеста на температура од 80 до 100°C, а со зголемувањето на температурата (500°C), почнува да се коксира и се добива печена електрода, која е добар проводник на електрична енергија.

Електродите се вметнати во материјалот во печката со должина од 2-3 m. Електричната енергија преку електродите преминува низ засипниот материјал, троската и железото и го затвора струјниот круг. Како резултат на отпорот што го даваат засипниот материјал, троската и железото, доаѓа до паѓање на напонот, кој е најизразен непосредно под електродата во засипниот материјал. Со промената на напонот се менува и зоната на работа, при што ако напонот е поголем, има пошироко подрачје низ кое поминува струјата, односно, поголемо подрачје на работа на печката.

5.6.1. Состав на шаржата за електро печката

Изборот на суровините во електро печката може да биде широк бидејќи не се поставуваат строги критериуми во однос на хемиските особини. Во печката потребно е да се обезбеди добра пропустливост на шаржата, при што материјалот кој се шаржира треба да има помалку ситни фракции и прав. Најдобра гранулација на материјалот е 20-50 mm.

Основна суровина во електро печката е железната руда, која пред внесувањето, претходно се подготвува во вид на пелети, брикети и агломерат, кои се шаржираат во печката во одреден однос.

Како редуцијоно средство се користи металуршки кокс, дрвен јаглен, антарцит, лигнит или некои други горива со послаб квалитет. При изборот на редуцијоното средство, потребно е да се обрне внимание на гранулометрискиот состав и на распоредот во мешавината. Во практиката, главно се користат два вида гранулометриски состави за редуцент, и тоа, од 30-50 mm и од 5-20 mm. Јаглеродот во горивото варира од 30 до 90%. Во шаржата се додава како топител доломит со гранулација 20-50mm, со цел да се добие троска со определен хемиски состав.

Во електро печката при процесот на добивање железо, редуцијата на оксидите на железото се одвива главно по директен пат со учество на цврст јаглерод. Процесите на редуција, на образување железо и троска и на

отстранување на штетните состојки се одвиваат со голема брзина, посебно во зоната на електричниот лак каде што температурите се највисоки. Главната количина топлина потребна за процесот на топење кај електричните печки се образува преку електричниот лак над растопот, во самиот растоп и во слојот од шаржата кој е во непосреден допир со електродите. Во електропечките, реакциите на редукцијата на железните оксиди се одвиваат со директна редукција, додека само 10% од сите реакции се одвиваат со индиректна редукција со јаглеродмоноксид. При топењето во електро печка, потрошувачката на кокс е за 50% помала отколку во високата печка, поради што помала е и потрошувачката на топители. Исто така, помала е количината на сулфур и на фосфор во металот, што е резултат на високите температури.

При процесот на топење, во електро печката се добива сурово железо како основен производ, а споредни производи се троската и гасот.

Суровото железо добиено во електропечката има променлив состав, а главно се добива железо со низок процент на сулфур, односно, со приближен состав:

C 3-3,2%; Si 1,5-3%; Mn 0,2-0,3%; P 1,3-1,6%; S 0,1-0,3%.

Троската добиена од електро печката при услови во кои се изведува процесот, односно, високите температури, го има следниов просечен состав:

SiO₂ 35%; TiO₂ 13%; CaO 43%; MnO 7,5%; FeO - 1%.

Карактеристично е троските да имаат базен карактер, а базноста на троската се движи од 1,2 до 1,8. Базноста на троската е односот на базните и киселите оксиди во неа.

При топењето во електро печка се добива неколкупати помала количина гасови во однос на високата печка. Количината на гасовите изнесува 600-700 Nm³/тон сурово железо, кои се карактеризираат со висока топлотна моќ, што овозможува да се користат како гориво. Просечниот состав на излезните гасови од електропечката е:

CO₂ 19,6%; CO 64-72%; O₂ 0,25%; CH₄ 0,55%; H₂ 3,4%; N₂ 8,7%.

Гасовите ја напуштаат печката преку гасовод кој се наоѓа на сводот. Гасот најпрвин преминува низ комора во која се распрснува вода за ладење и грубо прочистување на гасот. Потоа, гасот оди во наредната фаза на фино пречистување во дезинтегратори, во кои се провсмукнува гасот со истовремено додавање вода. Излезниот гас, кој со себе носи наквасени честици, преминува низ колона со прстени каде што се отстрануваат водата и преостанатите честици.

Процесот на топење на железни руди во електропечката ги има следниве предности во однос на топењето со високата печка:

- Ако се спореди цената на коксот и електричната енергија по тон произведено сурово железо, поекономично е користењето на електричната енергија.
- Со користењето на електричната енергија, потрошувачката на горивото се смалува до 50%, со што во железото се внесува изразито помала количина примеси од коксот (фосфор, сулфур и пепел).
- Високата температура во печката овозможува работа на печката со базни троски, при што се создаваат услови за добра десулфурација.
- При топењето се добива висококалоричен гас.

Прашања

1. На кој принцип работеле првите електро печки?
2. Опиши ги основните карактеристики на електро печката.
3. Кои суровини се употребуваат за производство на сурово железо во електро печка?
4. На кој принцип се врши шаржирање во електро печката?
5. Кои горива се користат за редукција во електро печката?
6. Кои се основните производи на електро печката и нивните карактеристики?
7. Како се прочистува гасот од електро печката?

5.7. Обработка на железото надвор од високата печка

Железото добиено од високата печка, кое се користи за понатамошна преработка во челик, во својот состав содржи примеси чија количина се движи во граници од 5 до 8%. Бидејќи суштината на процесот на добивање на челикот претставува отстранување на примесите, потребна е претходна делумна обработка на течното железо, со цел делумно отстранување на примесите. Во зависност од самиот процес и од уредот за добивање челик, примесите во железото можат да бидат сосема или делумно непожелни. Имено, сулфурот е непожелен за сите видови челици, фосфорот, за сите видови, освен за Томасовиот челик. Силициумот и манганот се неопходни до определени концентрации, а пречекорувањето предизвикува тешкотии во процесот. Исто и јаглеродот е неопходен до определена граница во зависност од содржината на јаглерод во готовиот челик.

За да се ограничат тешкотиите што ги предизвикуваат примесите во железото, течното железо, пред внесување во уредот за добивање челик, се подложува на претходна рафинација. Рафинацијата на течното железо се изведува со цел од него да се отстранат во потребната мера силициумот, манганот, фосфорот, сулфурот и јаглеродот. Рафинацијата на течното железо може да се изведува во лонците за пренос на железото и во миксери.

Рафинацијата на течното железо во лонец се изведува на следниов начин: лонецот со течно железо се поставува на специјална подлога и се врши продувување на железото со кислород, преку дувница ладена со вода; во течниот метал се вдувува гас со содржина на кислород околу 70%, за време од 30-40 минути; на крајот од рафинацијата, концентрацијата на силициумот опаѓа за 0,3-0,4%, а на манганот, за 0,2-0,3%.

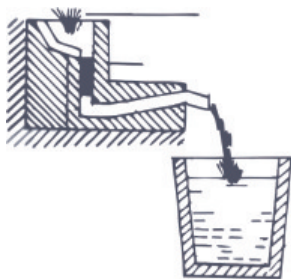
Подоцна при рафинацијата на течното железо во лонец освен кислород пред продувувањето се внесувал варовник (CaCO_3).

При оваа постапка од железото се отстранува околу 0,4% C, 0,4% Si, 0,2% P, 0,008% S.

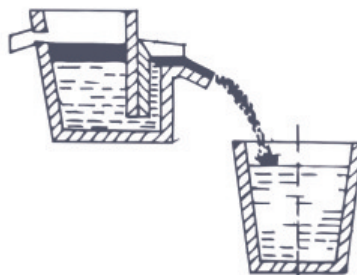
5.8. Десулфурација на течното железо надвор од високата печка

Во светот постојат повеќе методи за десулфурација на железото надвор од високата печка. Во суштина, постојат две групи методи.

Во првата група спаѓаат методи кои се применуваат за време на испуштање на течниот метал од печката. Втората група опфаќа методи кои се применуваат по завршениот испуст. На сл. 33 и на сл. 34 се прикажани методи за десулфурација за време на испуштање на течниот метал од печката.



Слика 33. Десулфурација во прооден сад.

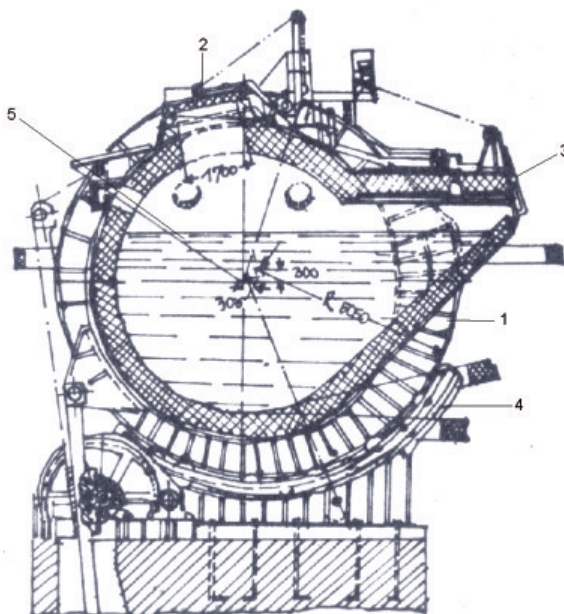


Слика 34. Десулфурација во сифонски лонец.

Ефектот на десулфурацијата во наведените случаи (сл. 33 и сл. 34) зависи од почетната содржина на сулфур во железото. Овие методи, кои припаѓаат во првата група, се погодни за добивање железо со средна содржина на сулфур во него, од 0,02 до 0,025%.

Со десулфурација на железото по завршениот испуст, односно, по внесувањето на железото во лонецот, се постигнува подобар контакт помеѓу железото и средствата за десулфурација.

Во овој случај, бидејќи средството за десулфурација е подолго време во контакт со металот, реакциите на десулфурација се поинтензивни, а степенот на десулфурација поголем. Со овој метод се постигнува концентрација на сулфур во железото помала од 0,01%. Како средство за десулфурација се користат: вода, сода, калциум карбид, метален магнезиум, кокс, а како средство за вдувување, природниот гас. Со цел да се обезбеди континуирана работа при обработката на железото надвор од високата печка и при добивањето челик во конверторите, се користат миксери со кои се обезбедуваат услови за континуирано снабдување на челичанските агрегати со течно железо. Железото, по излевањето од високата или електропечката, се влива во миксер (сл. 35), со што, од една страна, во миксерот се изедначуваат составот и температурата, а од друга страна, се обезбедува резерва железо за челичаната.



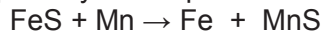
Слика 35. Миксер.

1. бандаж, 2. вливен отвор, 3. отвор за испуст, 4. назабена летва, 5. течен метал.

Миксерот има капацитет до 1300 тони. Има отвор за вливање на горниот дел, а странично отвор за излевање. При излевањето, се раздвижува миксерот преку механизам со назабена летва.

Во миксерот во одреден степен се врши рафинација на железото. Имено, во миксерот се формира троска во која преминува дел од оксидираниот силициум и сулфур.

Сулфурот преминува во троската според реакцијата:



Во овој случај, десулфурацијата се изведува во присуство на манганот од железото.

Прашања

1. Кои примеси ги содржи железото добиено во високата печка?
2. Како се врши пречистување, односно, рафинација на железото од примесите?
3. Што е десулфурација на течното железо?
4. Кои методи се користат за десулфурација на железото?
5. Во која постројка се врши процесот на десулфурација?

6. МЕТАЛУРГИЈА НА ЧЕЛИКОТ

6.1. Добивање челик во конвертори

Првобитното добивање челик во лонци имало доста недостатоци. Поради ниската температура, се добивал челик во тестеста состојба; исто така, овие печки се карактеризирале со низок производствен капацитет. Во 1860 година почнал да се произведува течен челик, во метална бања во која процесот на оксидација на примесите се одвивал за време од 10 до 30 минути. Својствата на добиениот челик зависат од неговиот хемиски состав и од технологијата на топење и на лиење. Според начинот на добивање, челиците се класифицираат на: Бесемеров, Томасов, Сименс-Мартинов и електро челик.

Бесемеровиот и Томасовиот процес претставуваат процеси со продувување на течниот метал одоздола. Суштината на процесот се состои во продувување на течното железо, кое претходно е внесено во конвертор со гасно средство (воздух, кислород).

На тој начин се постигнува бурно мешање на гасната и на течната фаза, при што настапува оксидација на елементите во железото. Процесот на оксидација на елементите овозможува нивната содржина во челикот да се доведе до потребната граница, односно, да се зголеми температурата на металот од 1580°C до 1620°C, пред неговото изливање.

Во зависност од видот на огноотпорниот осид на конверторот и од специфичноста на процесот, се одредува хемискиот состав на железото. На тој начин, разликуваме Бесемерово и Томасово железо. Бесемеровиот процес овозможува преработка на железо добиено од руди со ниска содржина на фосфор и на сулфур, што е условено од киселата огноотпорна облога на конверторот. Рудите, кои содржат висока концентрација на фосфор, не можат да се преработуваат во Бесемеровиот конвертор, и затоа се користи Томасовиот процес, кој всушност, претставува истиот конвертор, но со огноотпорна облога изработена од базна опека (доломит). Содржината на фосфорот во железото пред конвертирањето изнесува 1,6-2,0%.

Подоцна во конверторите за Бесемеров и за Томасов процес, наместо воздух, се вдувал кислород, и на тој начин била воведена кислородно-конверторска постапка за добивање челик. Подоцна се усовршувал процесот на добивање на челикот во конверторите, при што се користеле нови кислородно-конверторски постапки, како LD, Калдо и рото-процес. Новите процеси требало да обезбедат добивање квалитетен челик, односно, да обезбедат преработка на железо со каков било состав.

Кај Калдо процесот конверторот е поставен под агол и се ротира околу својата оска со 30 вртежи во минута. Рото-процесот претставува добивање челик во хоризонтална печка која се врти со брзина од 0,2-4 вртежи во минута.

6.2. Видови суровини и нивна примена

Основна суровина што се користи во конверторскиот процес претставува железото. При Бесемеровиот процес, се преработува железо со ниска содржина на елементи кои при оксидацијата ослободуваат топлина (силициум, манган, фосфор). При Томасовиот процес, базниот огноотпорен осид на конверторот овозможува да се преработува железо и со поголема содржина на фосфор и на сулфур. Кај кислородно-конверторскиот процес се преработува железо со различен состав и тоа во граници: 3,7-4,5% C; 0,3-1,7% Si; 0,4-2,3% Mn; 0,03-0,08% S; 0,3% P и др.

Содржината на одделни компоненти во железото има влијание при добивањето на челикот. Имено, содржината на манганот има влијание врз одвивањето на десулфурацијата на челикот.

Зголемената количина манган и силициум во железото ги влошува технолошките показатели на процесот бидејќи ја зголемува количината на трската и ја смалува издржливоста на печката. Челични отпадоци се додаваат во конверторот како средство за ладење, при што заедно со отпадоците се внесува железо. Челичните отпадоци се додаваат во количина од 25-30% од тежината на течното железо.

Железна руда може да се користи како средство за ладење и како средство за забрзување на формирањето на трската.

Железната руда претставува ефикасно средство за ладење и има поголем ефект од отпадоците како резултат на дополнителни реакции на разложување и редуцирање на железото, при што се троши топлина. Како замена за руда може да се користи валавничка коварина која содржи до 2% SiO₂, потоа пелети и др.

Вар се додава при конвертирањето, со цел да се образува трската и да се поврзат штетните примеси од железото (фосфорот, сулфурот). При користење некавалитетна вар со нееднаков состав, постои отежнато формирање трска. При конвертирањето, се користи вар со гранулација 30-60mm во количина 5-10% од масата на железото. За забрзување на процесот на формирање на трската, се користат разни топители.

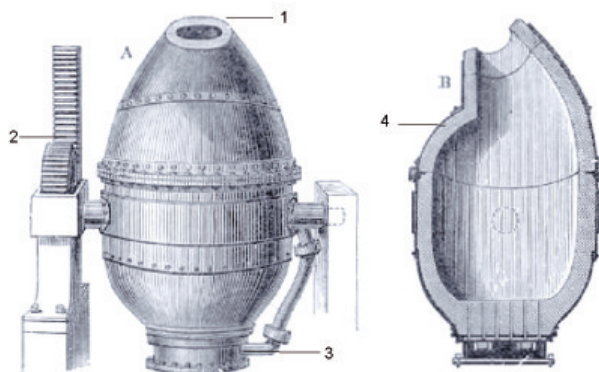
Најчесто се применува бокситот кој во себе содржи 37-50% Al₂O₃. По растопувањето, бокситот преминува во трската, а алуминиумтриоксидот ја зголемува течливоста на трската, го потпомогнува растворањето на калциумоксидот и ја снижува температурата на топење на трската. Исто така, како ефикасен топитель се користи калциумфлуоридот кој содржи 89-95% CaF₂, којшто мошне интензивно ја снижува температурата на топење на смесата со CaO.

Прашања

1. Како се класифицираат челиците според начинот на добивање?
2. Кои се класичните процеси за добивање челик?
3. Кои се нови кислородно-конверторски постапки за добивање челик?
4. Кои основни суровини се користат во конверторскиот процес за добивање челик?

6.3. Бесемеров процес

При Бесемеровиот процес, се преработува железо со ниска содржина на сулфур и на фосфор, и затоа се користи кисела облога на конверторот. При процесот на оксидација на примесите, силициумот оксидира до силициум диоксид, при што се формира кисела троска, која не реагира со киселата облога на конверторот.



Слика 36. Бесемеров конвертор.

1. грло на конверторот, 2. механизам за наклон на конверторот, 3. довод на воздух, 4(В). осид на конверторот.
В – напречен пресек на конверторот.

Како основен извор на топлина во Бесемеровиот конвертор (сл. 36) претставуваат реакциите:

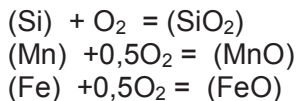


При оксидацијата на силициумот температурата се зголемува за 150°C, а при оксидација на манганот 20-45°C.

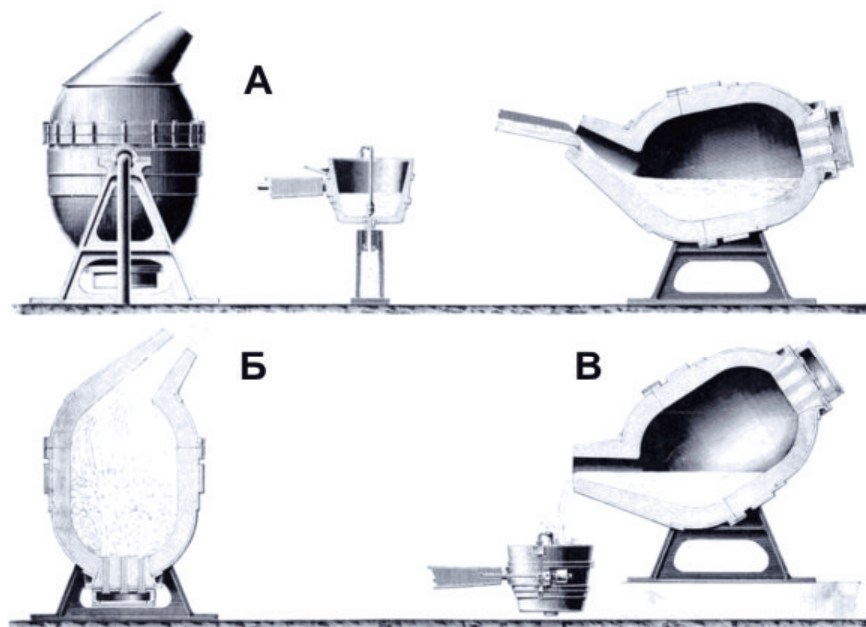
При Бесемеровиот процес на добивање челик што се изведува со дување воздух во конверторот, се издвојуваат 3 периоди, и тоа: прв период на интензивна оксидација на силициумот и на манганот; втор период на интензивна оксидација на железото, што е непожелно и секогаш се стреми колку е можно да се намали овој период. Во периодот на оксидација на силициумот и на манганот, пламенот од конверторот е краток и слабо светол. Во периодот на оксидација на јаглеродот, производ на реакцијата е јаглеродмоноксидот, кој согорува на отворот од конверторот, при што излегува светол и долг пламен.

Во третиот период, кога почнува оксидацијата на железото, пламенот се скратува и се појавува темен чад како резултат на испарувањето на железото и на неговите оксиди во излезните гасови.

Оксидацијата на состојките на суровото железо со воздухот протекнува според следниве реакции:



Образуваните оксиди SiO_2 и MnO не се раствораат во металот и преминуваат во троска. Железниот оксид FeO се раствора во троската и во металот.



Слика 37. Шема на положбата на конверторот при:

- А) вливање на железото,
- Б) продувување,
- В) испуштање на челикот.

Во хоризонтално поставен конвертор (сл. 37А) се влива течно Бесемерово железо на температура од 1350 до 1400°C . По внесувањето на суровото железо, конверторот (сл. 37Б) се доведува во вертикална положба. Производи на процесот на конвертирање се троска и Бесемеров челик. Троската на Бесемеровиот процес претставува производ на оксидацијата на примесите од суровото железо. Во троската преминува и еден дел на SiO_2 од облогата на конверторот. Добиената троска содржи: 55-65% SiO_2 ; 15-25% FeO ; 15-20% MnO ; 3-6% Al_2O_3 и др.

Количината на троската изнесува 7-9% од масата на внесеното сурово железо.

6.4. Томасов процес

Сурово железо со зголемена содржина фосфор се преработува според Томасов процес. Овој процес се применува во земјите богати со железна руда со висок процент на фосфор (Франција, Белгија, Германија).

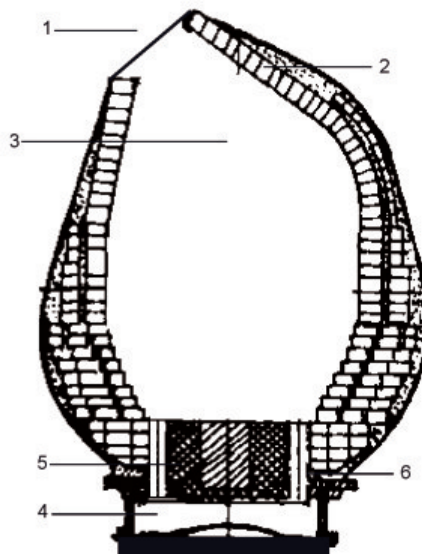
Томасовиот конвертор се разликува од Бесемеровиот конвертор единствено во облогата која е изработена од жарен доломит со смола од камен јаглен, односно, од базен материјал.

Конверторот (сл. 38) претставува сад со крушковиден облик. Конверторот е обложен со челичен лим со дебелина 15-25 mm.

Плаштот на конверторот се состои од 3 дела: долен (конусен) дел, среден (цилиндричен) и горен дел во вид на пресечен конус.

На дното на конверторот се наоѓаат дувници низ кои се вдува воздух. Осидот на конверторот е изработен од огноотпорен материјал со дебелина 250-400 mm, и тоа издржува 1300-2000 топења.

Железото кое се преработува во Томасовиот конвертор содржи 1,6-2,0% фосфор, 0,8-1,3% манган и 0,2-0,6% силициум.



Слика 38. Шема на Томасовиот конвертор.
1. систем за шаржирање, 2. осид на конверторот, 3. работна површина,
4. довод на воздух, 5. воздушна комора, 6. дизни за воздух.

Главен извор на топлина во Томасовиот процес претставува оксидацијата на фосфорот, која е потпомогната со додаток на калциумоксид, според реакцијата:



Потребната базност на троската се добива со додаток на калциумоксид во количина 10-15% од масата на суровото железо.

Томасовиот процес се одвива во 3 периоди, но при пониски температури во однос на Бесемеровиот процес (1350-1400°C). Во првиот период се врши оксидација

на силициумот и на дел од манганот. Оксидацијата на фосфорот започнува при крајот на вториот период при услови кога калциумоксидот е во форма на калциумфосфат, подготвен да го врзе фосфорот во базна троска.

Интензивна оксидација на фосфорот се одвива во третиот период и се одвива паралелно со оксидацијата на железото. Троската, која се добива во Томасовиот конвертор, има двојна улога, и тоа: учествува во процесот, обезбедувајќи отстранување на фосфорот од металот, но и самата претставува уште еден корисен производ на топењето. Имено, поради висока содржина на фосфор, троската се користи во земјоделството како минерално ѓубриво. Капацитетот на Томасовиот конвертор е 12-70 тони, а траењето на дувањето е 16-22 минути. Производот од топењето е 85-89% од масата на суровото железо.

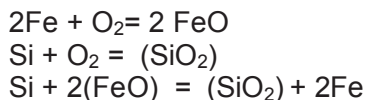
Прашања

1. Кое железо се преработува со Бесемеровиот процес?
2. Кои се основни реакции при процесот?
3. Кои се производите при конвертирањето на Бесемеровото железо?
4. Какво железо се преработува со Томасовиот процес?
5. Опиши го Томасовиот конвертор.
6. Во колку периоди се одвива Томасовиот процес? Опиши ги.

6.5. Кислородно-конверторски процеси

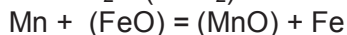
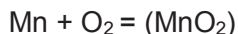
Томасовиот и Бесемеровиот процес за добивање челик се карактеризираат со ограничен хемиски состав на железото кое се преработува и со слаб квалитет на добиениот челик. Поради тоа, се барале нови начини на преработка на железото, односно, начини за усовршување на наведените процеси. Имено, воздухот што се користел при вдувувањето се збогатувал со кислород, а подоцна се вдувувал чист технички кислород. Брзината на одвивањето на процесот зависи од количината на кислородот што се вдувува во текот на процесот. Високиот оксидационен потенцијал на гасната фаза овозможува истовремено да се оксидираат сите компоненти во металот: силициумот, манганот и јаглородот. Брзината на процесот на образување на троската, реакциите на границата троска-метал и реакциите во волуменот на металот зависат од интензитетот на кислородниот млаз. Интензитетот на кислородниот млаз може да се регулира со промена на висината на дувницата за кислород, со промена на минутниот проток на кислород, како и со користење дувници со специјални млазници за кислород.

Процесот, исто така, се карактеризира со тоа што нема одвоени периоди на оксидација на одделни елементи (силициум, манган, јаглород и фосфор), карактеристични при работа на конверторот со вдувување на воздух. Оксидацијата на силициумот завршува за 3-5 минути во текот на процесот и зависи од неговата концентрација во железото. Оксидацијата се изведува според реакциите:



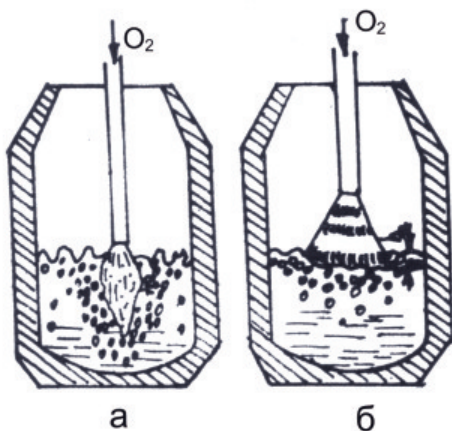
кои ја покажуваат можноста за директна оксидација на силициумот со кислородот од гасната фаза или со FeO, оксидирано железо со кислородот.

Истовремено со оксидацијата на силициумот се оксидира и манганот според реакциите:



Значајна карактеристика на кислородно-конверторскиот процес претставува брзата оксидација на фосфорот од почетокот на вдувувањето, а посебно во втората четвртина. Оксидацијата на фосфорот се одвива со помош на триската која е богата со оксидите на калциумот и на железото. За образување на триската веднаш на почетокот на вдувувањето на кислородот, копјето за кислород треба да се постави на поголема висина од почетната површина на металот и да се намали протокот на кислородот. На тој начин се одвива површинска оксидација со интензивно образување оксиди на железото, што го олеснува преминувањето на CaO во триската. По образувањето активна треска богата со CaO и со FeO, се зголемува протокот на кислородот со истовремено спуштање на копјето за кислород поблизу до металот. На овој начин, кислородниот млаз навлегува длабоко во растопот, со што се забрзува оксидацијата на јаглеродот.

Ако железото се преработува со намалена содржина на фосфор (0,06-0,07%), вдувувањето на кислородот може да се изведува со фиксирана положба на копјето за кислород. На сл. 39 се прикажани можните положби на копјето за кислород во текот на работата на конверторот.



Слика 39. Шема на реакционата зона.

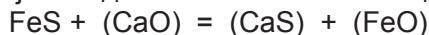
а) нормална положба на копјето,

б) висока положба на копјето.

Ако се преработува железо со ниска содржина на фосфор, вдувувањето на кислородот се врши со висока положба на копјето.

За време на оксидацијата на јаглеродот се појавуваат меурчиња од гас како производ на оксидацијата, кои го подигнуваат нивото на металот и на триската. Овој период на работа се изведува со спуштена положба на копјето

Отстранувањето на сулфурот од течниот метал, односно, процесот на десулфурација се одвива со помош на калциумоксид од триската според реакцијата:



Степенот на десулфурација, т.е. односот на количината на отстранет сулфур и појдовната количина сулфур може да достигне вредност до 40%. Поради високиот оксидационен потенцијал на гасната фаза, околу 10% од вкупно отстранетиот сулфур може да преминат во гасната фаза во облик на SO_2 .

Една од можностите за намалување на концентрацијата на фосфорот претставува додавањето калциумоксид во конверторот, во кој се наоѓа троска од завршниот период од претходниот процес. Во троската од претходниот процес се уфрла вар во количина од 20% од вкупно потребната количина. Оваа операција е потребна за да се избегне бурната реакција на троската и железото при вливање на железото. По внимателно вливање на железото, се додава нова количина вар, 20-25% од вкупната количина, а потоа во текот на вдувувањето на кислородот, се додаваат пелети од железен концентрат.

На крајот од првиот период на вдувувањето, металот содржи 0,8-1% јаглерод и 0,2% фосфор, а троската 50% CaO , 20% FeO и околу 20% P_2O_5 . Оваа троска се излева од конверторот за да не се врати повторно фосфорот во металот.

За подобрување на дефосфоризацијата и на десулфурацијата на челикот при преработката на високофосфорно железо, во конверторот се додава смелена вар, што овозможува зголемување на реакционата површина. Оваа постапка овозможува во почетокот на процесот да се зголеми базноста на троската и да се создадат поволни услови за добра дефосфорација и десулфурација на металот. Спрашениот варовник се воведува во конверторот во зрна со големина 0,1-1mm. При процесот, околу 1/3 од вкупната количина вар се додава заедно со челичните отпадоци, бокситот и мали количини железна руда. Вдувувањето на кислородот се врши интензивно со висока положба на копјето при што троската почнува да се пени. Дувницата потоа се спушта надолу и истовремено во кислородниот млаз се додава спрашена вар. Кога ќе се намали содржината на јаглеродот до 0,7%, а на фосфорот до 0,2%, се отстранува таканаречената меѓутроска. Во вториот период се вдувуваат истовремено кислород и спрашен вар до крајот на процесот на вдувување.

Формирањето високобазна и течлива троска со вдувувањето спрашена вар овозможува висок степен на десулфурација на металот, при што 60-70% сулфур преминуваат во троска.

Усовршувањето на технологијата во кислородно-конверторското производство било насочено кон изработката на легирани челици од различен квалитет. Основни челици, кои се усвоени или се во фаза на усвојување, претставуваат: динамо челикот, трансформаторскиот челик, хромниот челик, челикот за бродови, конструкционите легирани челици и др.

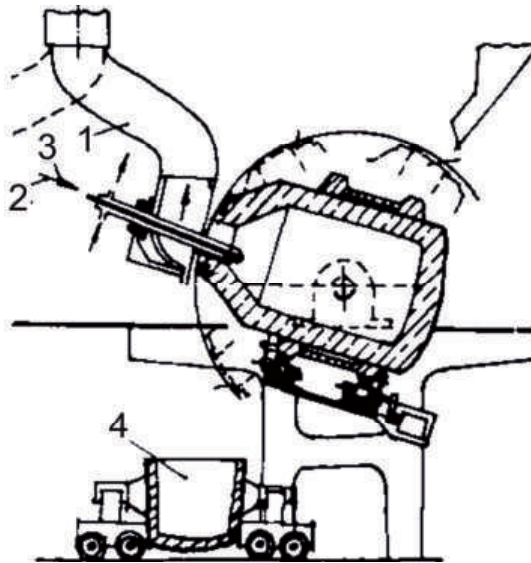
Прашања

1. Во што се разликува кислородно-конверторскиот процес од Бесемеровиот и од Томасовиот?
2. Како се врши оксидација на силициумот и на манганот во кислородно-конверторскиот процес?
3. Како се врши оксидација на фосфорот во процесот?
4. Како се врши десулфурација во процесот?
5. Како се отстранува фосфорот од железото со додаток на спрашена вар?
6. Како се врши внесување на спрашената вар во конверторот?
7. Кои легирани челици можат да се добијат со кислородно-конверторските процеси?

6.6. Калдо постапка за преработка на железото во конвертор

Во претходно наведените постапки за добивање челик во кислороден конвертор има низа недостатоци, меѓу кои карактеристично е издвојувањето темен чад, кој се образува при продувување на металот со кислород. Во Шведска е разработена нова постапка за добивање челик во конвертор кој се врти, наречена Калдо постапка, според името на пронаоѓачот Калинг.

Кислородниот Калдо конвертор е навален во однос на хоризонталата под агол од 17-20° и ротира околу својата оска со брзина од 30 вртежи/минута. На слика 40 е прикажан Калдо-конверторот. Суштината на процесот во конверторот се состои во тоа што при вртењето на конверторот во текот на процесот, металот непрекинато се меша како резултат на постојано вдувување на кислород преку копјето. Процесот лесно се регулира со промена на брзината на вртежите на конверторот, со контролирање на струјата на кислородот и на потрошувачката на кислородот. Мешањето на металот не дава можност металот на одделни места да се прегрее, со што се спречува појавата на темни гасови.



Слика 40. Шема на Калдо конвертор.
1. положба при шаржирање, 2. додавање CaO и руда,
3. вдувување спрашен материјал, 4. лонец за челик.

Самата можност да се менуваат аголот под кој се вдувува кислородот и количината на кислородот обезбедува целокупниот CO (90%), кој се формира како производ на оксидацијата на јаглородот, да согори над металот.

Основни предности при користење на Калдо процесот се:

- Можност за преработка на двапати повеќе челични отпадоци во однос на другите процеси.
- Големи можности за регулирање на процесот, што се постигнува со промената на наклонот на копјето за кислород, со регулација на протокот на кислород и на бројот на вртежи на конверторот. Тоа дава можност за регулација на брзината на оксидацијата на примесите во металот.

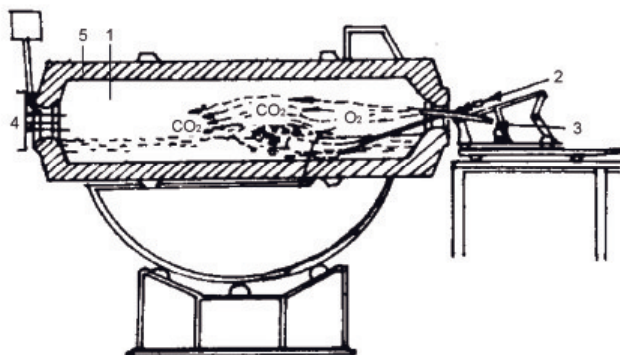
- Помала количина издвоени гасови во однос на кислородниот процес, од што произлегуваат помали вложувања за пречистување на гасовите.
- Можност за постигнување ниски концентрации на штетните примеси во челикот.

Основен недостаток на Калдо процесот претставува неговото времетраење кое е 1,6 пати подолго во однос на кислородниот процес во конверторот, за ист капацитет, што влијае врз издржливоста на огнотпорниот осид, односно, на зголемувањето на потрошувачката на додатоци.

6.7. Рото-процес

Рото-процесот претставува постапка за производство на челик со продување на железото со кислород во ротациона печка. Ротационата печка претставува цилиндрична хоризонтална печка (сл. 41), која бавно се врти околу својата оска со брзина 0,2-4 вртежи во минута. Роторот се состои од челичен цилиндар осидан со базна (магнетитна) опека. На предната страна роторот има отвор низ кој се внесуваат железото, цврстите додатоци и кислородот. Низ задниот отвор излегуваат гасовите од процесот. Исто така, тука се наоѓаат отвори за испуштање на челикот и на троската.

Со помош на посебен уред за шаржирање, во печката се внесуваат вар, руда и коварина. Железото се внесува со специјален подвижен жлеб кој по вливањето се отстранува и се поставува копје за кислород. При преработка на железото во челик, троската се излива кога содржината на јаглеродот во металот достигнува околу 2%, а на фосфорот 0,1-0,2%. Рото-процесот трае околу 40 минути, а добиениот челик по квалитет одговара на Сименс-Мартиниовиот челик.



Слика 41. Шема на ротор.

1. метална када, 2. примарен кислород, 3. секундарен кислород, 4. одвод на гасови, 5. осид на печката.

Брзината на процесот зависи од количината на кислородот, од притисокот на кислородот и од потрошувачката на железна руда. Во ротационата печка многу ефикасно се врши отстранување на сулфурот од металот поради високите температури и поради непосредниот контакт на металот со оксидационата атмосфера. Во ротационата печка се изработуваат нискојаглеродни челици со содржина 0,05-0,25% јаглерод, 0,03% фосфор и 0,02% сулфур. Недостаток на процесот претставува брзото трошење на огнотпорната облога.

6.8. LD-AC процес

Процесот LD-AC, претставува кислородно-конверторски процес со вдување на сомелен калциумоксид во струја на кислород. Основна карактеристика на овој процес е тоа што еден дел од потребната вар (околу една третина од вкупно потребната вар) се додава парчеста пред вдувањето.

Преостанатата количина вар се додава во текот на вдувањето како прав со струјата на кислород преку копјето. Со регулирање на протокот на кислород се врши регулација на процесот на оксидација на јаглеродот и на фосфорот. По излевање на челикот низ изливниот отвор, завршната троска останува во конверторот за следниот процес. Потрошувачката на вар за време на продувањето на кислородот изнесува 100-750kg/min.

Конверторот при LD-AC се разликува од Калдо конверторот, кој е со поширок горен дел и стеснат отвор на грлото од конверторот. Горниот дел на конверторот има двојни сидови и се лади со помош на вентилатор. Осидот на конверторот е од доломитна опека, во кој на едната страна од конверторот се наоѓа отвор за испуштање на троската, а на другата страна, отвор за излевање на челикот. Кислородот се вдува преку копја поставени одозгора, а спрашената вар се внесува во кислородниот млаз преку посебен уред.

По излевањето на челикот низ изливниот отвор, завршната троска останува во конверторот за следниот процес. Во троската се додаваат железни струганици или спрашен јаглен за да се избегне бурната реакција при вливање на железото. Во првиот период се појавува пенлива троска која ја забрзува дефосфорацијата на металот.

Со промена на висината на копјето, може да се регулира длабочината на навлегувањето на кислородниот млаз, односно, да се интензивира оксидацијата на јаглеродот. Главен услов за постигнување ниски концентрации на фосфор во металот претставува отстранувањето на богатата фосфорна троска во првиот период. Заради тоа, на крајот од првиот период на дување, што е можно повеќе троската се испушта од конверторот. За да се спречи рефосфорација во лонецот, односно, редукација на фосфорот и негово враќање во металот, пред излевање на челикот се врши згуснување на троската со вдување спрашена вар заедно со кислородот. На тој начин троската заостанува во конверторот, а во лонецот се формира нова троска со додавање вар. Целокупната количина вар, која се троши при процесот се додава преку посебен распределувач со главната струја на кислородот. Потрошувачката на ва при продувањето со кислород се движи од 100 до 750kg/min. Потрошувачката во вториот период на дување се регулира со додавање челични отпадоци или железна руда.

Во LD-AC конверторот може да се преработува обично и високофосфорно железо при што може да се произведат нискојаглеродни, високојаглеродни и легирани челици. Челикот добиен во LD-AC конверторот има низок процент на штетни примеси, и тоа: 0,012-0,02% сулфур, 0,014% фосфор и 0,03% азот.

Прашања

1. Кои суровини се внесуваат во Калдо-конверторот?
2. Како е поставен кислородниот Калдо-конвертор?
3. Кои се предности на Калдо процесот?
4. Во која печка се изведува рото-процесот?
5. Кои суровини се внесуваат во печката?
6. Кои фактори влијаат на брзината на Калдо процесот?
7. По што се разликува LD-AC конверторот од кислородниот конвертор?
8. Кој е основен услов за постигнување ниски концентрации на фосфор во металот?
9. Кои челици се произведуваат со LD-AC процесот?

6.9. Дезоксидација на челиците

Дезоксидацијата претставува процес на намалување на содржината на кислород и на водород во металот, како и на количината на неметалните вклучоци. Дезоксидацијата се изведува со помош на инертни гасови, како што се: азот, аргон. Со овие гасови, во металот се внесуваат средства за дезоксидација, како што се: кокс и графит со гранулација до 1mm. Овие средства за дезоксидација може да се внесуваат во течниот метал, освен со инертни гасови, и со помош на сув компримиран воздух. Со графит или кокс во форма на прав можно е и до 30% да се намали појдовната содржина на кислород во металот, односно, степенот на оксидираноста на металот, што обезбедува стабилна дезоксидација на металот. При продувувањето на недезоксидиран метал со спрашен графит доаѓа до смалување на содржината на кислородот во металот и до зголемување на содржината на јаглеродот, односно, карбурација на металот.

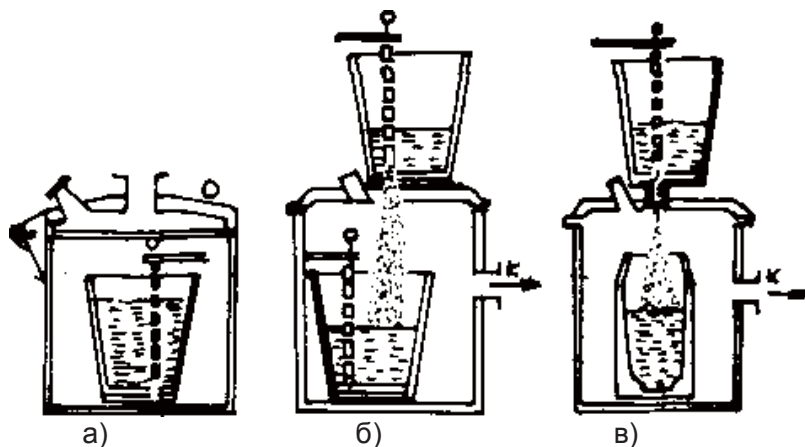
6.10. Обработка на течен челик во вакуум

Обработката на челикот во вакуум претставува отстранување на гасови и на неметални вклучоци надвор од печката во таканаречени вакуум комори. Во овие комори со помош на вакуум пумпи се врши разредување од 666,6-1999,8 Pa, при што во овие услови доаѓа до издвојување на гасовите растворени во челикот (H_2 , CO, CO_2 , N_2). Времето на задржување на челикот во вакуум комората зависи од количината и од составот на челикот кој се вакуумира, а обично, овој процес трае 5-25 мин. Степенот на смалување на содржината на гасовите во челикот зависи од степенот на дезоксидираноста на челикот. Недостаток на процесот на вакуумирање во лонец (сл. 42а), претставува ограниченото време на задржување на металот во лонецот, како последица од ладење на металот во лонецот. Поради тоа, можно е да се примени индукционо загревање на металот.

Сè повеќе се применува вакуумирање на металот со преливање од лонец во лонец (сл. 42б), при што постојат поповолни услови за издвојување на гасовите од металот во однос на претходниот начин на вакуумирање во лонец. Оваа постапка се изведува на тој начин што празниот лонец се поставува во вакуум комората во која се врши разредување од 133,3-399,6Pa, а на капакот од вакуум комората се поставува меѓулонец (сл. 42в) или вливна чаша.

На излезниот дел од меѓулонецот се поставува лим од алуминиум кој се топи под дејство на течниот челик од меѓулонецот. Млазот од челик кој влегува во вакуум

комората се растура во вид на капки под дејство на вакуумот, со што се зголемува површината на металот и се забрзува процесот на дегазација на металот.



Слика 42. Постапка за обработка на челик во вакуум.

а) во сад б и в) со преливање од сад во сад

Процесот на дегазација со овој метод за сад од 40 тони трае од 8 до 10 минути. При леење во вакуум се постигнува висок степен на дегазација на металот, а содржината на кислородот може да биде снижена до 0,001-0,002%. Исто така, значително се смалува количината на неметалните вклучоци во металот. Леењето под вакуум се применува кај челиците, кои не 'рѓосуваат, кај трансформаторските и конструкционите челици.

Прашања

1. Што претставува процесот на дезоксидација на челиците?
2. Кои суровини се користат за дезоксидација?
3. Како се врши отстранувањето на гасовите во вакуум коморите?
4. Кој е недостаток на процесот на вакуумирање на челикот?

6.11. Сименс-Мартинов процес

Кон крајот на минатиот век, со брзиот развој на металопреработувачката индустрија, се појавила голема количина метални отпадоци кои не можеле да се искористат ниту по една технологија која постоела во тоа време. Исто така, постојните технологии не можеле да обезбедат челик со висок квалитет каков што се барал со развојот на машинската индустрија.

Користењето на челичните отпадоци и различни квалитети на сурово железо се можни во огништето на пламената печка, односно, Сименс-Мартиновата печка.

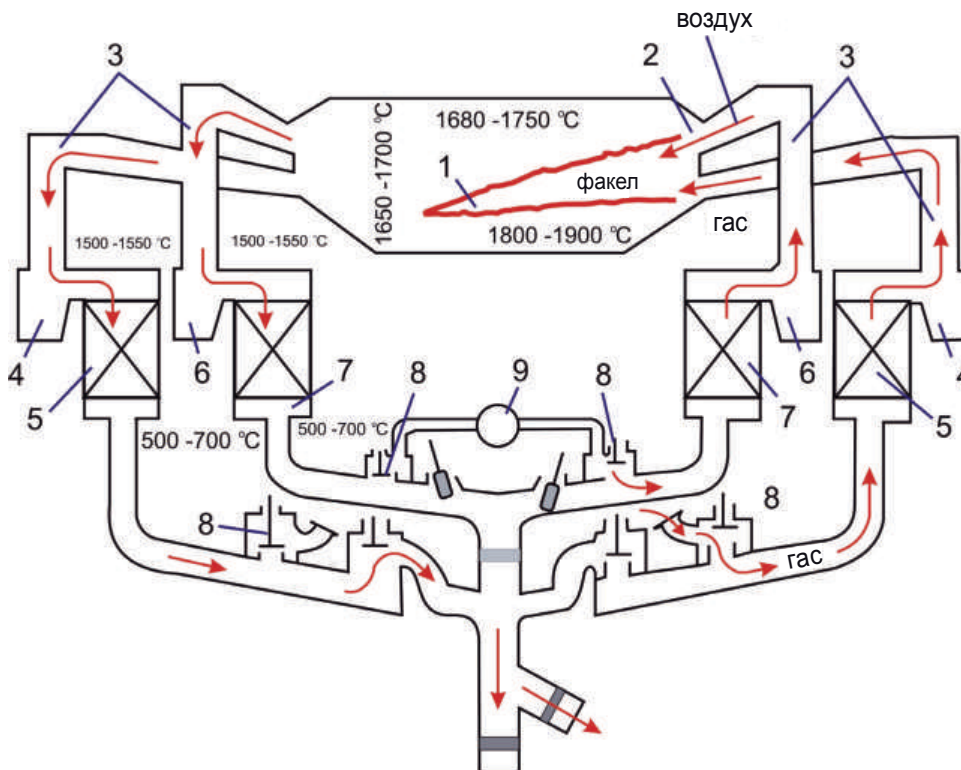
Конструкцијата на печката ја дале браќата Фридрих и Вилхем Сименс, а Емил и Пјер Мартин го разработиле металуршкиот процес во 1866 година.

Конструкцијата на печката претставува огниште во кое се врши процесот и кое овозможува да се добие доволно висока температура за топење и за рафинација на челикот. Кај Сименс-Мартиновата печка загревањето на печката е решено со таканаречен регенеративен принцип на загревање. За загревање на печката, наместо цврсто гориво, се користело гасовито гориво, кое заедно со воздухот

неопходен за процесот пред внесување во работниот простор на печката, е предгреано во комори со регенеративна опека. На сл. 43 шематски е прикажан регенеративниот систем на загревање на Сименс-Мартиновата печка.

Гасот и воздухот во печката се доведуваат однадвор. Тие минуваат низ коморите кои се од левата страна и кои се загреваат на температура од 1000 до 1200°C. На оваа температура тие влегуваат во печката и согоруваат. Во печката, со согорувањето, гасовите ослободуваат топлина и излегуваат низ десната страна на печката, т.е. низ гасната и воздушната комора и на крајот излегуваат низ оцак надвор во атмосферата.

При преминувањето на овие гасови низ коморите на десната страна на печката, тие се загреваат на температура од околу 1300°C.



Слика 43. Шема на регенеративниот систем за загревање на Сименс-Мартиновата печка.

1. работен простор, 2. глава, 3. вертикални канали, 4. тросковник, 5. регенератор,
6. шамотно полнење (саќе), 7. регенератор за воздух, 8. излез за воздух,
9. вентилатор.

Кога левите комори ќе се заладат, а десните се доволно загреани, се променува насоката на движењето на воздухот и на гасот, при што свежиот воздух и гасот влегуваат на десната страна, се загреваат во коморите, согоруваат во огништето на печката и поминувајќи низ коморите од левата страна на печката, ја предаваат својата топлина.

На овој принцип, со менувањето на насоката на воздухот и на гасот, тие доаѓаат во огништето загреани на 1000-1200°C, а топлината ослободена од согорувањето може да се користи за загревање на коморите.

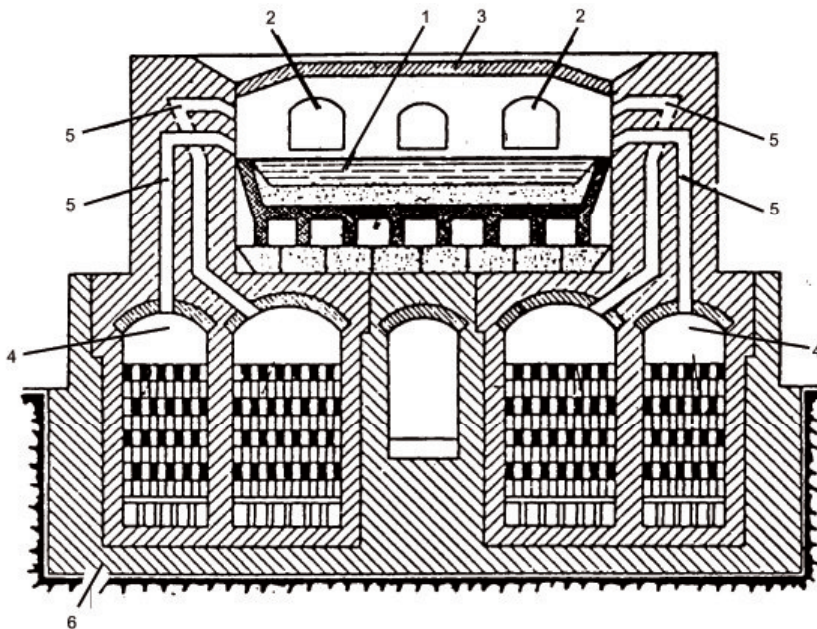
6.11.1. Сименс-Мартинова печка

Сименс-Мартиновата печка се состои од два дела: горен и долен дел. Горниот дел се состои од: корито, главен свод, преден, заден и челни сидови.

Коритото е обложено со магнезитна облога, а подот е од синтер-магнезитна маса. Сводот е изработен од хром-магнезитна маса. На предниот сид се наоѓаат 3-5 врати, во зависност од големината на печката, а се ладат со вода.

На задниот дел се наоѓа отвор низ кој се излева челикот од печката. На челните сидови се наоѓаат воведници на гас и на воздух. Во долниот дел на печката се наоѓаат регенератори. Капацитетот на печката е 100-250 тони по една шаржа.

Во Сименс-Мартиновата печка (сл. 44) може да се преработуваат старо железо, сурово железо, со различен состав, а шаржата може да е растоп или да е во тврда агрегатна состојба. Загревањето на Сименс-Мартиновата печка е регенеративно, со што се постигнува температура од 1600 до 1700°C; како гориво се користи генераторски гас. Коморите се изсидани од огноотпорен материјал. Со преминот низ загреаните комори, гасот и воздухот се загреваат и така загреани се воведуваат во печката и согоруваат, со што се постигнува потребната температура. На другата страна, врелите гасови ја напуштаат печката, ги загреваат другите комори и оладени се испуштаат во атмосферата.



Слика 44. Попречен пресек на Сименс-Мартинова печка.

1. огниште, 2. врати на огништето, 3. свод на огништето, 4. комори за загревање на воздухот,
5. канали за воздух и гасови, 6. осид на печката.

6.11.2. Технологија на добивање челик во Сименс-Мартинова печка

Процесот на добивање челик во Сименс-Мартинова печка може да се подели на следниве периоди:

- 1) шаржирање на печката,
- 2) предгревање и топење,
- 3) оксидација,
- 4) дезоксидација,
- 5) легирање и испуштање.

Шаржирањето на печката се врши со шаржирни машини кои со еден долг лост прифаќаат кошеви полни со старо железо и ги внесуваат во печката. Шаржирањето се врши на тој начин што прво се внесува дел од отпадното железо 10-12%, потоа варовник и на крајот остатокот од отпадното железо. Така внесениот материјал се загрева, а потоа се влева суровото железо. Процесот на полнење трае 2-3 часа. При влевањето на течното железо, се образува троска како резултат на оксидацијата на силициумот и на манганот. Потребно е оваа троска да се отстрани од печката.

По отстранување на троската, доаѓа до растопување на челичните отпадоци и до разложување на варовникот според реакцијата:



Образуваниот калциумоксид испливува во троската, при што се зголемува базноста на троската. Базноста на троската се регулира со додавање варовник, и нејзината вредност треба да биде од 1,7 до 2.

Процесот на оксидација кај конверторските процеси се одвива со помош на вдување кислород низ течниот метал, додека кај Сименс-Мартиновиот процес, кислородот се доведува во контакт со примесите во посредство на троската, при што настапува оксидација на FeO во Fe₂O₃, според равенката:

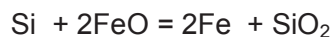


Оксидите на железото поминуваат низ троската и тоа Fe₂O₃ кон металот, а FeO кон гасната фаза. Насобраниот кислород во троската во облик на FeO преминува во метал според шемата:

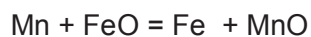


Овој кислород во металот ги оксидира растворените примеси, како: силициум, манган и јаглерод.

Оксидацијата на силициумот со помош на FeO се врши според реакцијата:

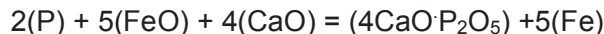


Оксидацијата на манганот е со помал интензитет отколку на силициумот. Манганот се оксидира со оксидите на железото според реакцијата:

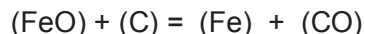


Овој MnO како база се врзува со SiO_2 и образува $2\text{MnO}\cdot\text{SiO}_2$.

Фосфорот е несакана примеса и потребно е преку троската да се отстрани. Фосфорот се отстранува со додаток на CaO во присуство на FeO според општата равенка:



Оксидацијата на јаглородот се одвива според равенката:



Сулфурот во Сименс-Мартиновиот процес се раствора во металот и се наоѓа во вид на FeS , MnS и CaS .

Последна фаза претставува дезоксидација на челикот. Пред дезоксидацијата, металот се доведува до температура 1620°C и се проверува дали S и C се во дозволените граници. Дезоксидацијата се состои од додавање одредени дезоксидациони средства, FeMn , SiMn , со цел манганот и силициумот да се претворат во оксиди. Дезоксидацијата делумно се врши во самата печка, а најчесто во казанот при изливање на челикот од печката. Овој процес на дезоксидација трае околу 30 минути, а вкупниот процес на Сименс-Мартиновата печка, 6-9 часови.

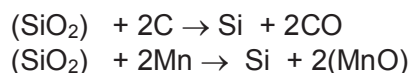
6.11.3. Технологија на добивање челик со кисел Сименс-Мартинов процес

Киселиот Сименс-мартинов процес се изведува во печка, чија огноотпорна облога е изработена од материјал кој содржи најмалку 95% силициум диоксид. При киселиот процес, подот на печката активно учествува во процесот, и затоа, посебно се обрнува внимание на состојбата на подот. На подот најпрвин се внесуваат слој од повратна кисела троска и половина од челичните отпадоци. Над овој слој се внесуваат железото и остатокот од челичните отпадоци. При топењето, силициумот согорува до содржина 0,1%. Самиот процес на добивање на челикот се изведува на 2 начина и тоа: активен процес со ограничена редукација на силициумот и пасивен процес со висока редукација на силициумот.

Кај активниот Симен-Мартинов процес, редукацијата на силициумот се изведува во граници од 0,1-0,12%. Редукацијата се регулира со додавање железна руда или коварина. За забрзување на оксидацијата на силициумот, во киселата троска се додава вар која SiO_2 го врзува во цврст силикат, смалувајќи ја на тој начин концентрацијата на SiO_2 во троската.

Технолошката шема на активниот кисел процес се состои од следнава постапка: по растопување на внесеното железо, се додава железна руда за оксидација на јаглородот. Оксидацијата на јаглородот треба да биде толку интензивна што ќе обезбеди вриење на шаржата, при што настанува оксидација на јаглородот со брзина 0,25-0,40% C/час.

При вриењето на троската, се зголемува температурата со што се обезбедува редукација на SiO_2 со помош на јаглород и на манган според реакциите:



Челикот добиен на овој начин се карактеризира со помала количина растворени гасови. Исто така, челикот содржи помала количина неметални вклучоци.

Прашања

1. Кои суровини се користат во Сименс-Мартиновиот процес?
2. Опиши го регенеративниот систем при Сименс-Мартиновиот процес.
3. Од кои фази се состои процесот на добивање челик во Сименс-Мартиновата печка?
4. Кои основни хемиски реакции се одвиваат при добивање на челикот?
5. Како се добива челик со Сименс-Мартинов процес?

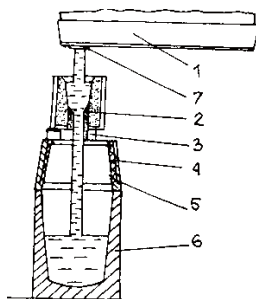
6.12. Леење на челикот

Завршен период на процесот на производство на челикот претставува испуштањето на челикот во ливен лонец или леење во кокила.

Испуштањето на челикот од металуршкиот агрегат се врши со навалување на самиот агрегат или со пробивање на испусниот отвор. Лонецот за леење на челикот има облик на кула, со проширен дел кон врвот. На овој начин, во лонецот се смалуваат топлотните загуби и е овозможено лесно чистење од заладениот метал и троска. На дното од лонецот е вградена изливна чаша (изливник), која има затворац со помош на кој се врши отворање и затворање на отворот на изливната чаша.

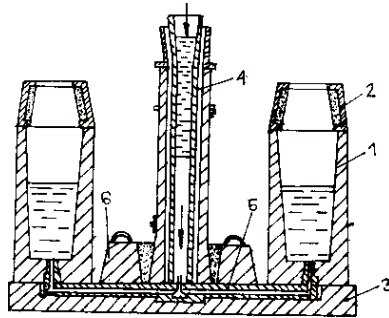
Леењето на металот од ливниот лонец се изведува на тој начин што се подигнува чепниот лост преку механизмот, при што се ослободува отворот во изливната чаша. Течниот метал истекува низ отворот на изливната чаша и преку вливниот систем ја полни кокилата. Пред испуштање на челикот, ливниот лонец се загрева на 400-700 °С. По полнење, металот останува во лонецот 5-15 минути, при што се отстрануваат производите од дезоксидацијата и се изедначува составот по целиот волумен.

Леењето на челикот во кокила се изведува на два начина: одозгора и сифонски.



Слика 45. Шема на леење одозгора.

1. лонец, 2. меѓучаша, 3. подлошка,
4. кокилен продолжеток, 5. осид, 6. кокила, 7. чаша.



Слика 46. Шема на леење на челик со сифон.
1. кокила, 2. кокилен продолжеток, 3. плоча, 4. среден дел,
5. сифонски канал, 6. осигурувач.

При леењето одозгора (сл. 45), челикот од лонецот низ изливниот отвор влегува директно во кокилата. Струјата од металот влегува во кокилата под голем притисок и при ударот на дното од кокилата, доаѓа до прскање на металот, кој се лепи на ѕидовите од кокилата. Како резултат на прскањето на металот, на образуваниите инготи се формираат разни површински дефекти, што претставува недостаток на леењето одозгора.

Кај сифонското леење металот (сл. 46) од лонецот се испушта во приемна чаша, среден дел на вливниот систем, а потоа низ каналот од сифонската опека се влива истовремено во поголем број кокили. Кокилите се поставуваат симетрично во однос на средниот дел кој лежи на масивна плоча од сив лив. Висината на средниот дел треба да биде поголема од висината на кокилата (при леење на несмирен челик) или од кокилниот продолжеток (при леење на смирен челик). Сифонското леење ги има следниве предности во однос на леењето во лонец:

- површината на инготиот е чиста бидејќи кокилата се полни одоздола, и металот во кокилата се подигнува полека и мирно;
- можно е леење на поголем број инготи, со што се скратува вкупното време на леење во однос на леењето одозгора;
- можно е регулирање на брзината на леењето во широки граници и постигнување мали брзини на леење.

Недостатоци на сифонското леење се:

- смалување на температурата на металот при премин низ вливниот систем, поради што металот треба да биде загреан на повисоки температури во однос на леењето одозгора.

Кокилите, кои се користат за леење на челикот, се излеани од специјален железен лив. Инготите, кои се одлеваат во кокилите, можат да бидат со различна маса и различен напречен пресек. По одливањето, инготиите се подложуваат на топла пластична обработка. Во зависност од начинот на пластичната обработка инготиите се делат на валавнички и ковачки. Најмногу се користат валавничките инготи кои се делат на инготи за: профили, лимови, цевки и бандажи. Инготите за валање во различни профили обично имаат квадратен напречен пресек, а инготиите за лим имаат правоаголен пресек. Инготите за цевки и бандажи имаат тркалезен или многуаголен пресек. Ковачките инготи се наменети за изработка на одливци, а имаат шестаголен или осумаголен пресек, во зависност од намената.

Прашања

1. Како се изведува процесот на леење на челикот во лонец?
2. На кои начини се врши леењето во кокила?
3. опиши го процесот на леење на челикот одозгора.
4. опиши го процесот на сифонско леење на челикот.
5. Кои се предностите на сифонското леење во однос на леењето во лонец?
6. Што е ингот и какви видови инготи има?

7. МЕТАЛУРГИЈА НА ОБОЕНИТЕ МЕТАЛИ

Обоената металургија се занимава со проучување на процесите на добивање обоени метали. Обоените метали имаат широка примена во сите сфери на современиот живот и влијаат на развојот на целокупното стопанство. Развитокот на денешната цивилизација се должи на широката примена на обоените метали во повеќе индустриски гранки.

Така на пример бакарот, широко се користи во електротехниката, при што развојот на електротехниката не може да се замисли без употреба на овој метал. Потрошувачката на оловото во акумулаторската индустрија е во постојан подем. Алуминиумот во поново време добива сè поширока примена, и тоа, околу 30% за конструкционен материјал, околу 20% за изработка на транспортни средства, во домаќинството и др. Обоените метали во Земјината кора се наоѓаат во облик на нивните минерали или во самороден облик (на пример, злато, бакар и др.).

За добивање на обоените метали од нивните руди се користат следниве три постапки: пирометалуршка, хидрометалуршка и електрометалуршка.

Со пирометалуршката постапка денес се добиваат повеќе обоени метали. Оваа постапка вклучува поголем број металуршки операции како што се: сушење, пржење, топење, редукација и дестилација.

Хидрометалуршките постапки наоѓаат примена при добивање на: бакар, цинк, алуминиум и др. Овие постапки се состојат од следниве операции: лужење, одвојување на фази (цврста и течна), пречистување на растворот и издвојување на металот од растворот. Електрометалуршките процеси се карактеризираат со голема потрошувачка на електрична енергија. Најчесто се користат во металургијата на бакарот, на алуминиумот и на цинкот.

7.1. Поделба на обоените метали

Обоените метали, со оглед на нивните физички и хемиски особини, се поделени во 5 групи:

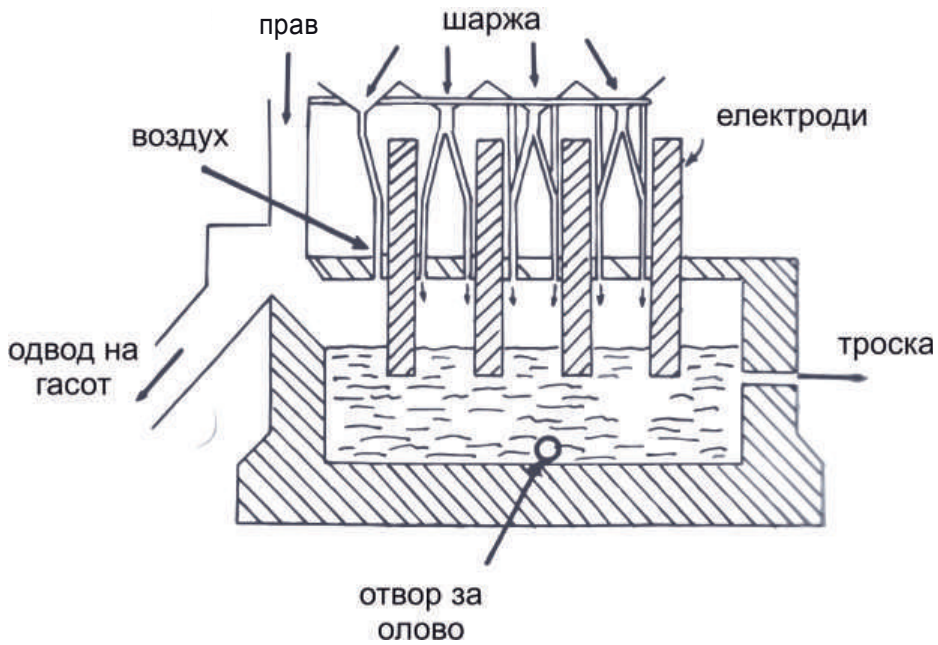
- тешки обоени метали (бакар, олово, цинк, никел, калај)
- лесни обоени метали (алуминиум, магнезиум, титан, калциум, литиум)
- млади обоени метали (кадмиум, бизмут, арсен, антимон, жива)
- благородни метали (злато, сребро и платински метали)
- ретки метали (селен, телур, германиум, молибден, волфрам и др.)

7.1.1. Современи процеси за добивање обоени метали

Во поново време се врши колективна флотација на сите сулфиди кои се наоѓаат во оловно-цинковите руди, при што се добива таканаречен колективен концентрат на олово и цинк. Преработката на овие концентрати може да се врши во таканаречен империјал смелтинг процес, при што истовремено се добиваат двата метала.

Во последните 30 години се вршени интензивни истражувања за примена на континуирана постапка за оксидо-редукциони процеси за директно топење на оловен концентрат. Во тој контекст, разработени се неколку процеси како што е Билиден процесот (сл. 47) за директно топење на суров концентрат во електро печка. Концентратот, кој е претходно исушен до содржина на влага од 2%, се меша со

топител и повратна прав. Во печката се вдувува воздух низ нејзиниот сводот, каде се врши дозирање на шаржата меѓу јаглените електроди.



Слика 47. Шема на Болиден процес.

7.2. МЕТАЛУРГИЈА НА ЦИНКОТ

Добивањето на цинкот и на легурите на цинк и на бакар започнало во Индија и во Кина 2000 години пред нашата ера. Римјаните и Грците добивале месинг, односно, легура на цинк и бакар во лонци, а самиот цинк не го познавале. Во почетокот на XV век почнал да се добива цинк во Харза, и тоа во мали количини. Индустриското производство на цинк започнало во XVIII век во Англија. На крајот на XIX век цинкот се добивал во: Белгија, Франција, Полска и други земји.

7.2.1. Особини на цинкот

Цинкот е метал со бела боја, добро се кова и извлекува. На собна температура е крут, на температура од 100 до 150°C е мек, и на температура над 250 °C е повторно крут. Цинкот се топи на 420 °C, врие на 906 °C, а специфичната маса му е 7,13 g/cm³. На воздух, цинкот се прекрива со слој од базен карбонат кој го штити од оксидација. Добро се раствора во разблажени раствори на база и на киселина.

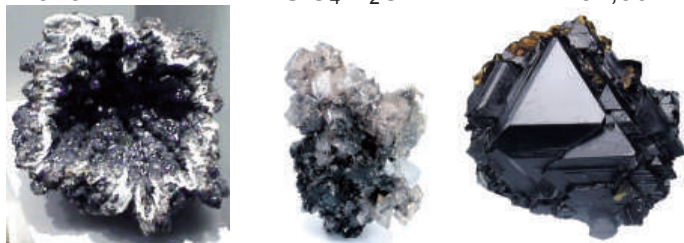


Слика 48. Метален цинк

7.2.2. Руди и минерали на цинкот

Цинкот во Земјината кора најчесто е во облик на: сулфиди, карбонати и силикати. Најзначајни минерали на цинкот се:

Име	формула	содржина на цинк (%)
- сфалерит	ZnS	67,10
- смитсонит	ZnCO ₃	52,10
- марматит	4ZnS.FeS	54,50
- каламин	ZnSiO ₄ .H ₂ O	54,30



Слика 49. Минерали на цинк.

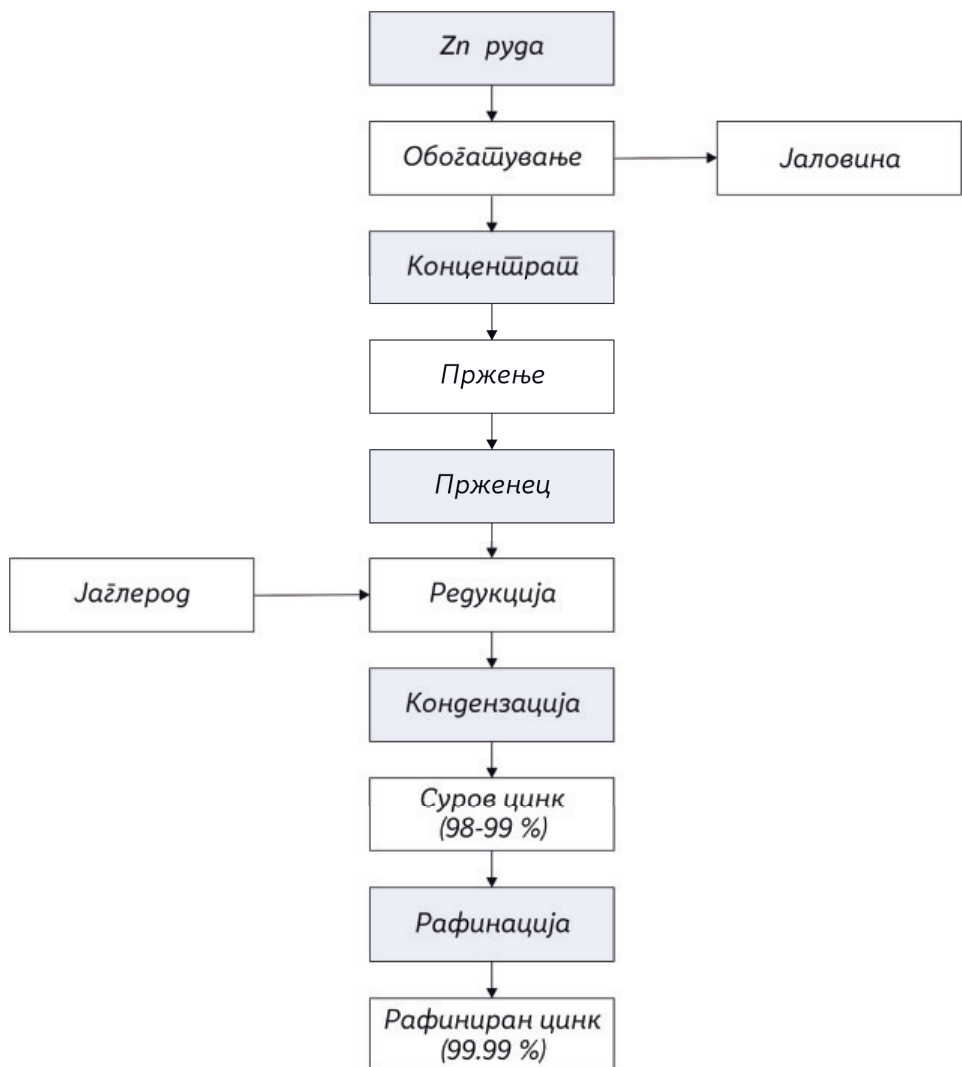
7.2.3. Добивање цинк

Во светот денес цинкот се добива според две постапки: пирометалуршка и хидрометалуршка.

7.2.3.1. Пирометалуршка постапка за добивање цинк

Рудите на цинк, кои содржат 2-3%, цинк не се погодни за металуршка преработка, па затоа се подложуваат на обогатување со флотација, при што се добива концентрат кој содржи 50-60% цинк.

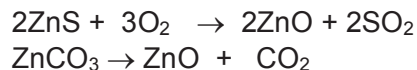
Пирометалуршката преработка се изведува според следнава технолошка шема.



Слика 50. Технолошка шема за пирометалуршко добивање цинк.

Пржење на цинковиот концентрат се изведува со претворање на сулфидните минерали во оксиди, кои се погодни за понатамошна преработка и со цел да се добие метален цинк.

Во текот на процесот се одвиваат следниве реакции:



Пржењето на цинковиот концентрат се врши во печки за флуидизационо пржење, кои се исти со флуосолид реакторот во металургијата на бакарот (сл. 19) стр.29.

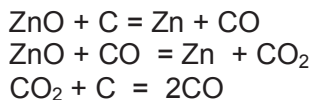
7.2.3.2. Редукција, дестилација и кондензација

Добиениот цинков оксид според оваа постапка се редуцира до елементарна состојба со помош на јаглерод, а реакциската температура изнесува од 1100 до 1200°C; бидејќи металниот цинк испарува на температура 907 °C, цинкот добиен во процесот на редуција е во вид на пареа која потоа се кондензира со намалување на температурата.

Според тоа, при добивање цинк од прженец, се одвиваат два процеса:

- а) редуција и дестилација;
- б) кондензација.

Во процесот на редуција се одвиваат следниве реакции:

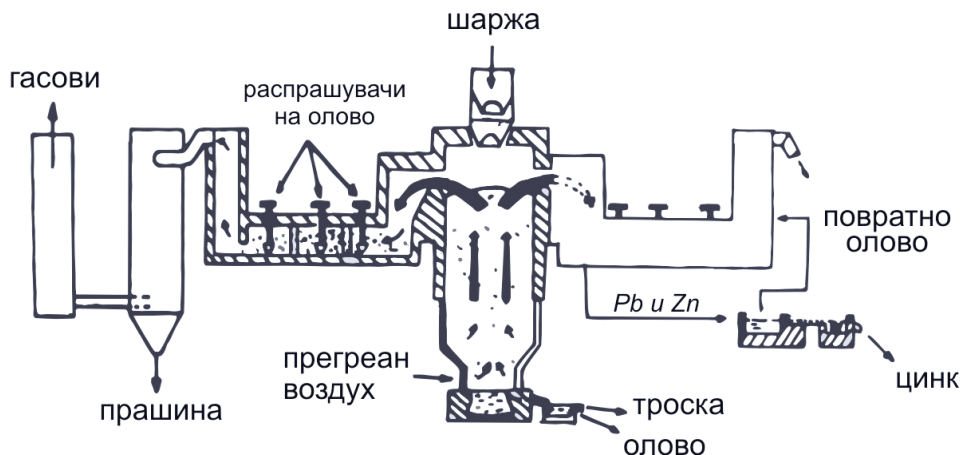


Овој процес се изведува во хоризонтални или вертикални печки кои се викаат реторти или муфли.

7.2.3.3. Добивање цинк во шахтна печка (ISP процес)

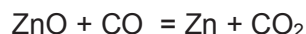
Во денешно време процесот на редуција и на дестилација се изведува во шахтни печки, а кондензацијата се врши во кондензатор кој е непосредно поврзан со шахтната печка. Оваа постапка овозможува преработка на колективни концентрати на олово и на цинк, кои лесно се добиваат со флотација на оловно-цинкови руди. При оваа постапка, истовремено се добиваат цинк и олово во однос 2:1, а самиот процес се вика империјал смелтинг процес.

Испржен оловно-цинков концентрат, односно, оловно-цинков агломерат, помешан со кокс во однос 1:1, се шаржира во шахтна печка. Во шахтната печка (сл. 51) се врши истовремено топење на испржен колективен концентрат на цинк и на олово, во однос два дела цинков на еден дел оловен агломерат.



Слика 51. Шахтна печка за преработка на оловно-цинков агломерат.

Со помош на овој процес можно е да се преработуваат не само сиромашни цинкови концентрати туку и богати оловно-цинкови концентрати, со високо искористување на цинкот и на оловото во метална состојба. Цинковиот оксид од агломератот, кој се шаржира во печката, се редуцира до метал според реакцијата:



За да се спречи повторна оксидација на цинкот до цинкоксид, зголемена е температурата на излезните гасови, што се постигнува со воведување загреан воздух над 600 °C и кокс над 800 °C во самата печка. При овие услови, излезните гасови на ждрелото од печката содржат 11% CO₂ и 15% CO.

Во печката се внесува шаржа која се состои од: оловно-цинков агломерат, варовник и кокс. Потрошувачката на коксот изнесува 90% од масата на цинкот во агломератот и 20% од масата на троската. Добиената троска содржи 32% калциум оксид (CaO) и 11% алуминиум оксид (Al₂O₃). Температурата на топење на троската изнесува 1250°C. Коксот и топители се загреваат на 800°C а агломератот се внесува топол во печката.

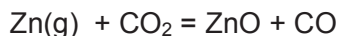
Во печката низ дувниците се вдува загреан воздух кој овозможува согорување на коксот. Улогата на коксот е да се обезбедат потребната температура за топење на шаржата и редуктивна атмосфера за редукција на оксидите во шаржата. Во шаржата константно се одржува редуктивна атмосфера, што овозможува редукција на оксидите на оловото и на цинкот.

Според тоа, во шахтната печка (сл. 51) се врши редукција на цинкоксидот и на оловниот оксид до метален цинк и олово. Бидејќи работната температура во печката изнесува околу 1200 °C, добиениот цинк испарува, а оловото се излева на дното од печката. Во шахтната печка истовремено од јаловинските минерали се образува троската која заедно со металното олово се собира во јадрото на печката каде се врши раслојување на металното олово од троската. Добиената троска се гранулира и пренесува на депонија, а оловото, на рафинација. Цинковите пари со гасовите преминуваат низ шаржата нагоре и влегуваат во кондензатор, кој е поврзан со шахтната печка. Во кондензаторот со помош на пумпа се врши распрснување на оловото. Во кондензаторот поради намалување на температурата од 900°C на 700°C, доаѓа до кондензација на цинковите пари од оловните капки, односно,

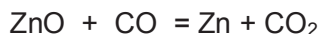
цинкот се раствора во оловото до концентрација 2,26%, при што се заситува оловото со цинк.

Со намалување на температурата, доаѓа до ликвација, т.е. до издвојување на цинкот, додека оловото со намалена содржина на цинк повторно се загрева на 720°C и се распрснува, со цел да се изврши оросување на нови количини цинкови пареи. Добиениот цинк се рафинира за да се издвојат примесите. Гасовите, кои излегуваат од кондензаторот, одат на отпашување, каде што не постои редуktivна атмосфера; таму цинковите пареи оксидираат и кондензираат, а добиениот цинк во облик на прав, како цинкоксид се враќа во процесот на топење. Гасовите од печката влегуваат во два кондензатора, во кои се сместени вертикални пумпи за распрснување на оловото. Оловото се распрснува во ситни капки на кои се врши кондензација на цинковите пареи. Гасовите, кои излегуваат од кондензаторот, содржат 5% цинк. Со промивање на гасовите, се добива сина прав со 30-40% цинк и 40-50% олово. Во самите кондензатори по сидовите останува уште еден спореден производ, дрос, кој содржи 40% цинк и 40% олово. По промивањето, гасовите одат на утилизација за искористување на топлината.

Во зависност од температурата и од составот на гасот, во печката при процесот на топење постојат четири зони и тоа: првата зона е зона на греење на шаржата каде што се врши пренос на топлината од гасот на шаржата; втората зона е зона на реоксидација на цинковите пареи, каде е можна реакцијата:



Третата зона е зона на редукција на цинковиот оксид која се одвива според реакцијата:



И четврта зона е зона на топење на троската. Во оваа зона, каде што температурата изнесува 1000°C, настанува процес на топење на троската. При топењето се добива цинк во калапи со искористување од 91%. Во троската преминуваат 6,5% цинк, а се губат 2,5%. Оловото се рапределува на следниов начин: 89% преминуваат во сурово олово, 5,5%, во цинк, 6,5%, во троска и 2,5% испаруваат.

Империјал смелтинг процесот ги има следниве недостатоци: не е можно да се преработуваат цинкови концентрати со содржина на бакар поголема од 2,5%; подготовката на шаржата за топење е доста сложена, односно, потребни се квалитетен агломерат и кокс. Потрошувачката на коксот е голема, односно, 1:1 во однос на цинкот во агломератот.

Империјал смелтинг процесот ги има следниве предности: процесот е поевтин во однос на добивањето цинк во реторта; помали трошоци при експлоатацијата; намалена работната сила; можност за производство на сулфурна киселина (излезните гасови содржат 6% SO₂). Со овој процес се произведуваат 70.000 тони цинк и 30.000 тони олово годишно. Од 1973 до 2003 година се применуваше во топилницата Злетово во Велес.

Прашања

1. Која е основната карактеристика на империјал смелтинг процесот?
2. Од кои компоненти се состои шаржата на империјал смелтинг процесот?
3. Кои процеси се одвиваат во шахтната печка?
4. Кои зони постојат во печката во зависност од температурата и од составот на гасот?
5. Како се врши издвојувањето на цинкот од кондензаторот?
6. Кои се предностите и недостатоците на империјал смелтинг процесот?

7.2.4. Рафинација на суровиот цинк

Суровиот цинк добиен со дестилациона постапка содржи 1-3% примеси, во кои спаѓаат: оловото, железото, бакарот и др. Поради тоа, потребно е да се рафинира, односно, да се изврши отстранување на примесите.

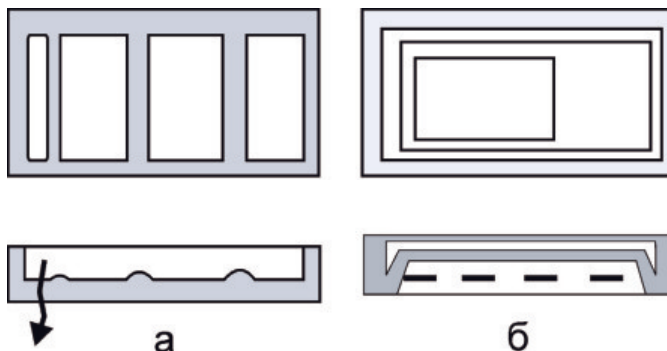
Постојат два вида рафинација, и тоа:

1. рафинација со ликвација,
2. рафинација со ректификација.

Рафинацијата со ликвација се изведува во пламена печка за да се одвојат оловото и железото од цинкот врз основа на нивните различни специфични маси. Течното купатило отстојува 1-2 дена на температура од 420-450 °C, при што се врши раслојување на растопениот суров цинк. Во долниот слој се собира оловно-цинкова легура, во средниот слој, кристали на железо-цинк, кој се вика тврд цинк, а во горниот слој се издвојува цинк со 1-2% олово. Околу 1/3 од цинкот се испушта од печката и се лее во калапи, а потоа се полни печката со нова количина суров цинк.

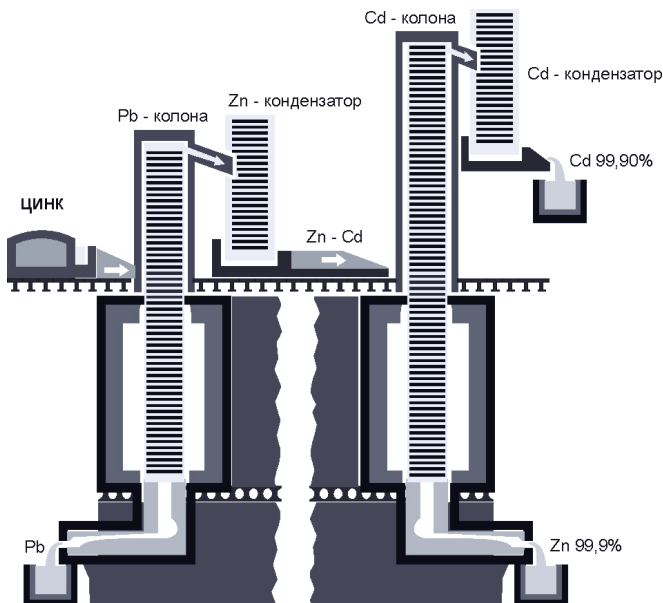
Рафинацијата на цинкот со ректификација се засновува на различните температури на вриење на цинкот и на примесите. Температурата на вриење на цинкот изнесува 906 °C, а на примесите, како кадмиумот, 767°C; оловото, 1755°C; бакарот, 2360 °C.

На тој начин, цинкот се одвојува од примесите кои не испаруваат. Меѓутоа, потешко е неговото одвојување од оловото и од кадмиумот. За таа цел, се користи ректификациона колона, која се состои од повеќе чинии од огноотпорен материјал, поставени една над друга. Чиниите (сл. 52) можат да бидат со испапчено (б) или со рамно дно (а), а секоја чинија има сливен отвор.



Слика 52. Чинии од карбофикс за ректификациона колона.
а) рамно б) испапчено дно

Чиниите поставени една над друга прават една колона. При рафинација на цинкот, постојат две колони кои работат истовремено. Колоната во која се врши одвојување на оловото од цинкот се вика оловна колона, а колоната за одвојување на кадмиумот од цинкот, кадмиумова колона (сл. 53).



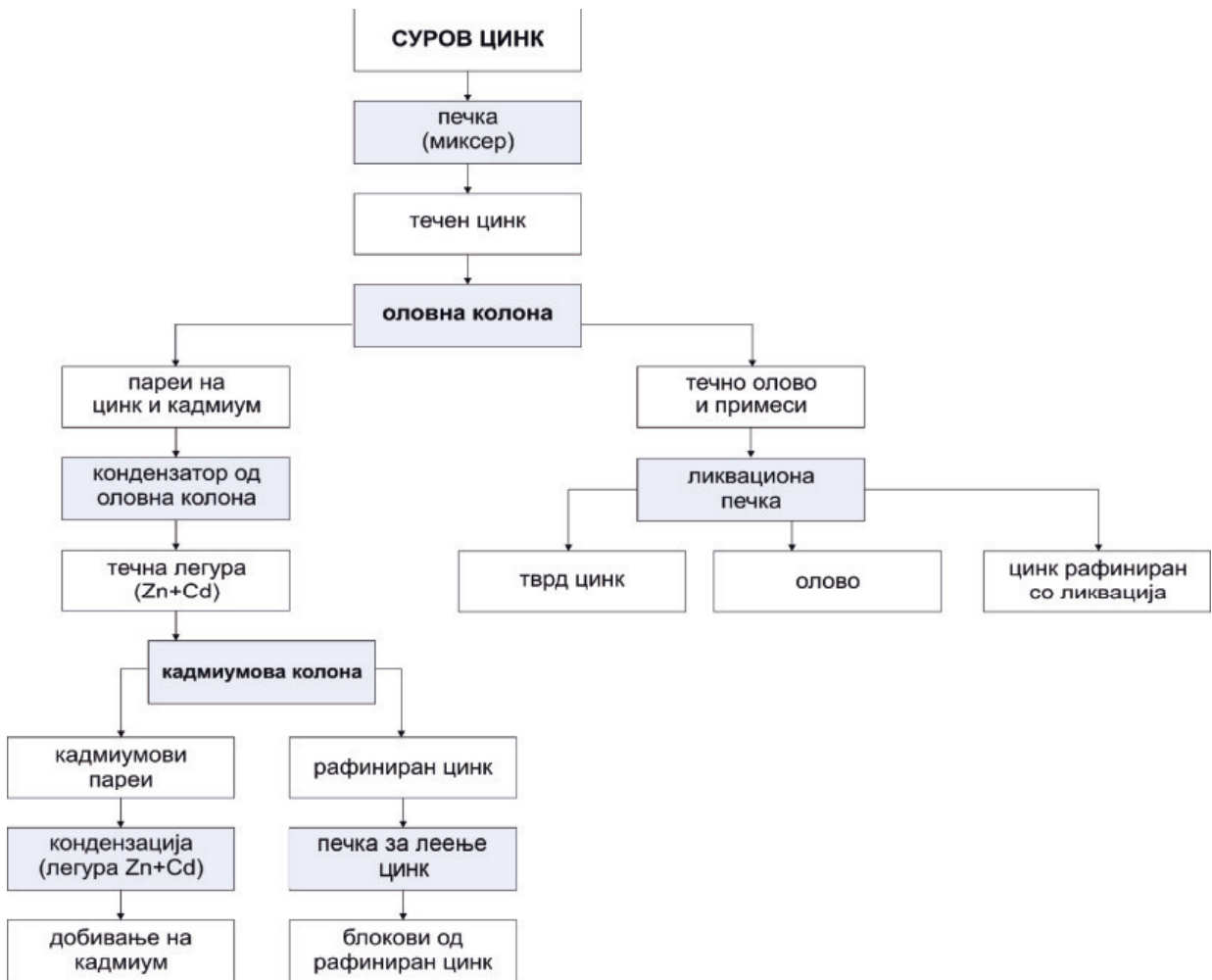
Слика 53. Шема на уредот за ректификација.

Во оловната колона се внесува суров цинк, кој се спушта надолу во колоната од чинија во чинија. Колоната се загрева однадвор со пламен од генераторски гас. Температурата надолу се зголемува, и притоа, цинкот испарува, а оловото останува на долниот дел од колоната. На ист принцип се одвојува кадмиумот од цинкот во кадмиумовата колона, во која кадмиумот испарува а цинкот останува во долниот дел на колоната. При ректификацијата се добива цинк со чистота 99,90%, а искористувањето на цинкот изнесува 94-95%

Добивањето рафиниран цинк и кадмиум со процесите на ликвација и ректификација е прикажано на технолошката шема (сл. 54).

Прашања

1. Кои постапки се применуваат при рафинацијата на суров цинк?
2. Опиши го процесот на ликвациско одвојување на цинкот од оловото и од железото.
3. Кои се составни делови на уредот за рафинација на цинкот со ректификација?
4. Кои процеси се одвиваат во оловната колона?
5. Кои процеси се одвиваат во кадмиумовата колона?



Слика 54. Технолошка шема за рафинација на цинк.

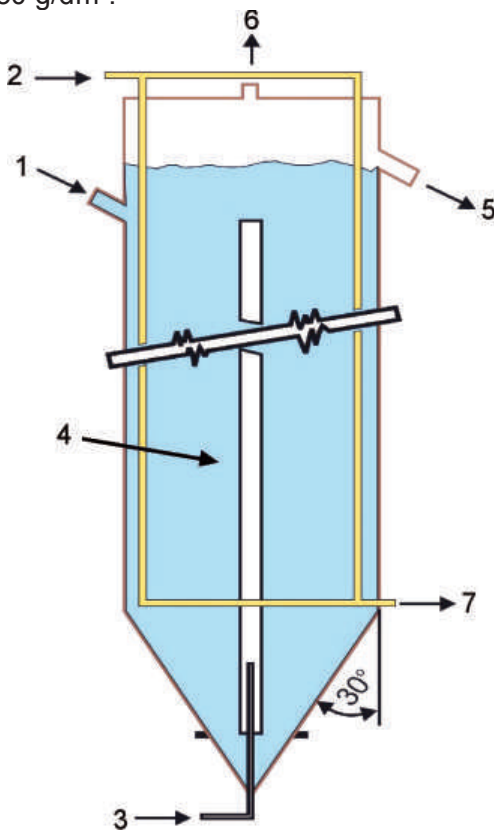
7.2.5. Хидрометалуршко добивање цинк

При хидрометалуршката постапка за преработка на цинковите концентрати, се одвиваат следниве операции: 1. пржење и класификација на прженецот, 2. лужење, 3. пречистување на растворот од примеси, 4. електролиза и 5. топење на катоден цинк. Целта на пржењето на цинковите концентрати претставува оксидација на цинксулфидот и на сулфидите на другите метали и нивно претворање во растворлива форма со разблажена сулфурна киселина. Пржењето може да се изведува во повеќе етажна печка (сл. 18), стр.29, и во флуосолид реактор (сл. 19), стр.29.(п.п.3.2.2.)

Оптималната големина на зрната на добиениот прженец, кој оди на следната операција, лужење, изнесува 0,15-0,20mm. Пржењето со оваа гранулација на зрната побрзо се лужи и дава помала количина мил.

Целта на лужењето претставува целосно претворање на цинкот и на другите корисни компоненти од прженецот во раствор, при минимално онечистување на растворот со штетни примеси. Под поимот лужење главно се подразбира процес на растворање на една или повеќе компоненти во течниот раствор. Во хидрометалургијата под тој поим често се разбира целокупност на низа операции како: растворање на цинкоксидот во сулфурна киселина, таложење, филтрирање на пулпата, хидролитичко пречистување на примесите итн.

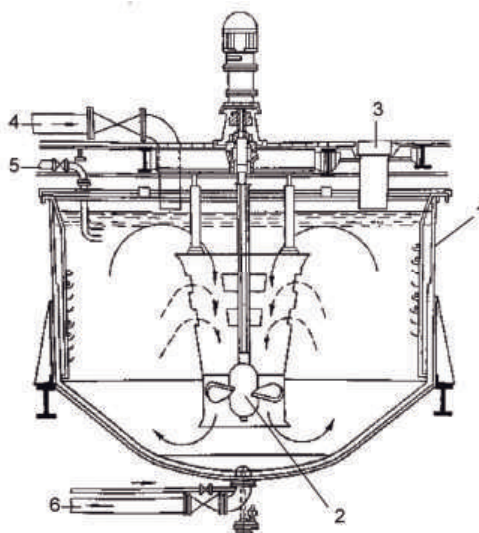
На лужење се подложува сув прженец со гранулација околу 0,20mm, а како растворувач се користи разреден раствор на сулфурна киселина со концентрација 100-150 g/dm³.



Слика 55. Шематски приказ на пачука агитатор за лужење.

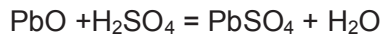
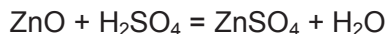
1. довод на пулпа, 2. пареа, 3. компримиран воздух, 4. централна оска,
5. прелив на пулпа, 6. излез на воздух, 7 кондензат.

Пачука агитаторот, прикажан на сл. 55, претставува висок кружен резервоар со конусно дно во кој пулпата се меша со воздух и со пареа, што овозможува циркулација на пулпата одоздола нагоре низ централната цевка. Овој процес се изведува под притисок на компримиран воздух, што овозможува ефикасно лужење на цинковата руда.



Слика 56. Агитатор со пропелерна мешалка.
 1. облога на агитаторот, 2. пропелерна мешалка, 3. отвор за прженец, 4. кисел раствор, 5. довод на водена пареа, 6. компримиран воздух.

При процесот на лужење се одвиваат следниве реакции:



Каде што Me – Cd, Cu, Fe, Ni, Mn, As и ретки метали

Во растворот преминуваат 80-85% цинк, како и значителна количина од претходно наведените метали. Оловните соединенија преминуваат во нерастворлив оловен сулфат. Железото преминува во облик на Fe^{2+} , а мал дел како Fe^{3+} . Арсенот и антимонот преминуваат во раствор во тривалентен облик. Лужењето, освен во пневматски пачука агитатор (сл. 55), може да се изведува во агитатор со пропелерна мешалка.

Агитаторот со пропелерна мешалка (сл. 56) е изработен од челик и обложен со материјал отпорен на киселина. Апаратот е со пречник 6m, висина 5m и волумен 100m^3 . По ѕидовите на цилиндарот се прицврстени спирали за олово низ кои се доведува пареа за загревање на пулпата за време на лужењето. Во центарот на агитаторот постои апарат за мешање на пулпата, кој се состои од гумиран сад со конусен облик и пропелер од челик отпорен на киселини. Мешалката се врти со 40-100 вртежи во минута. Пулпата при мешањето се циркулира во вертикална насока, како што е прикажано на сл. 56. Добри страни на лужењето во агитатор се: добро мешање на пулпата при мала потрошувачка на електрична енергија, добра регулација на условите за лужење, можност за загревање на пулпата.

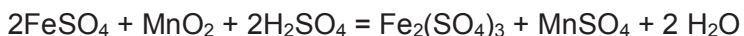
7.2.6. Пречистување на растворот

За време на процесот на лужење на прженецот, во раствор преминуваат повеќе метали и соединенија. За да се обезбеди нормално одвивање на процесот на електролиза, цинковиот раствор мора да биде внимателно исчистен од примесите. Во зависност од начинот на пречистување, овие примеси може да се поделат на следниве четири групи:

- 1) железо, алуминиум, бакар, арсен, антимон, индиум, талиум
- 2) бакар, кадмиум, кобалт, никел,
- 3) хлор, флуор
- 4) калиум, натриум, магнезиум.

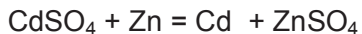
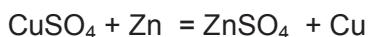
Примесите од првата група може да се отстранат од растворот со хидролиза и со таложување уште во фазата на киселото лужење. Примесите од втората група се отстрануваат со цементација со електронегативни метали. Примесите од третата група се отстрануваат со метод на хемиско пречистување, со образување на соединенија нерастворливи во водени раствори. Примесите од четвртата група се отстрануваат со издвојување на дел од растворот во фазата на електролиза.

За целосно таложување на железото, потребно е претходно двовалентното железо да се оксидира. Железото најчесто оксидира со манганов концентрат, односно, пиролузит, според реакцијата:



Реакцијата успешно се одвива со агитационо лужење со раствор на сулфурна киселина ($5\text{-}8 \text{ g/dm}^3$). Пречистување на растворот од бакар и кадмиум се врши со цементација. Како средство за цементација се користи цинков прав со гранулација ($0,054\text{-}0,074$)mm. Пречистувањето се изведува во механички агитатори, а потрошувачката на цинков прав изнесува $34\text{-}45\text{kg/t}$.

При цементацијата се изведуваат следниве реакции:



Кобалтот се издвојува од растворот со додаток на калиумбутил ксантогенат. Пречистувањето се изведува со агитатор со механичко мешање на температура $40\text{-}80^\circ \text{C}$, за време од 2 часа. Хлорот се отстранува со раствор на сребренсулфат.

Прашања

1. Кои операции се одвиваат при хидрометалуршка преработка на цинковите концентрати?
2. Која е основната цел на пржењето на концентратите?
3. Кои се основните хемиски реакции при лужењето на цинковиот прженец?
4. Кои апарати се користат за лужење на цинковиот прженец?
5. Како се отстрануваат железото, арсенот и антимонот од цинксулфатниот раствор?
6. Како се отстрануваат бакарот и кадмиумот?
7. Која постапка се користи за отстранување на кобалтот?

7.3. МЕТАЛУРГИЈА НА ОЛОВОТО

7.3.1. Вовед

Оловото припаѓа во групата метали кои почнале да се добиваат во праисториско време. Заедно со златото и со среброто оловото почнало да се добива во Египет, 5000-7000 години пред нашата ера. Предмети од олово потекнуваат од пред 3500 години пред нашата ера. Феничаните ги експлоатирале рудниците во Шпанија пред 2600 година пред нашата ера. Грците топеле оловна руда на островите Кипар и Родос, а Римјаните во Галија, во Германија и на Балканот. Во Америка оловото почнало да се добива 1621 година, а во Русија е добиено уште во дамнешно време. Паралелно со оловото, уште во стариот и во средниот век биле познати некои оловни соединенија како: оловната глеѓ (PbO) и оловното белило ($PbSO_4$). Количината на олово во Земјината кора изнесува 0,025%. Во рудата, оловото се наоѓа во облик на соединенија од кои најпознати се сулфидните и оксидните. Современата металургија на олово се базира речиси исклучително на сулфидните руди. Најголеми резерви на оловни руди се наоѓаат во: Канада, Австралија, САД и Германија. Овие земји располагаат со околу 67% од вкупните резерви на оловото во светот. Македонија располага со богати рудни наоѓалишта на оловна и цинкова руда во Злетово (Пробиштип) и во Саса (Македонска Каменица).

7.3.2. Особини и употреба на оловото

Оловото е метал со карактеристични својства. Тоа е меко, пластично и со металносива боја. Оловото се топи на температура од $327^{\circ}C$, а врие на $1500^{\circ}C$. Кога оловото е во цврста состојба, неговата специфична маса изнесува $11,34g/cm^3$, а кога е во течна, $10,69g/cm^3$. Поради релативно ниската точка на вриење, оловото забележливо испарува на температура од околу $1000^{\circ}C$. Оловото е тешко растворлив метал и може да се раствори во концентрирани киселини со издвојување на водород. Оловото и неговите соединенија се отровни.

Поради својата висока специфична тежина, се користи за изработка на оловни сачми и зрна. Во хемиската индустрија се користи за изработка на апаратури отпорни на киселини, а во акумулаторската индустрија и во електротехниката за добивање акумулатори и за обложување на кабли. Оловото се користи и како легура со други метали, и тоа, олово-антимон (или како што се вика антимоново олово), кое се користи во хемиската индустрија и при производство на акумулатори. Од хемиските соединенија најважен е оловниот оксид (оловна глеѓ), кој се употребува во керамичката и во акумулаторската индустрија.

Како суровини за добивање на оловото се користат оловните руди и индустриските отпадоци. Во оловните руди, оловото е во облик на поголем број минерали, од кои најважни се: галенитот, церузитот, англезитот. Оловните руди по правило се комплексни и содржат други метали како: цинк, сребро, бакар, арсен,

антимон, калај и др. Најважни метали кои го следат се: цинкот и среброто, при што во некои руди, количината на цинк може да биде поголема и од онаа на оловото. Овие руди се викаат оловно-цинкови руди и претставуваат суровинска база за добивање на овие два метала. Комплексно искористување на оловно-цинковите руди е можно со нивно претходно збогатување, односно, флотација. При флотацијата се добива флотациски оловен концентрат, кој содржи 40-70% олово, 12-15% цинк, 2-3% бакар и др.

7.3.3. Минерали и руди на оловото

Најзначајни минерали на оловото се:

- галенит (PbS) со содржина на оловото 86,6%,
- церузит ($PbCO_3$) со содржина на оловото 77,6%,
- англезит ($PbSO_4$) со содржина на оловото 68,3%,
- вулфенит ($PbMoO_4$) со содржина на оловото 56,5%



Слика 57. Минерал на оловото (галенит).

Галенитот е најраспространет оловен минерал. Се сретнува во жили и во дебели слоеви. Ретко е чист, а најчесто го придружуваат сулфиди на цинкот и на железото. Галенитот содржи минимални количини сребро и злато. Оловото најчесто се среќава во вид на комплексни оловно-цинкови руди кои содржат 5-10% олово, 10-15% цинк, потоа: бакар, арсен, антимон, кадмиум и др. Како секундарни суровини за добивање олово се користат различни отпадоци од олово и неговите легури. Оловото денес се добива во многу земји во светот. Најголеми производители на олово во светот се САД, Австралија, Мексико и Канада, кои произведуваат повеќе од 60% од светското производство.

7.3.4. Постапки за добивање олово

Од неговите руди и концентрати оловото може да се добие според пирометалуршка и според хидрометалуршка постапка. Најголемо значење во металургијата на оловото имаат пирометалуршките постапки кои се делат на:

- таложна постапка,
- пржно-реакциска постапка и
- пржно-редукциска постапка.

Таложната постапка се применува на чисти сулфидни руди и се базира на истиснување на оловото од оловниот сулфид со метално железо, според реакцијата:

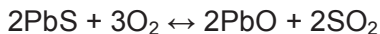


Оваа реакција се одвива на температура од околу 1200 °C

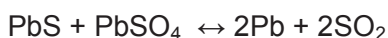
7.3.4.1. Пржно-реакциска постапка за добивање олово

Основата на пржно-реакцискиот процес се состои во третирање на смеса од богат оловно-сулфиден концентрат со цврсто гориво во струја на компримиран воздух. Притоа, се врши делумно пржење на оловниот сулфид, со образување на оловен сулфат, реакција меѓу оловниот сулфид и производите од неговата оксидација, т.е. оловен оксид и оловен сулфат. Карактеристично за овој процес е тоа што реакциите на пржењето и другите реакции, кои водат кон добивање на металното олово, се одвиваат истовремено.

Реакциите на пржење се следниве:

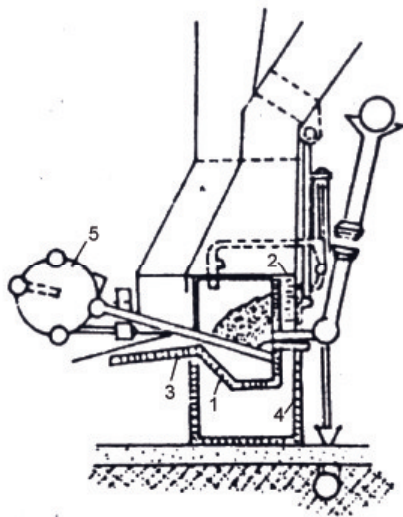


Потоа, неоксидираниот оловен сулфид реагира со оловниот оксид и оловен сулфат според реакциите:



Во текот на процесот, во коритестите печки се додава одредена количина ситен јаглен или кокс. Бидејќи при топењето се користат богати и чисти оловни концентрати, како производ на топењето, освен олово, се добиваат и богати меѓупроизводи кои се приготвуваат во шахтна печка. Современата коритеста печка

за топење на оловото се состои од корито со должина од 2,5m и со дебелина на ѕидовите од 50mm. Печката е заградена со жакети за ладење, а од предната страна се наоѓа косо поставена работна платформа сл. (58). Пуштањето на печката да работи се врши на следниов начин: прво коритото се полни со течно олово, а потоа на површината на оловото се внесува шаржа, која се состои од оловен концентрат, вар и ситен кокс или јаглен. Количината на коксот изнесува 2-3% од масата на концентратот. Низ дувниците се вдувува воздух кој врши оксидација на оловниот сулфид. Продуктите на оксидацијата реагираат со сулфидот при што капки од течното олово продираат низ цврстата фаза и се вливаат во коритото. За време на топењето шаржата се меша со лост преку специјален механизам кој се движи пред печката.



Слика 58. Коритеста печка за топење олово.

1. корито, 2. жакети, 3. работна платформа,
4. лост; 5. механизам за мешање.

Производи на топењето во коритестата печка се: сурово олово, сива троска и прав. Во суровото олово преминуваат 65-70% од оловото од шаржата. Сивата троска е во количина од 15-30% од масата на појдовната шаржа и се преработува со шахтни печки.

Правта со гасовите оди во филтерни вреќи, а понатаму со синтерување се добива агломерат, кој се топи во шахтна печка. Со развојот на технологијата на процесот на топење во шахтна печка, денес, добивањето на олово во коритестите печки сè помалку се применува.

7.3.4.2. Пржно-редукциска постапка за добивање олово

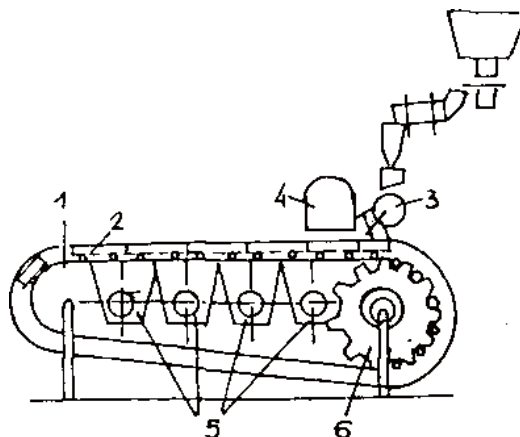
Оваа постапка се состои од две операции:

1. агломерационо пржење или синтерување на оловна руда и концентрат,
2. редукциско топење на добиениот агломерат во шахтни печки.

7.3.4.2.1. Агломерационо пржење или синтерување на оловни руди и концентрат

Оловните концентрати пред топење се пржат на агломерациона машина, со цел сулфидите да се претвораат во оксиди кои лесно се редуцираат во шахтна печка. Процесот на пржење на концентратот и на ситната руда при што материјалот округнува, се вика агломерационо пржење или синтерување. За време на агломерационото пржење низ слојот на шаржата се провшмукува воздухот кој обезбедува интензивно согорување. Притоа, се развива висока температура која ги потпомогнува интензивното пржење, омекнувањето и делумното топење на најлесно топливите компоненти. Синтерувањето на честичките и образувањето на агломератот (порозна сунѓереста маса) се вршат на висока температура. Во овој процес доаѓа до топење на леснотопливите соединенија и до реакција помеѓу металните оксиди и силициумдиоксидот од шаржата; притоа, настанува течна фаза која пробива низ шаржата и при ладењето цврсто ја поврзува и ја трансформира во цврст и крупен агломерат.

За пржење со синтерување најчесто се применува агломерациона машина со бесконечна лента. Лентата има облик на решетка. На неа се нанесува тенок слој од шаржа кој се потпалува, а потоа се синтерува со провшмукување или продувување на воздухот.



Слика 59. Агломерациона машина за добивање оловен агломерат.

1. решетка, 2. метална лента, 3. уред за шаржирање,
4. печка за палење, 5. шмукалка комора,
6. погонски механизам.

Машината за агломерација (сл. 59) се состои од следниве делови: решетка, челично вагонче, уред за шаржирање, печка за почетно палење, комора за внесување воздух и погонски механизам.

Решетката се состои од две паралелно поставени и меѓусебно поврзани шини на кои се поставени сите делови од машината. Вагончињата се движат со помош на два запченици, кои при вртењето преку запците го зафаќаат вагончето кое се движи по долниот дел на решетката и го подигнува на горниот дел на решетката. Вагончињата се наредени едnodруго, се движат по горниот дел од лентата и кога доаѓаат на нејзиниот крај, агломератот од вагончето паѓа во бункер. Вакуум комората претставува правоаголен сандак прицврстен со горниот крај на горната шина. Комората за шмукање на воздухот се дели на неколку делови, и секој од нив има одвод (кој е споен со заеднички гасовод) и ексхаустор. Воздухот се вшмукува низ шаржата (која лежи на решетката) и минувајќи низ комората се отстранува низ гасоводот. Палењето на шаржата се врши со помош на печка која се наоѓа на горниот дел од машината. Печката се потпалува со мазут, со гас или со кокс и овозможува да се добие температура од околу 1000°C. Над горниот дел од машината се наоѓа хауба која ја собира правта. При синтерувањето на оловните концентрати, кои содржат поголема количина лесно топливи оловни силикати, со температура на палење 700-900°C, процесот на агломерација се изведува на температура од 950 до 1100°C. Пржењето и синтерувањето се вршат многу интензивно при нормална содржина на сулфур во концентратот поради топлината ослободена од процесот. Затоа, потребно е да се врши разблажување на шаржата со додатоци кои не содржат сулфур. Во практиката обично се додава варовник (CaCO_3), кој се смета како добар термички регулатор. Исто така, пред агломерационото пржење шаржата се навлажнува, при што влагата го апсорбира вишокот топлина, а од друга страна, се постигнува добар контакт меѓу воздухот и честичките на шаржата. По испарувањето на водата, во шаржата се образуваат ситни пори.

При пржењето на оловните концентрати со висок процент на сулфур, денес се користат две постапки на агломерација: едностепенa и двостепенa постапка.

Кај едностепената агломерација, на концентратот му се додава повратен агломерат во количини 150-250% од масата на суровата шаржа. При пресметката на шаржата за агломерација, потребно е таа да содржи околу 3-6% сулфур, колку што е потребно за да се одвива процесот без додаток на горива. Еден дел од добиениот агломерат (25-30%) оди на топење во шахтната печка, додека другиот дел (70-75%) се дроби од 6 до 8mm и се враќа во шаржата за агломерација. Кај двостепената агломерација, целокупната шаржа со 12 до 14% сулфур оди на прво пржење. Добиениот агломерат од првиот степен на агломерационо пржење, по дробењето преминува на втор степен на пржење. Шаржата од вториот степен содржи 6-8% сулфур. Таа се пржи да содржина од 1,5 до 3% сулфур во агломератот. Во зависност од движењето на воздухот, во однос на шаржата и лентата на агломерационата машина, разликуваме:

1. Агломерација со провшмукување воздух (потпритисок)
2. Агломерација со продувување воздух (натпритисок)

Во почетокот била најраспространета агломерацијата со провшмукување воздух одозгора надолу, додека подоцна сè повеќе се применувала агломерацијата со продувување воздух одоздола нагоре. Најголем број топилници во светот работат со агломерационо пржење, со продувување воздух одоздола нагоре, кое ги има следниве предности во однос на претходниот начин:

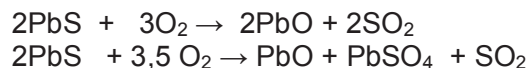
- Можно е синтерување на шаржи богати со олово (повеќе од 50%).
- Двојно е зголемен капацитетот на агломерационата машина.
- Зголемено е искористувањето на сулфурот (околу 80%) за добивање сулфурна киселина.
- Зголемен е векот на траењето на решетките, а смалена е и корозијата во гасоводите и во каналите.

7.3.4.2.2. Хемиски реакции при агломерационото пржење

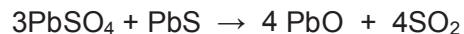
Суштината на агломерационото пржење се состои од интензивна оксидација на сулфидите која се одвива со провшмукување на воздухот низ слој на шаржата на високи температури, како и делумно синтерување на шаржата, која при ладењето добива цврста и порозна структура.

Оловните концентрати, освен оловен сулфид, содржат: цинк сулфид, железен сулфид, халкопирит, халкозин и др.

Оловото во концентратот се наоѓа во облик на оловен сулфид, кој оксидира во присуство на кислород според реакциите:



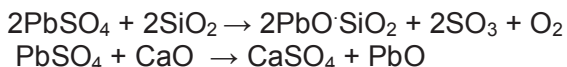
Оловниот сулфат како примарен производ на оксидацијата, на температура од 550°C реагира со оловен сулфид според реакцијата:



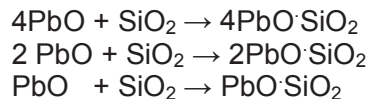
Може да се образува и метално олово според реакцијата:



Оловниот сулфат PbSO_4 на температури повисоки од 900°C е нестабилен и во присуство на SiO_2 , на Fe_2O_3 и на CaO , се разложува според реакциите:



Оловниот оксид во агломератот на температура над 750°C со SiO₂ образува силикати според реакциите:



Образувањето на силикатите е корисно бидејќи добиените силикати лесно се топливи, ги облеваат честичките на шаржата, ги омекнуваат и ги стимулираат, а при ладењето, ги окрупнуваат. На тој начин, се формираат зрна од порозен агломерат кој претставува појдовна суровина за следниот процес на топење во шахтната печка.

Прашања

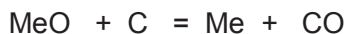
- 1 Кои постапки се користат за добивање олово?
- 2 Кои се основните хемиски реакции при пржно-реакцискиот процес?
- 3 Од кои операции се состои пржно-редукциската постапка?
- 4 Опиши го процесот на топење на оловото во коритеста печка.
- 5 Како се врши агломерационото пржење на оловни концентрати во Двајт-Лојдовата печка?
- 6 Кои видови агломерационо пржење постојат во зависност од составот на концентратот и од вдувувањето воздух?
- 7 Кои се основните хемиски реакции при агломерационото пржење на оловните концентрати?

7.3.4.3. Редукционо топење на оловен агломерат во шахтна печка

Топењето на оловото во шахтната печка претставува најважен процес за добивање сурово олово. На овој начин се добиваат повеќе од 90% од вкупното производство на овој метал.

Задача на топењето во шахтна печка е да се добие максимална количина олово во облик на метал, во кој се концентрирани благородните метали, троска во која преминува јаловината. Ако агломератот содржи извесна количина бакар и сулфур, при топењето се добива камен, а шпајза, во присуство на: арсен, антимон, никел, кобалт. Во печката се додава топител варовник, кој се користи за корекција на шаржата. Како гориво се користи кокс. Коксот, кој во својот состав содржи јаглерод, согорува со кислородот од воздухот и ослободува топлина, при што се зголемува температурата и се постигнува редуктивна средина која предизвикува определени физичко-хемиски процеси. Како резултат на овие процеси, од топењето се образуваат течните производи и гасовите. Составот на оловниот агломерат е многу сложен. Негови главни компоненти се: олово, цинк, железо, бакар, кои се наоѓаат во облик на оксиди, на силикати, на ферити и на сулфиди. Од јаловинските

минерали присутни се: калциумоксид, магнезиумоксид, алуминиумоксид и др. Најважен процес при топењето во шахтна печка претставува редуцијата која може да се изрази со равенка од општ вид:



која претставува почетна и крајна состојба на системот. Оваа реакција претставува реакција на директна редуција и се одвива на високи температури. Поради тоа, најголемо значење имаат реакциите:

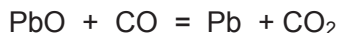


Брзината и степенот на редуција на оксидот, кој се наоѓа во агломератот, зависат од следниве фактори:

- брзината на доведувањето на гасот, редуцентот и одведувањето на производите од редуцијата;
- температурата на процесот и
- гранулацијата и порозноста на шаржата.

Оловото во агломератот е во облик на оловен оксид, делумно во оловен сулфид и во метален облик. Неговата вкупна количина во шаржата изнесува 35-60%.

Оксидот на оловото се редуцира со јаглеродмоноксидот според реакцијата:



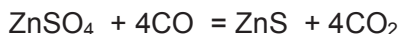
Реакцијата почнува на 160-180°C

Редуцијата на оловниот оксид со цврст јаглерод започнува на 500°C, а со PbS, на 800°C.

Од истопените силикати, редуцијата на цинксулфатот се одвива според реакцијата:



или во присуство на јаглеродмоноксид преминува во цинксулфид:



Добиениот цинксулфид го отежнува процесот на топење. Железото во агломератот се наоѓа во облик на хематит (Fe_2O_3) и преминува во троска.

Во шахтната печка хематитот се редуцира до магнетит (Fe_3O_4) и до железен оксид (FeO), кој со силициумдвооксидот преминува во троска според реакцијата:

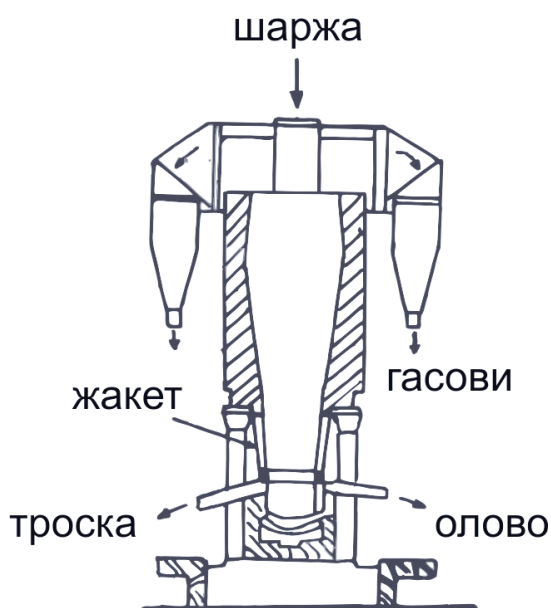


Добиениот $\text{FeO}\cdot\text{SiO}_2$ (фајалит), претставува главна компонента на троската настаната во шахтната печка за олово.

Главни продукти од процесот на топење се: суровото олово, каменецот и троската. Тие се карактеризираат со различна специфична маса и лесно се одвојуваат во посебни продукти.

Топењето на агломератот за да се добие сурово олово се изведува во шахтна печка. Печките можат да бидат тркалезни или правоаголни. Главни делови на тркалезната печка (сл. 60) се: претпечка, шахта и ждрело.

Длабината на претпечката изнесува 600-700mm. Суровото олово се излева од неа преку сифон, кој има пресек 25 x 25mm. За испуштање на троската се користи еден или два отвора. Кога ќе се наполни печката со олово, се полни сифонот. При доаѓањето нови количини олово во претпечката, растопениот метал истекува од сифонот. Во случај на затнување на сифонот, оловото се испушта преку отвор поставен на дното од претпечката.



Слика 60. Шахтна печка за олово.

Во долниот дел од печката се поставени дувниците, кои во поново време се поставуваат во два реда. Дувниците се обезбедени со уреди за снабдување на жакетите со вода за ладење. На секој жакет доаѓаат 3-4 дувници. Пречникот на дувниците изнесува 100-125mm. Висината на шахтната печка од дувниците до ждрелото изнесува 4-6m, а ширината во областа на дувниците, 1,6m. Температурата во областа на дувниците изнесува 1250-1300°C, дури и до 1400°C во некои делови од фокусот над печката. Температурата во претпечката е пониска во однос на температурата над дувниците и изнесува 900-1000°C. Температурата на

излезните гасови од ждрелото изнесува 250-400°C. Добиениот примарен производ од шахтната печка е сурово олово, кое поради извесни примеси, не е доволно чисто и оди на понатамошна преработка со рафинација.

Прашања

1. Каков е составот на шаржата при редукирно топење во шахтна печка?
2. Кој е најважен процес при топењето во шахтната печка?
3. Кои се основните реакции при редукирното топење во шахтната печка?
4. Кои се производите при процесот на топење?
5. Кои се составните делови на шахтната печка?
6. Како се врши испуштањето на оловото и на триската од шахтната печка?

7.3.5. Рафинација на суровото олово

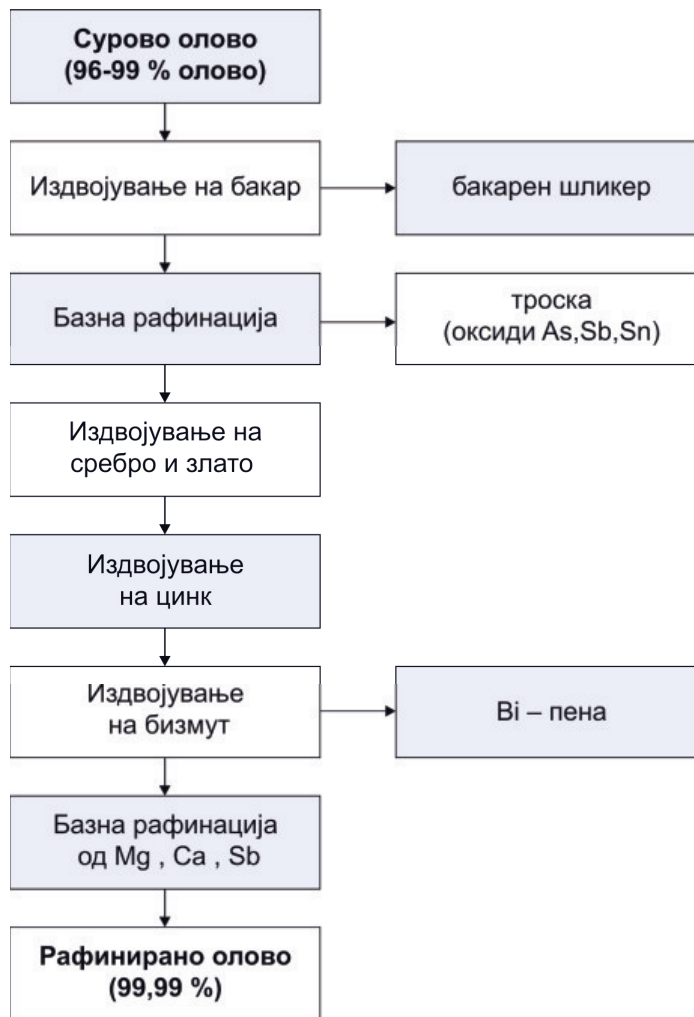
Суровото олово во својот состав содржи: 98-99% олово, 0,1-0,2% бакар, 0,06-1% калај, до 1,3% арсен, 0,1-0,3% антимон, 0,4% цинк, 0,3% бизмут, 0,25% железо, 0,0001-0,005% злато и 0,05-0,8% сребро.

Суровото олово не може да се користи без претходна рафинација. Целта на рафинацијата се состои не само во отстранување на примесите од оловото туку и во добивање збогатени меѓупроизводи од кои се добиваат метали во чиста состојба. Ова посебно се однесува на благородните метали чија количина може да биде толкава што нивната вредност е поголема од вредноста на самото олово.

Суровото олово може да се рафинира според пирометалуршка и според електрометалуршка постапка.

7.3.5.1. Рафинација на оловото според пирометалуршка постапка

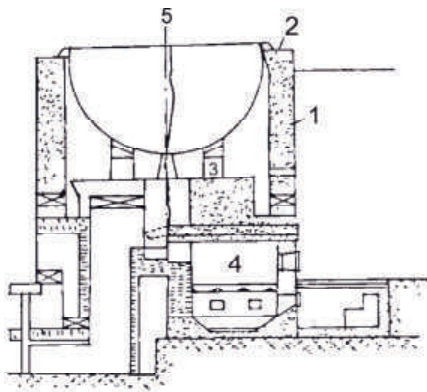
Процесот на пирометалуршка или пламена рафинација на суровото олово е даден на следнава технолошка шема:



Слика 61. Технолошка шема на процесот на рафинација на оловото.

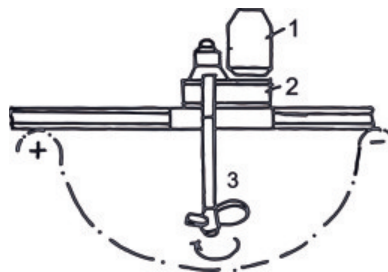
Како апарати за рафинација се користат котли излеани од железо или челик кои се загреваат со течно или гасовито гориво. Котелот е поставен на огниште од тули. Гасовите од согорувањето на горивото поминуваат на почетокот низ прстенест канал кој го опкружува котелот, а потоа, преминуваат во оџакот.

Се изработуваат котли со капацитет од 10 до 200 тони. Котелот (сл. 62) се полни и се празни со течно олово со помош на центрифугална пумпа која има капацитет до 12 тони во минута и јачина на моторот 7,5-12Kw. Течното олово се меша со помош на мешалка за олово (сл. 63) која се врти со брзина од 100 до 160 врт./минута, при што мешалката го насочува движењето на оловото одозгора надолу, образувајќи левак (вртлог) на површината на оловото. Реагенсите, кои се внесуваат во левакот, се повлекуваат во насоката на движењето на оловото и добро се распоредуваат по волуменот на оловото.



Слика 62. Котел за рафинација на олово.

1. осид, 2. венец за носење на котелот, 3. долни носачи, 4. огниште, 5. работна платформа.



Слика 63. Мешалка за олово.

1. мотор, 2. регулатор, 3. пропелер.

Автоматската регулација на температурата ја подобрува рафинацијата на оловото и го поевтинува производството. Притоа, најдобро е електрично загревање на котелот.

Пирометалуршката рафинација се состои од следниве операции:

1. Одвојување на бакарот – одбакарување;
2. Одвојување на калајот, на арсенот, на антимонот;
3. Одвојување на среброто и на златото;
4. Одвојување на цинкот – отцинкување;
5. Одвојување на бизмутот;
6. Одвојување на калциумот и на магнезиумот.

7.3.5.1.1. Одвојување на бакарот

Одвојувањето на бакарот од суровото олово се заснова на различната специфична маса на оловото ($11,3 \text{ g/cm}^3$) и на цврстиот раствор бакар-олово (9 g/cm^3), односно, при ладење на сурово олово, бакарот ќе исплива на површината на течното олово.

Степенот на одбакарувањето е толку поголем доколку што е пониска крајната температура на ладењето на казанот. Оваа операција се вика груба рафинација на оловото со ликвација. Понатамошно отстранување на бакарот се врши со помош на елементарен сулфур. Тоа се врши на тој начин што во олово загреано на температура од 330 до 350°C , при мешање на мешалката, се внесува елементарен

сулфур. Бакарот со сулфурот обрзува бакарен сулфид (Cu_2S) кој испливува на површината на течното олово во облик на цврсти честички.

Отстранувањето на првиот и на вториот сулфиден шликер се врши со шупликави лажици. Пред отстранувањето, температурата на оловото се зголемува до 370°C , со што се намалуваат механичките загуби на оловото.

Преработката на бакарниот шликер претставува самостојна операција. Шликерот со ликвациона рафинација содржи 50-80% олово и 10-25% бакар. Заедно со оловото, во него преминуваат дел од примесите кои се наоѓаат во оловото. Количината на шликерот зависи од количината на бакарот во оловото и се движи во граници од 10 до 13%. Бакарниот шликер се топи во пламени печки. При преработка на шликерот, се добива сурово олово кое се враќа во процесот на рафинација, додека троската се преработува во шахтна печка.

7.3.5.1.2. Одвојување на арсенот, на антимонот и на калајот

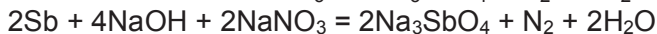
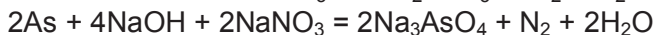
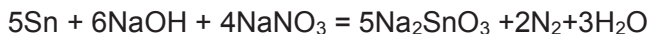
При операцијата на одвојување на бакарот, примесите, како што се: арсенот, антимонот и калајот, не се отстрануваат. Тие имаат поголемо сродство кон кислородот од оловото, а нивните оксиди не се раствораат во течното олово. Поради тоа, отстранувањето на овие примеси се врши со оксидациона рафинација. Оксидационата рафинација на оловото се изведува во пламени печки, на температура од 800 до 900°C . Оксидите на арсенот, на антимонот и на калајот, во однос на оловниот оксид, имаат кисел карактер, реагираат со него и образуваат соли според реакциите:



Растопот од соединенијата што се отстрануваат од површината на казанот се вика шликер. Благородните метали не оксидираат при рафинацијата. Златото и среброто, кои се растворени во капките на оловото, делумно преминуваат во шликерот.

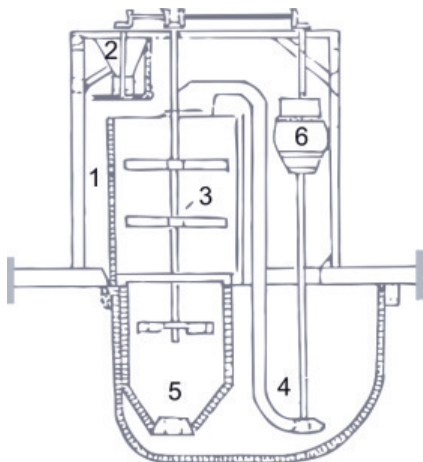
Втора постапка за отстранување на арсенот, на антимонот и на калајот претставува базна постапка. При оваа постапка за отстранување на наведените примеси, како оксиданс, наместо кислородот од воздухот, се користи натриумова шалитра (NaNO_3).

Оксидацијата се врши на тој начин што истопеното олово се пропушта во тенки млазови низ растопен натриумхидроксид (NaOH) и натриумхлорид (NaCl) во кој периодично се додава натриумнитрат (NaNO_3). При базното топење, оксидните примеси образуваат натриумови соли според реакциите:



По завршување на операцијата, на површината на оловото испливува растоп со портокалово-жолта боја. Базната рафинација се изведува на температура од 400 до 420°C. Апаратурата за базна рафинација (сл. 64) претставува реакционен цилиндар со мешалка вградена на челичен рам, заедно со пумпа за преточување на оловото и уред за додавање шалитра (NaNO_3).

Апаратурата се потопува со помош на кран над котелот во кој се наоѓа оловото кое се рафинира. По загревањето во цилиндарот се полни смеса од натриумхидроксид и 30-40% натриумхлорид.



Слика 64. Апаратура за базна рафинација.

1. реакционен цилиндар, 2. бункер за шалитра,
3. мешалка, 4. пумпа, 5. вентил, 6. мотор.

Низ вертикалната цевка, оловото се преточува со пумпа во цилиндарот, низ кој преку вентил во долниот дел на цилиндарот, оловото преминува од цилиндарот, во котелот. При мешањето на оловото со реагенсите, се формираат соли кои остануваат во растопот. Оловото циркулира низ апаратот сè додека примерокот земен од котелот не го покаже потребниот степен на чистота на оловото. Добиениот базен растоп, кој содржи антимоанати, арсенати и др, се преработува според хидрометалуршка постапка.

Течниот растоп се испушта со тенок млаз во сад со: вода, NaOH и NaCl , при што натриумовиот станат (Na_2SnO_3) и арсенат (Na_3AsO_4) се раствораат, а натриумовиот антимоанат (Na_3SbO_4) и механички помешаното олово остануваат во талогот. Од врелиот раствор, со помош на вар (CaO) се таложи калциум станат, кој потоа се филтрира. При ладење со филтратот, се издвојуваат кристали од калциумарсенат. Крајниот филтрат, по одвојување на арсенот, се упарува до сув, а во остатокот се добива смеса од натриумхидроксид (NaOH) и натриумхлорид (NaCl), која повторно се враќа на рафинација. Остатокот од натриумантимоанат, кој се одвојува од оловото, содржи до 50% олово и помалку од 0,2% арсен, антимоан и олово ($\text{As} + \text{Sn} + \text{Pb}$), и се подложува на редуктивно топење за да се добие метален антимоан.

Од останатниот талог се добива калај. Арсенатниот талог се користи во хемиската индустрија за изработка на средства против штетници во земјоделството, како што се глувците и др.

7.3.5.1.3. Одвојување на среброто и на златото

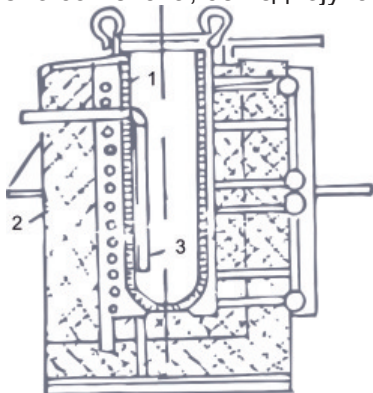
Одвојувањето на среброто и на златото од суровото олово се врши на тој начин што на температура од 450°C се додава цинк, кој со среброто и со златото образува интерметални соединенија: Ag_2Zn_3 , Ag_2Zn_5 , AuZn , AuZn_3 .

Одвојувањето на благородните метали (сребро и злато) може да се врши во котел со електрично загревање (сл. 65) или со течно гориво (сл. 66). Издвојувањето на среброто и на златото во котел со течно гориво (сл. 66) се одвива според следнава постапка: цинкот се додава во неколку порции во растопеното олово, кое се меша со мешалка; на површината на оловото испливува пена, која ги содржи претходно наведените соединенија; пената, која испливува на површината на металот, се отстранува со перфорирана (издупчена) лопата по секое додавање на цинк. На тој начин, по секоја операција се добиваат неколку пени, од кои првата е најбогата, а последната, најсиромашна со благородни метали.

Првото додавање цинк се врши на 480°C , при што заедно со цинкот, се додава сиромашната пена од претходната операција. По растопувањето на цинкот во котелот, се врши мешање на оловото за време од 20 до 30 минути, а потоа растопот се лади до 380°C и се симнува првата пена.

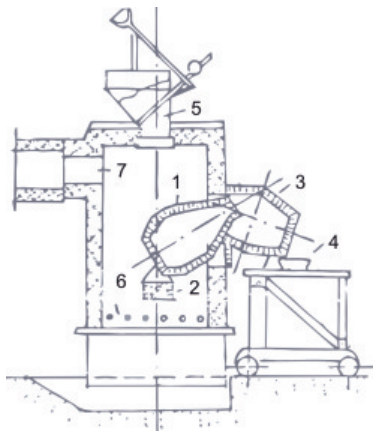
Следните додавања на цинк се вршат врз основа на анализа на примерок за содржина на сребро и на злато во оловото. За издвојување на среброто до 0,003% доволно се две до три додавања на цинк.

Мешањето на цинкот и симнувањето на пената траат околу 4 часа. Потрошувачката на цинкот изнесува 1,5 до 2% од масата на оловото. Добиената пена се преработува за да се добијат сребро и злато. Оловото, кое механички е зафатено со пената, се издвојува со операција која се вика ликвација.



Слика 65. Ликвационен котел со електрично загревање.

1. котел, 2. грејач, 3. сифон.



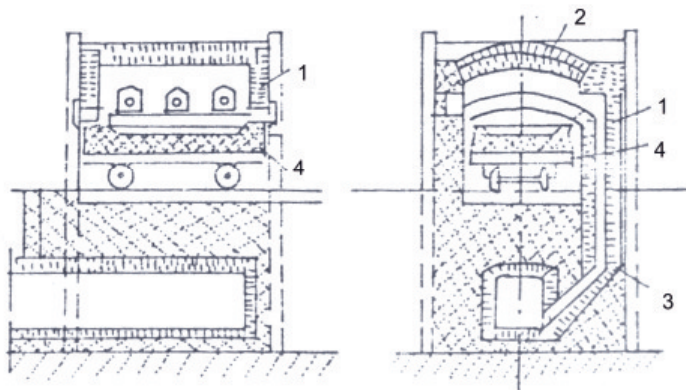
Слика 66. Печка за дестилација на пена.
1. реторта, 2. огниште, 3. кондензатор,
4. лежиште на кондензатор, 5. бункер за кокс
6. решетка, 7. гасови.

По ликвационото одвојување на оловото (сл. 66), пената добива зрнеста структура и се вика сува пена.

Цинкот од сувата пена се отстранува со дестилација, која се заснова на неговата изразено поголема испарливост во однос на другите компоненти од пената. За да се отстрани цинкот, пената се внесува во графитна реторта и се загрева 4 часа на температура 1100-1200°C. При овие услови, цинкот испарува од ретортата со течен метал.

Легурата што се добива по испарување на цинкот се вика сребреникаво олово, а содржи 10-20% сребро и злато, околу 0,7-2% цинк, а остатокот е олово.

Сребреникавото олово оди на купелација за да се издвојат злато и сребро. Следната операција на преработка на сребреникавото олово се вика купелација. Процесот на купелација се состои во интензивно вдувување воздух над растопеното сребреникаво олово во купелациона печка (сл. 67) на температура од 1200°C.



Слика 67. Купелациона печка.
1. осид, 2. свод, 3. гасовод, 4. подвижен казан.

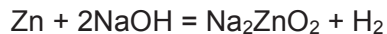
При вдување воздух, оловото оксидира до оловен оксид (оловна глеѓ), додека среброто и златото не оксидираат. Образованата оловна глеѓ, која испливува над сребреникавото олово, постепено се испушта од печката, а истовремено, во печката се внесуваат нови количини сребреникаво олово. Добиената легура сребро-злато се лее во блокови, кои се користат за електролиза, каде што се добиваат чисто сребро и злато.

7.3.5.1.4. Одвојување на цинкот

По одвојување на среброто, во оловото останува 0,6-0,8% цинк. Присутниот цинк може да се отстрани со оксидациона рафинација или според базна постапка. Оксидационата рафинација се врши на ист начин како при одвојувањето на арсенот, на калајот и на антимонот.

Оловото се загрева во пламена печка на температура 800-900°C, во присуство на воздух. Притоа, се образува продукт кој се симнува од површината на кадата неколку пати, а изнесува 4-5% од количината на металот. Добиениот продукт содржи 10-12% цинк и 80-85% олово. Бидејќи оксидационата рафинација се карактеризира со загуби на метал во облик на пареа, сè повеќе се користи базната рафинација.

Базната рафинација на цинкот се состои во третирање на оловото со смеса од натриумхидроксид и натриумхлорид, со апарат идентичен како оној за рафинација од арсен и од антимон. Оксидацијата на цинкот се изведува според равенката:



Рафинацијата почнува на температура од 350 до 360°C, а завршува на 460°C, а добиениот базен растоп содржи до 25% цинк. Тој се преработува, при што се добиваат цинкоксид и база која се враќа во процесот.

Во последно време, како ефикасна постапка се користи издвојувањето на цинкот со испарување во вакуум. За таа цел, во котелот со олово загреано на 650°C се внесува апаратура со вакуум пумпа. Оловото од котелот, со помош на пумпа, се уфрла во вакуум просторот, каде што се распрснува. При овие услови, цинкот интензивно испарува и се таложи во облик на кристали.

7.3.5.1.5. Одвојување на бизмутот

Бизмутот спаѓа во групата примеси кои најтешко се одвојуваат од оловото. За да се одвои бизмутот, во оловото растопено на температура од 350°C се додаваат калциум и магнезиум. Овие метали со бизмутот образуваат хемиски соединенија Bi_3Ca , Bi_2Mg , кои не се раствораат во растопеното олово и испливуваат на неговата површина. Ако рафинацијата се врши само со калциум, количината на бизмутот во оловото се намалува до 0,05%, додека при истовремено дејство на калциум и на магнезиум, бизмутот се отстранува до 0,008%. Калциумот и магнезиумот се внесуваат во оловото во две порции, при што, на почетокот се додава 3/4 од пресметаната количина, а потоа, остатокот. По мешањето во време од 30 минути се отстранува богатата бизмутова пена, од која се добива бизмутот. Втората бизмутова пена повторно се враќа во следната операција. Бизмутовата пена се топи, се лее во аноди и се електролизира за да се добие метален бизмут.

7.3.6. Леење на рафинираното олово

Леење на оловото се врши во калапи (кокили) поставени во полукруг во кои се собираат 40-50kg олово. На овој начин се работи во малите рафинерии. Во поголемите рафинерии леењето се врши во механички уреди за леење, со помош на кои може да се излеат до 50 тони на час. Денес, најмногу се користи тркалезна машина за леење, каде што оловото од цевки се лее во калапи поставени по површината на леарска машина која има кружно движење. По леењето, калапите се ладат со вода со помош на растресувачи, при што настанува втрднување на оловото. Оловните блокови се вадат од калапите со помош на специјална машина, а потоа се складираат со помош на машина на електричен погон.

Прашања

1. Која е основната цел на процесот на рафинација?
2. Кои постапки се користат при рафинацијата на оловото?
3. Кој апарат за рафинација на суровото олово се користи и кои се неговите карактеристики?
4. Кои метали се отстрануваат при рафинацијата?
5. Како се врши одвојување на бакарот од суровото олово?
6. Кои постапки се користат при отстранувањето на арсенот, на антимонот и на калајот?
7. Со која постапка се врши отстранување на среброт од суровото олово?
8. Како се врши одвојување на цинкот од суровото олово?
9. Како се одвојува бизмутот од суровото олово?

7.4. МЕТАЛУРГИЈА НА БАКАРОТ

Бакарот во природата најчесто се среќава во самороден облик, така што, таков бил познат од минатото. Бакарот е еден од најважните обоени метали, кој одиграл значајна улога во развојот на човештвото; па така, еден цел период го добил и своето обележје како бронзена доба. На старите Египќани бакарот им бил познат пред повеќе од 10.000 години. Името бакар потекнува од латинскиот збор купрум, кој го означува островот Кипар, на кој е добиен уште во дамнешно време, односно, пред повеќе од 30 века. Неговото добивање од руда било познато во Кина и во Јапонија уште во минатото. Во почетокот на XIX век, бакарот бил добиен во Европа, а во втората половина на XIX век започнал брз развојот на металургијата на бакарот во САД, кои од пред почетокот на XX век, па до денес, го заземаат првото место во светот.

7.4.1. Особини и употреба на бакарот

Бакарот е метал со црвеникавосјајна боја, мек, пластичен и има висока електрична и топлотна проводливост. Бакарот се топи на 1083°C , а врие на 2360°C . Специфичната маса му е $8,89\text{ g/cm}^3$. Бакарот на влажен воздух се прекрива со тенок слој базна сол која го штити од понатамошна оксидација. Бакарот се раствора во азотна киселина и во други минерални суровини. Бакарот и неговите легури имаат широка примена во индустријата и во техниката. Бакарот се легира со други метали. Легурата на бакар со цинк се вика месинг, а легура на бакар со калај, бронза, константин со никел, ново сребро со 19-31% цинк.



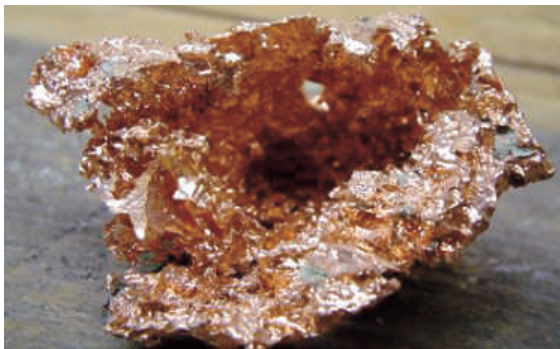
Слика 68 Метален бакар.

7.4.2. Суровини за добивање бакар

Како суровини за добивање бакар се користат бакарни руди со 1-2% бакар. Денес се преработуваат руди со помалку од 1% бакар. Бакарните руди, според минералношкиот состав, се делат на сулфидни, оксидни и мешовити, а според количината на присутните сулфиди, се делат на компактно пиритни, пиритни и порфирни. Според количината на присутен метал, се делат на бакарни и комплексни. Во природата, најчесто се среќаваат комплексни бакарни руди кои

содржат и други обоени метали, како: цинк, никел, молибден, злато, сребро и др. Најважни минерали на бакар, кои имаат индустриско значење, се: халкопиритот, халкозинот, ковелинот купритот, малахитот, азурит, енаргитот, халкантитот, хризоколата, самородниот бакар.

Со збогатување на рудата со флотација се добиваат бакарни концентрати кои содржат 11-35% бакар. Од комплексните руди, на пример од бакарно-цинковите руди, можно е со флотација од бакарен концентрат да преминат 80-90% од бакарот, а од цинков концентрат, 65-70% во цинк. Најголеми наоѓалишта на бакар во светот има во Северна и Јужна Америка, во Јужна Африка, во Уралската област во Русија, во јужна Азија и во источна Австралија. Во Македонија, најголеми наоѓалишта на бакар се Бучим (Радовиш) и Иловица (Струмица).



Слика 69. Минерал на бакар.

7.4.3. Постапки за добивање бакар

Денес, бакарот од руди и од концентрати се добива со: пирометалуршки хидрометалуршки и електрометалуршки постапки. Со пирометалуршки постапки се добиваат околу 85-90% бакар, а со хидрометалуршки 12-15% од вкупното светско производство. Електрометалуршките постапки се користат главно при електролитичка рафинација на бакарот, а понекогаш, и за одвојување на бакарот од растворите на неговите соли.

7.4.3.1. Пирометалуршко добивање бакар

Основа на пирометалуршкиот процес претставува топењето на бакарната руда или концентрат, при што истопената маса може да се подели на два течни слоја: камен (растоп од сулфиди на бакар и железо) и троска.

Топењето се врши само на бакарна руда или само на бакарен концентрат. Бакарната руда се топи во шахтни печки. Течниот камен се продувува со воздух до железен оксид во конвертори, при што железото преминува во троска, а бакарот се издвојува како суров бакар. Суровиот бакар се подложува на рафинација, т.е. пречистување од примесите.

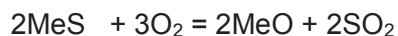
7.4.3.1.1. Пржење на бакарните руди и концентрати

Бакарните концентрати главно се пржат во оксидациона атмосфера, со цел околу 50% од сулфурот да се отстранат, и се добиваат пржени концентрати со содржина на сулфур која е неопходна при топењето за добивање богат бакрениц. Производот добиен на овој начин се вика пржениц. Со пржењето се обезбедуваат мешање на сите компоненти од шаржата и нивно загревање на температура 600-800 °C, што овозможува намалување на потрошувачката на гориво во печката за топење скоро за два пати. При топењето на прженицот, се зголемуваат загубите на бакарот во троска и со излезните гасови. Затоа, богатите концентрати (25-30% бакар) се топат без пржење, додека сиромашните (под 20% бакар) претходно се пржат. При процесот на пржење се врши оксидација на сулфидите, која е придружена со издвојување топлина. Температурата на која почнува согорувањето се вика температура на палење и зависи од составот на концентратот и од големината на зрната.

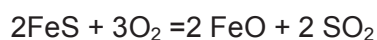
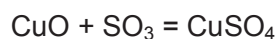
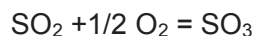
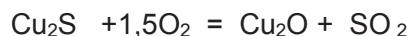
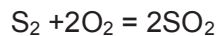
Во првата фаза од пржењето се врши разложување на сулфидите според реакциите:



Оксидацијата на сулфидите може да се претстави со равенка од општ вид:



каде што Me е метал, односно, при пржење на сулфидите, се одвиваат следниве реакции:



Како резултат на пржењето се добиваат бакарни оксиди и сулфурдвооксид (SO_2), гас кој во вишок воздух оксидира до сулфуртриоксид(SO_3). Освен бакарните

сулфиди, се пржат и сулфидите од други метали присутни во концентратот, како: цинк, железо, арсен, антимон, кобалт и др.

При пржењето на бакарните концентрати, во шаржата се додаваат топители кои го спречуваат синтерувањето на честичките од концентратот и го помагаат разложувањето на карбонатите. За пржење најмногу се користи повеќетажната печка со механичко мешање на материјалот (сл. 18), п. /3.2.2./, стр.29.

Печката претставува вертикален цилиндар од челичен лим со дебелина 12-16mm, пречник 6,5m и висина 12m. Сидовите се обложени со огноотпорна тула, а печката по висина е поделена на сводови од шамотна тула со висина 0,5m. Печката има 8, 10 или 12 етажи, а на средината од печката има шупликава оска на која се прицврстени лопатки. Воздухот и гасовите се движат одоздола нагоре во спротивна насока од движењето на концентратот. Гасовите, кои ја напуштаат печката, содржат прав во количина 5-15% од масата на шаржата, а во долниот дел од етажната печка се собира прженецот. Гасовите што се производ на пржењето, се пречистуваат во циклони или електрофилтри, при што неповратните загуби не се поголеми од 0,5%. За процесот на пржење на бакарните концентрати се користи повеќетажна печка, прикажана на сл. 18 (за пржење на бакарни и на цинкови концентрати). Гасовите богати со сулфурдвооксид може да се користат за добивање сулфурна киселина.

Во поново време, за бакарни концентрати се користи пржење во лебдечка состојба, односно, пржење во флуосолид реактор, што претставува крупен чекор во усовршувањето на процесот на пржење. Концентратот се шаржира над решетка поставена во флуосолид реакторот (сл. 19) п./3.2.2./, стр. 29. Суштината на пржењето во флуидизационен слој се состои во продувување загреан воздух низ слој концентрат, при што честичките од концентратот се во непрекинато движење „вриење“ во внатрешноста на слојот. Како резултат на движењето на честичките, се остварува добар контакт помеѓу честичките и воздухот. На тој начин, се интензивира процесот на согорување на честичките од концентратот, а самиот процес претставува флуидизационо пржење. Како производ на пржењето се добиваат бакарен прженец и гасови кои содржат 13-15% SO₂ и кои можат да се користат за добивање сулфурна киселина.

Прашања

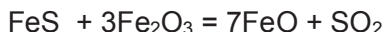
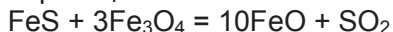
1. Кои суровини се користат за добивање бакар?
2. Какви постапки постојат за добивање бакар од бакарни руди и концентрати?
3. Која е основната цел на пржењето на бакарните концентрати?
4. Кои се основните хемиски реакции при пржењето?
5. Опиши го процесот на пржењето на бакарните концентрати во повеќетажни печки.
6. Опиши го процесот на пржење во флуосолид реактор.

7.4.3.1.2. Топење бакарен концентрат во пламена печка

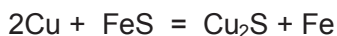
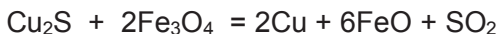
Топењето на бакарните концентрати се изведува во пламена печка. При нивното топење, добиената истопена маса се дели на две фази, и тоа, растоп и троска. При топењето, троската испливува над бакренеот, бидејќи има помала специфична маса. Се добива растоп на сулфиди (Cu₂S и FeS), кој се вика бакаренец, и растоп на оксиди, кој се вика троска. Бакренеот содржи бакарен

сулфид (Cu_2S) и железен сулфид (FeS), а троската: железен оксид (FeO), силициумдвооксид (SiO_2), калциумоксид (CaO), алуминиум оксид (Al_2O_3) и др.

Формирањето на бакаренецот се засновува на големиот афинитет на бакарот кон сулфурот, при што настанува сулфидирање на бакарот. Ова може да се прикаже со следниве карактеристични реакции:



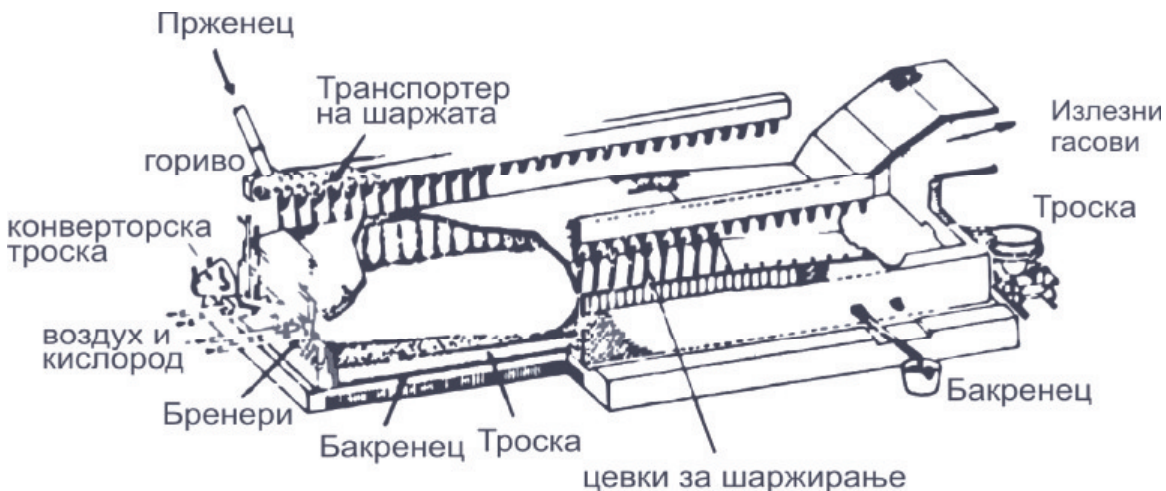
при што, формиранитот железен оксид (FeO) со силициумовиот оксид (SiO_2) образува силикати, кои ја формираат троската, меѓутоа се одвиваат и реакциите:



Наведените реакции претставуваат основни реакции во пирометалургијата на бакар за да се добие бакаренец и троска.

Како што е познато, најраспространети агрегати за топење бакар во бакаренец се пламените печки. Основни предности на пламената печка е што можат да се преработуваат прашести бакарни концентрати, потоа, може да се користат евтини видови горива, има ниска содржина на бакар во отпадната троска, зголемена производност на агрегатот.

Пламената печка (сл. 70) има правоаголен облик и е изградена со огноотпорен материјал. Печката е долга 30-40m, широка 5-10m и висока 3-5m.



Слика 70. Пламена печка за топење бакар.

Шаржата се внесува низ отворите на сводот кои се поставени по должината на печката. Потребната топлина за процесот се добива со согорување на горивото (природен гас, јаглен, мазут) и се внесува преку горилници поставени на предната, челна страна на печката. Продуктите на горењето во работниот простор градат пламен (факел) по должина на печката, а гасовите ја напуштаат печката низ одводниот гасовод, кој се наоѓа на спротивната страна на горилниците. Како резултат на горењето, се добиваат гасови загреани на 1400°C - 1600°C . Гасовите ја

предаваат својата топлина на шаржата преку зрачење на вжештениот свод на печката на површината на шаржата. Како резултат на топлината, површината на засипот се загрева на температура од 1300°C до 1400°C, при што се вршат физичко-хемиски процеси кои завршуваат со топењето на засипот. Течната конверторска троска се влева низ отворот кој се наоѓа на челната страна на печката. Бакренеот и троската се испуштаат низ специјални отвори на печката. Бакренеот се состои од 80-90% сулфиди на бакарот и на железото. Троската содржи: силициумдвооксид, железен оксид, калциумоксид, алуминиумоксид и 0,1-0,5% бакар. Излезните гасови содржат 0,3% CO, 0,7-1,5% O₂ и др.

Прашања

1. Кои производи се добиваат при топењето на бакарен концентрат во пламената печка?
2. Кои се карактеристични реакции при сулфидирањето на бакарот и при образувањето на троската во пламената печка?
3. Како се одвиваат процесот на согорување на горивото и топењето на шаржата во пламената печка?
4. Кои производи се добиваат при процесот на топење на бакарниот концентрат во пламената печка?

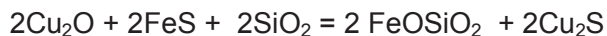
7.4.3.1.3. Топење бакарни руди во шахтна печка

Бакарните руди се топат во шахтна печка (сл. 71), која претставува висока шахтна печка исполнета со смеса од руда, кокс и топител. Во долниот дел од печката низ дувници се вдувува воздух кој е потребен за согорување на горивото и за оксидација на сулфидите. Печката се лади со вода преку систем на цевки за ладење, кои ја доведуваат водата до жакетите со кои е обложена печката.

Шаржата се внесува преку грлото на печката. Бакренеот и троската се испуштаат низ ист отвор на подолгата страна на печката. Претходно се одвојуваат со ликвација во претпечката, при што каменот со поголема специфична маса останува на долниот дел. Троската се излева на едниот крај од печката, а бакренеот се испушта низ отвор на дното од претпечката. Гасовите се одведуваат низ горниот дел од печката преку канал изработен од шамот.

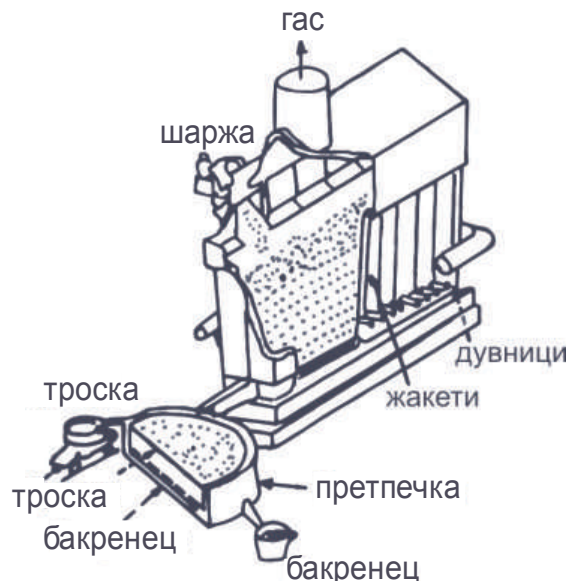
Процесот на топење на бакарните руди се изведува на тој начин што главната количина топлина за топење се добива како резултат на разложување на компонентите од шаржата (пиритот и други сулфиди). При нивното разложување, присутниот сулфур оксидира и ослободува топлина. Топењето на бакарна руда која содржи 70% пирит, без додаток на гориво, се вика пиритно топење. Топењето на бакарна руда со додаток на кокс се вика полупиритно топење.

При топење во шахтна печка, пиритот и коксот согоруваат во областа на дувниците, каде што температурата достигнува до 1500°C. Врелите гасови минуваат низ засипот и одат нагоре, а надолу се спушта шаржата која постепено се топи. Притоа, најпрвин настанува разложување на сулфидите и на карбонатите, а на 1300°C почнува топењето. Како резултат на топењето, ќе се образува една шупликава и порозна маса. Во порите на оваа растопена маса, растопените сулфиди се сретнуваат со топлиите гасови, и како резултат на тоа, се вршат реакции на заемно дејство, како на пример:



Како резултат на топењето, се добиваат бакрениц со содржина на бакар од 8 до 15% и троска која содржи силикати на железо и на калциум. Гасовите содржат SO_2 , H_2S , CO_2 , а искористувањето на сулфурот изнесува до 80%.

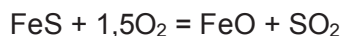
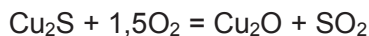
Значи, разликуваме три вида оксидационо топење на сулфидни бакарни руди: пиритно, полупиритно и усовершено пиритно топење. Ако рудата е составена од пирит и халкопирит, таа има висока калорична моќ и може да се преработува во шахтна печка со многу мал додаток на кокс. Топењето во овој случај се изведува како резултат на топлината добиена со оксидација на истопениот FeO и на топлината ослободена со претворањето на FeO во троската. Овој процес се вика пиритно топење. Ако рудата содржи поголема количина јаловина, а мала количина пирит, нејзината калорична вредност не е доволна за самостојно одвивање на процесот на топење, па затоа се додава кокс како дополнително гориво. Овој процес се вика полупиритно топење. При топењето во шахтна печка, ако коксот согорува во зоната на дувниците, тогаш се врши редукција на сулфурниот двооксид (SO_2) со кокс. Овој процес се вика усовершено пиритно топење.



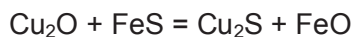
Слика 71. Шахтна печка за топење бакарни руди.

Оксидационото топење во шахтната печка се применува за преработка на сулфидни материјали. Сулфидите, кои во овој процес се во цврста или истопена состојба, оксидираат со кислородот. При усовершеното пиритно топење, оксидационата атмосфера се наоѓа само во зоната на огништето на печката каде сулфидите доаѓаат во истопена состојба. Значи, во овие процеси оксидираат само течните сулфиди. Во полупиритниот процес, атмосферата покрај огништето го опфаќа само горниот дел од печката. Притоа, кај овој вид топење, оксидацијата се одвива на цврстите и на течните сулфиди.

Во процесот на топење во шахтните печки, оксидацијата се врши на материјал составен од крупни парчиња, поради што е ограничен непосредниот контакт помеѓу гасовите од печката и кислородот со сулфидите. Оксидацијата на истопените сулфиди, CuS и FeS , се одвива според реакциите:



при што Cu_2O реагира со FeS според реакцијата:

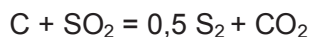


Образуваниот FeO реагира со SiO_2 , кој се наоѓа во шаржата, при што се образува троска која содржи $2\text{FeO}\cdot\text{SiO}_2$ (фајалит).

Во недостаток или присуство на SiO_2 , железниот оксид, FeO , оксидира до магнетит (Fe_3O_4), според реакцијата:

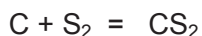


За пиритниот и за усовершениот пиритен процес карактеристична е реакцијата на согорување на јаглеродот од коксот со SO_2 според реакцијата:



која е придружена со ослободување топлина и елементарен сулфур.

Покрај корисните реакции на редукција на SO_2 до елементарен сулфур, во редукционата зона се одвиваат и некои штетни реакции кои го врзуваат сулфурот во непожелни соединенија, како на пример:



Наведените споредни реакции ја оневозможуваат целосната редукција на сулфурот до елементарна состојба и образуваат соединенија како јаглендисулфид, кои заедно со елементарниот сулфур излегуваат со гасовите од печката.

Работата на шахтната печка ја карактеризираат три основни показатели:

1. дневната количина истопена руда;
2. количината потрошен кокс, во проценти од масата на шаржата;
3. процентот на искористување на бакарот во бакрениот.

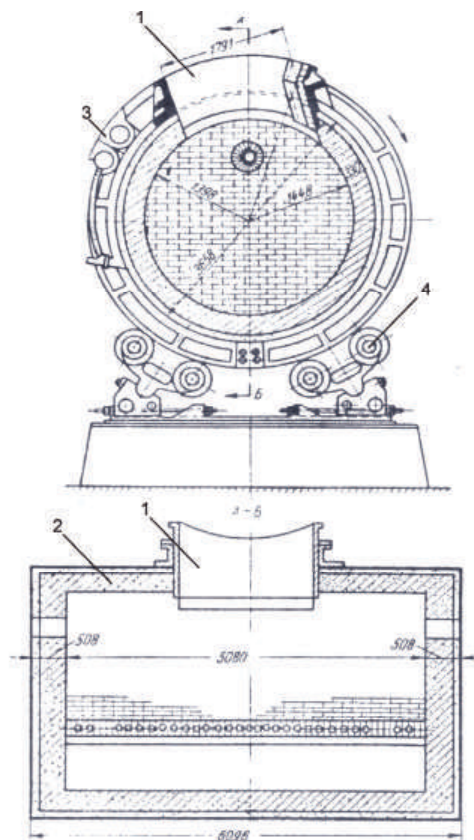
Со користење воздух збогатен со кислород, значително се подобруваат показателите на процесот на топење на бакроносните шаржи во шахтни печки. Досегашните искуства покажуваат дека со зголемување на кислородот во воздухот кој се вдува во печката за 2-3%, кај полупиритниот процес се зголемува капацитетот на печката за 15-20%, а се намалува потрошувачката на коксот за 10-20%. Интензификацијата на процесот и намалувањето на потрошувачката на гориво може да се постигнат со низа нови операции како: гранулирање и пелетизирање на ситните материјали, агломерација со продување воздух одоздола нагоре итн.

Прашања

1. Опиши го процесот на топење на бакарна руда во шахтна печка.
2. Кои се составни делови на шахтната печка?
3. Кои видови оксидационо топење има во зависност од составот на рудата?
4. Кои хемиски реакции ги карактеризираат пиритниот, полупиритниот и усовершениот пиритен процес?
5. Кои се основните технолошки показатели на процесот на топење бакарни руди во шахтна печка?

7.4.3.1.4. Преработка на бакренецот – конвертирање

Преработката на добиениот бакренец, при топењето во пламена или шахтна печка, се изведува во конвертор, а самиот процес се вика конвертирање. Конверторот претставува хоризонтално поставена цилиндрична печка на која странично се поставени дувници. Конверторите се изработени со должина од 6 до 10m со внатрешен дијаметар 3-4m. Конверторот е обложен со магнезитна облога. Влевањето на бакренецот во конверторот и одлевањето на троската и на суровиот бакар се вршат низ ждрело кое се наоѓа во средината на горниот дел од конверторот.

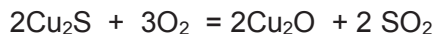
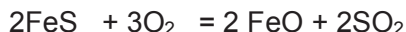


Слика 72. Конвертор за преработка на бакаренец.

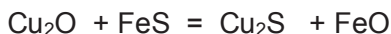
1. грло, 2. осид, 3. дувници, 4. валци.

Кога конверторот (сл. 72) е во работна положба, гасовите што се ослободуваат одат кон врвот кој е споен со гасоводот. Продувувањето на бакаренецот во конверторот се врши со воздух преку дувници кои се поставени од едната страна на конверторот.

Продувувањето се изведува во два периода. Во првиот период се вршат оксидација на железниот оксид (FeS) од бакаренецот и претворање на добиениот железен оксид (FeO) во троска. Воздухот кој се вдувува во растопениот бакаренец врши мешање на растопот, односно, интензивна оксидација на сулфидите според реакциите:



Добиениот бакарен оксид (Cu_2O) реагира со неоксидираниот железен сулфид (FeS) според реакцијата:

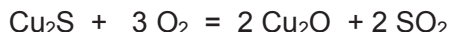


Добиениот железен оксид (FeO), со додадениот SiO_2 , образува компонента на троската ($\text{FeO}\cdot\text{SiO}_2$) според реакцијата:



Значи, во првиот период, при конвертирањето се образува Cu_2S , кој се вика бел мат, и $\text{FeO}\cdot\text{SiO}_2$, којшто преминува во троската. Првиот период трае 5-20 часа.

Во вториот период се врши продување на белиот мат (Cu_2S) со воздух. Оксидацијата на Cu_2S е придружена со образување метален бакар, според реакциите:



Овие две реакции се одвиваат многу брзо и лесно, а искористувањето на кислородот од воздухот е поголемо од 90%. Како резултат на горните реакции, во конверторот се добива бакар во течна состојба кој се вика блистер бакар. Добиениот блистер бакар содржи 98-99% бакар, 0,01-0,04% железо, 0,02-0,1% силициумдвооксид (SiO_2), 45-70% железен оксид (FeO), 3% алуминиумоксид (Al_2O_3). Конвертирањето во вториот период трае 2-3 часа.

Прашања

1. Која е целта на процесот на конвертирање на бакаренецот?
2. Опиши го уредот за конвертирање на бакаренецот?
3. Која операција се врши во првиот период на конвертирање?
4. Која операција се врши во вториот период на конвертирање?
5. Кои хемиски реакции се одвиваат при образување троска и блистер бакар?

7.4.4. Рафинација на бакарот

Добиениот блистер бакар, во зависност од составот на рудата или концентратот од кои се добива, содржи разни примеси од 0,8 до 2,5%. Како примеси во составот на блистер бакарот влегуваат: 0,03-0,3% железо, 0,01-0,1% никел, 0,01-0,5% арсен, до 0,12% антимон и др.

Примесите ги намалуваат механичките и електротехничките особини на бакарот, поради што суровиот блистер бакар се подложува на пламена, а потоа, на електролитичка рафинација.

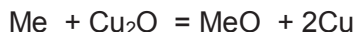
7.4.4.1. Пламена рафинација на бакарот

Пламената рафинација на бакарот се состои во оксидација на примесите во суровиот бакар и нивно отстранување со гасовите или нивно претворање во троска. Процесот се состои од следниве технолошки операции: топење, оксидација на примесите, отстранување на растворените гасови, дезоксидација на бакарот и леање. Многу од присутните елементи во бакарот имаат поголем афинитет кон кислородот, во споредба со бакарот. Оксидацијата на примесите се изведува со вдување воздух во течниот метал со помош на челични цевки, при што оксидираат сите примеси, со исклучок на благородните метали и на дел од бакарот.

Во првиот период на рафинација се врши оксидација на бакарот според реакцијата:



Образуваниот Cu_2O се раствора во истопениот бакар и стапува во реакција со примесите, кои се наоѓаат во бакарот, според равенката од општ вид:

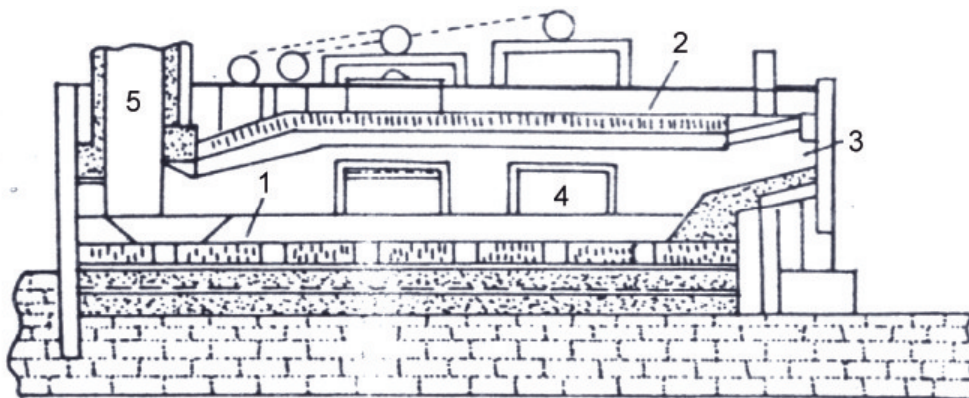


каде: Me – железо, никел, антимон, арсен, бизмут, цинк, олово, и др.

Во оксидациониот период целосно се оксидираат железото, цинкот, сулфурот, оловото и калајот. Образованите оксиди на примесите испливуваат на површината во облик на троска и се отстрануваат од површината на металот. По отстранување на троската, во оксидациониот период се преминува на отстранување на гасовите. Оваа операција е позната како полање. Низ отворот на печката во бакарното купатило се внесуваат сурови букови стебла. Под влијание на високата температура, настанува дестилација на дрвото, при што се издвојуваат водена пареа и гасовити јагленоводороди, кои го мешаат бакарот и потпомогнуваат во отстранувањето на SO_2 и на другите гасови. По завршената дезоксидација, се преминува на леање на бакарот. Рафинираниот бакар се леа во аноди за понатамошна електролитичка рафинација.

7.4.4.1.1. Уреди за пламена рафинација на бакарот

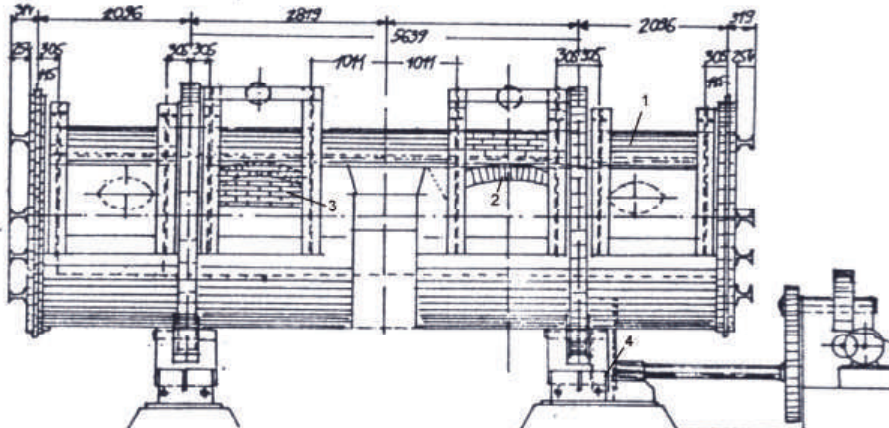
Пламена рафинација на бакарот се изведува во пламена (сл. 73) и во анодна печка (сл. 74). Пламената печка за рафинација на бакарот е слична на пламената печка за топењето на бакренеот.



Слика 73. Печка за пламена рафинација на бакар.
1. под на печката, 2. свод на печката, 3. горилници, 4. работен отвор, 5. гасовод.

Капацитетот на печката изнесува 400 тони бакар, кој се рафинира во када изработена од магнезитни тули. Температурата во печката изнесува 1140-1170°C, а таа се пали со природен гас или јагленова прав. Суровиот бакар се внесува во печката со помош на кран низ работниот отвор на печката, а процесот на рафинација трае од 12-16 часа.

Денес, за рафинација на бакарот сè повеќе се користат цилиндрични или таканаречени анодни печки. Анодните печки за рафинација на бакарот се слични на конверторите за топење бакар. Анодната печка (сл. 74) претставува цилиндрична печка во која е поедноставно влевањето на течниот бакар. Исто така, полесно се регулира течењето на металот при леењето на анодите. Бакарот се излива од анодната печка во аноди, кои се носат на понатамошна електролитичка рафинација.



Слика 74. Анодна печка за рафинација на бакар.

1. осид на печката, 2. свод на печката, 3. комора за течен бакар,
4. механизам за ротирање на печката.

За рафинација на бакар се користат и барабанести печки. Овие печки имаат капацитет од 25 тони, со пречник 3350mm, должина 4000mm и се вртат околу хоризонтална оска. Рафинираниот бакар се лее на машина за леење која има прстенест облик и се врти околу вертикална оска.

Прашања

1. Кои примеси ги содржи суровиот блистер бакар?
2. Кои технолошки операции ги опфаќа пламената рафинација на бакарот?
3. Како се отстрануваат примесите од суровиот блистер бакар?
4. Како се врши процесот на отстранување на гасовите од бакарот?
5. Кои печки се користат за пламена рафинација на бакарот?

7.4.5. Хидрометалуршко добивање бакар

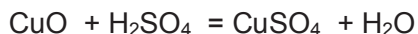
Хидрометалуршката постапка за добивање бакар или лужењето вклучува претворање на бакарните руди во растворлива форма и понатамошна преработка на растворот за да се добие метален бакар.

Хидрометалуршката постапка ги опфаќа следниве фази:

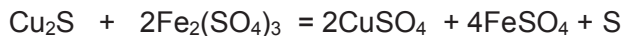
1. лужење – претворање на минералите присутни во бакарната руда или концентрат во растворлива форма;
2. пречистување на растворот и добивање метален бакар.

Како реагенс за лужење на бакарните руди и концентрати главно се користи раствор на сулфурна киселина, потоа амонијачен раствор, раствор на ферихлорид и др. Во зависност од реагенсот за лужење, постои киселинско, амонијачно и хлоридно лужење.

Оксидни или оксидирани бакарни руди или концентрати се лужат со раствор на сулфурна киселина според реакциите:



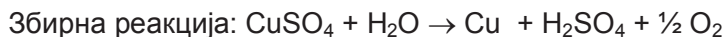
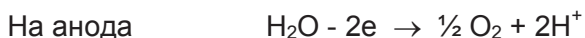
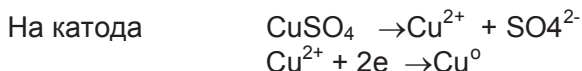
Доколку јаловината е богата со варовник, лужењето, се врши со амонијачни раствори. Сулфидните бакарни руди и самородниот бакар се лужат со раствор на сулфурна киселина само во присуство на кислород. Исто така, тие се лужат со раствор на ферихлорид или ферисулфат според реакциите:



По претворањето на бакарот во растворлива форма, се вршат филтрирање на добиената лужина од нерастворливиот остаток и издвојување на бакарот од растворот.

Добивањето метален бакар од растворот се врши со електролиза и со цементација. Суштината на електролитното добивање бакар се состои во разелектризирање на бакарните јони Cu^{2+} на катодата, а на анодата се врши разложување на молекулите на водата со издвојување на кислород, додека во растворот се регенерира сулфурната киселина потребна за лужењето.

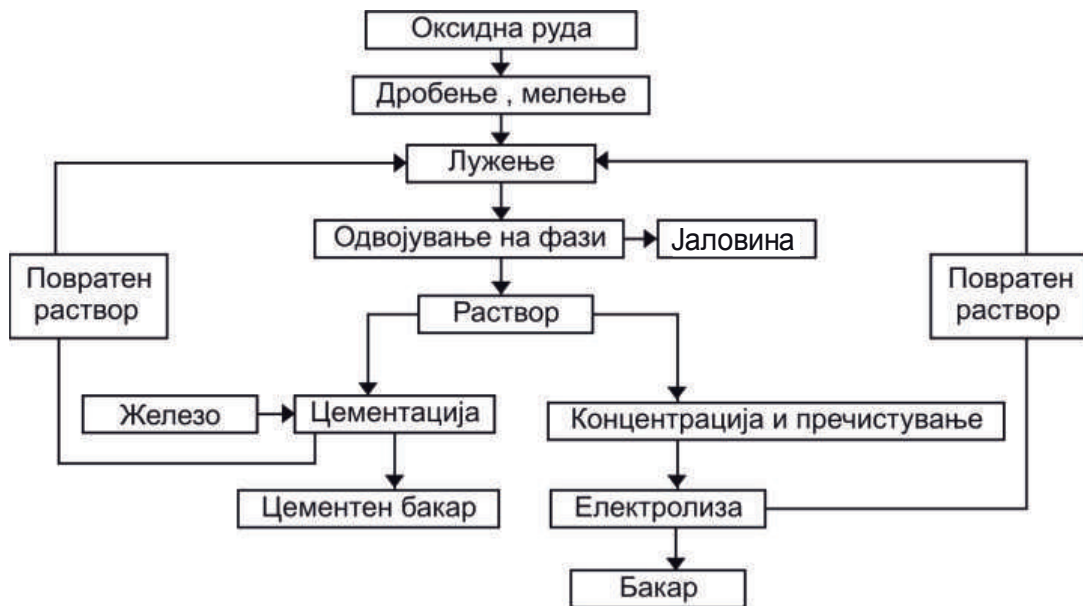
Процесот на електролиза на бакарот може да се претстави на следниов начин:



Освен со електролиза, издвојувањето бакар од раствор се врши со замена со друг метал, односно, цементација, според реакцијата:



Производ на оваа реакција е цементниот бакар, кој понатаму се претопува во калапи и оди на рафинација. Технолошката шема за рафинација на бакарот е дадена на сл. 75.



Слика 75. Технолошка шема за хидрометалуршко добивање бакар.

7.4.5.1. Постапка и уреди за хидрометалуршко добивање бакар

При добивање бакар од оксидни бакарни руди, во зависност од шемата за преработка на суровината и од нејзините физички особини, се избираат соодветни постројки.

Рудата претходно се дроби и се меле до определена големина на зрното, а потоа се врши претходно отстранување на глинестите материјали со помош на просејување на рудата низ сита или со промивање со вода во класификатори. Пречистената и сомелена бакарна руда се внесува во каци со димензии 45 x 33m и длабочина 5,5m. Каците се изработени од армиран бетон со заштита од дејство на растворот, а имаат и издупчено дно, кое се вика лажно дно, низ кое поминува растворот. Лужењето на рудата во каците се врши со поминување на растворот низ слој руда. Притоа, растворот може да поминува низ рудата одоздола нагоре или обратно. При преминување на растворот одозгора надолу, истовремено се врши и лужење на рудата, при што излужениот бакар во растворот се издвојува преку дното на кацата. На вториот начин, односно, одоздола нагоре, брзината на протекувањето на растворот треба да биде голема. Врз брзината на протекувањето на растворот големо влијание има количината на милот што треба претходно да се отстрани.

Во пракса, процесот на лужење може да се изведува на два начина:

1. Периодично (дисконтинуирано) лужење – растворот се внесува во кацата, се држи извесно време и се внесува нова количина раствор.
 2. Методично (континуирано) лужење – растворот непрекинато циркулира низ слојот од рудата, т.е. растворот непрекинато се внесува и се издвојува од кацата.
- Ако рудата содржи многу глина, тогаш лужењето се изведува во агитатори кои според начинот на мешање, може да се поделат на:

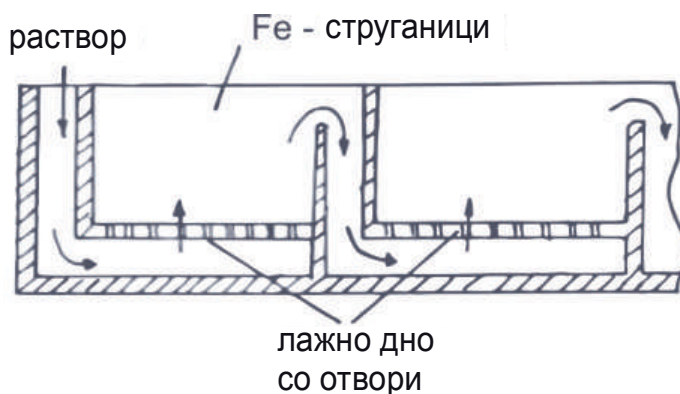
- механички, во кои мешањето на рудата се изведува со лопатки прицврстени на вертикална оска.

- пневматски, во кои мешањето се врши со воздух.

Кај пневматските агитатори постои централна цилиндрична цевка на средината од кацата, низ која смесата од пулпа и воздух се подига нагоре и се прелива на горниот крај од цевката. Тоа овозможува мешање на пулпата.

Од растворот во кој бакарот е во форма на концентриран бакарсулфат, со помош на електролиза или цементација, се врши издвојување на метален бакар. Електролизата се врши во исти ќелии, како што е претходно наведено при електролитната рафинација на бакарот, само што во овој случај, анодите се нерастворливи, односно, олово или легурата олово-антимон.

Издвојувањето на бакарот со цементација (сл. 76) се врши во таканаречени цементациони жлебови кои се изработуваат од дрво и имаат ширина 0,3-3m, и длабочина 0,5-1,5m. Жлебот по својата должина е изработен со лажно дно во облик на железни решетки.



Слика 76. Попречен пресек на жлеб за цементација.

Растворот поминува низ слој на средство за таложее, односно, железни струганици. Растворот од едно одделение преминува преку ограда и влегува под лажно дно, при што слојот на железото се прелива над оградата во следното одделение итн. Цементниот бакар се собира на дното под лажното дно, се транспортира, се суши и се додава во шаржата во пламената печка.

Прашања

1. Кои фази ги опфаќа хидрометалуршкото добивање бакар?
2. Какви видови лужење се разликуваат во зависност од изборот на реагенс за лужење?
3. Кои реакции се карактеристични при лужењето на бакарните руди со раствор на: сулфурна киселина, ферихлорид и ферисулфат?
4. Кои се постапките за издвојување на бакарот од растворот?
5. Кои реакции се карактеристични при електролитичкото добивање бакар?
6. Како се врши процесот на лужење на бакарот во када за лужење?
7. Кои видови лужење се разликуваат во зависност од движењето на растворот?
8. Како се врши одвојување на бакарот од растворот со помош на цементација?

7.5. МЕТАЛУРГИЈА НА НИКЕЛОТ

Човекот го употребувал никелот уште пред неколку илјади години. Кога барал камења погодни за оружје, пронашол метеорити во кои имало 5-15% никел и од кои изработувал остри предмети. Во Кина, никелови руди се топеле уште во стариот век и добивале таканаречен „бел метал“, легура на никел и бакар. Во 1865 година пронајдено е големо наоѓалиште на никелова руда во Нова Каледонија, на островите западно од Австралија, а во 1883 година е пронајдено уште побогато наоѓалиште во Судбуру, во Канада.

7.5.1. Особини на никелот

Никелот е сребреникаво светол метал, многу постојан на воздух. На собна температура никелот е магнетичен, а на температура од 350°C преминува во немагнетична модификација. Гради легури со повеќе метали. Лесно се раствора во HNO₃, а потешко во HCl и во H₂SO₄, додека во алкалиите не се раствора. Се топи на 1445°C, а врие на 3000°C. Специфичната маса му е 8,9 g/cm³.



Слика 77. Метален никел.

7.5.2. Руди и минерали на никелот

Најголеми наоѓалишта на никел има во Канада, која спаѓа во најголемите производителите на никел во светот. Познатите наоѓалишта на никелови руди и денес се наоѓаат во Нова Каледонија, како и во северната и јужната Уралска област во Русија.

Од минералите во кои никелот најчесто се среќава, може да се истакнат следниве:

- пентландит $(\text{NiFe})_{11}\text{S}_{10}$
- гарниерит $(\text{NiMg})\text{O}\cdot\text{SiO}_2\cdot\text{H}_2\text{O}$
- никелин NiAs
- милерит NiS
- хлоантит NiAs_2

Во Македонија, најпознатото наоѓалиште на никел е во 'Ржаново, Кавадарци.



Слика 78. Минерал на никел – милерит.

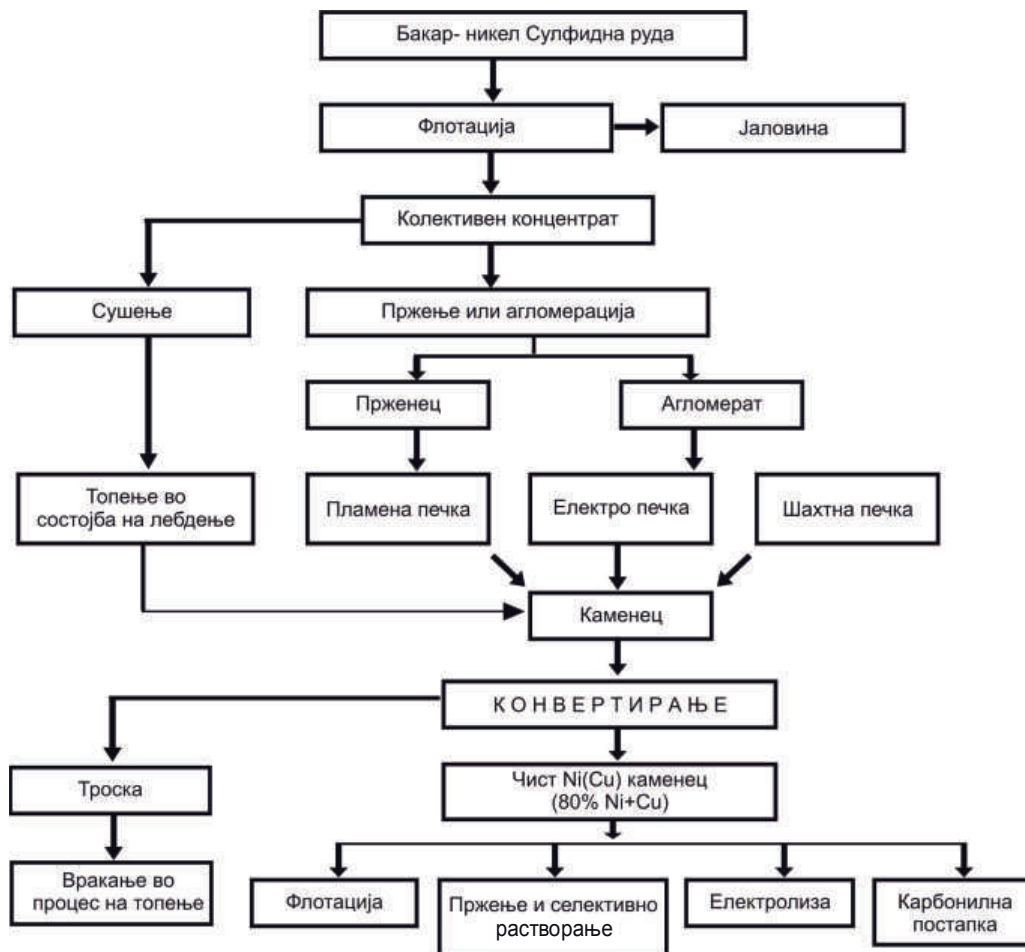
7.5.3. Постапки за добивање никел

Никелот денес се добива од сулфидни и од оксидни руди со пиromеталуршка и со хидрометалуршка постапка.

7.5.3.1. Пиromеталуршко добивање никел од сулфидни руди

Никелот во сулфидните руди најчесто го придружуваат Cu , Fe и As . Како резултат на ниската содржина на никел во рудата, се врши претходна колективна флотација на сите руди. Добиениот колективен концентрат на никел и бакар пиromеталуршки се преработува на тој начин што прво се пржи, а потоа се топи, со цел добивање бакар-никел камен, кој понатаму се преработува заради добивање никел и бакар.

Технолошката шема за преработка на сулфидни никелови руди е прикажана на следната слика 79.



Слика 79. Технолошка шема за преработка на сулфидни никелови руди.

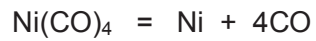
Преработката на колективниот концентрат до добивање каменец се врши на идентичен начин како при добивањето бакаренец во металургијата на бакар, како и при конвертирањето на бакаренецот, за добивање таканаречен „фин“ каменец, кој содржи околу 80% никел и бакар. Преработката на бакар-никеловиот каменец може да биде изведена според следниве постапки:

- Преработка на каменецот со флотација, при што се добиваат концентрати на бакар и никел. Бакарниот концентрат се користи за добивање бакар, а никеловиот концентрат се пржи заради претворање на Ni_3S_2 во NiO , кој со редукциона постапка се претвора во метален никел.

- Друга постапка е оксидационото пржење на каменецот и претворање на сулфидите на никел и бакар во оксиди, при што бакарниот оксид лесно се раствора во сулфурна киселина и така се одвојува од никелот. Нерастворениот остаток претставува никелоксид, кој понатаму се редуцира до никел.

За преработка на никел-бакар каменец, често се применува карбонилна постапка, која се состои од оксидација на сулфидите на никел и на бакар и од дополнителна редукција на овие оксиди, при што се добива никел-бакар прав. Карбонилната постапка се состои во одвојување на никелот од бакарот со пропуштање воден гас (смеса од CO и H_2) на температура од околу 100°C , при што се образува $\text{Ni}(\text{CO})_4$, кој во гасна состојба излегува и се издвојува од примесите.

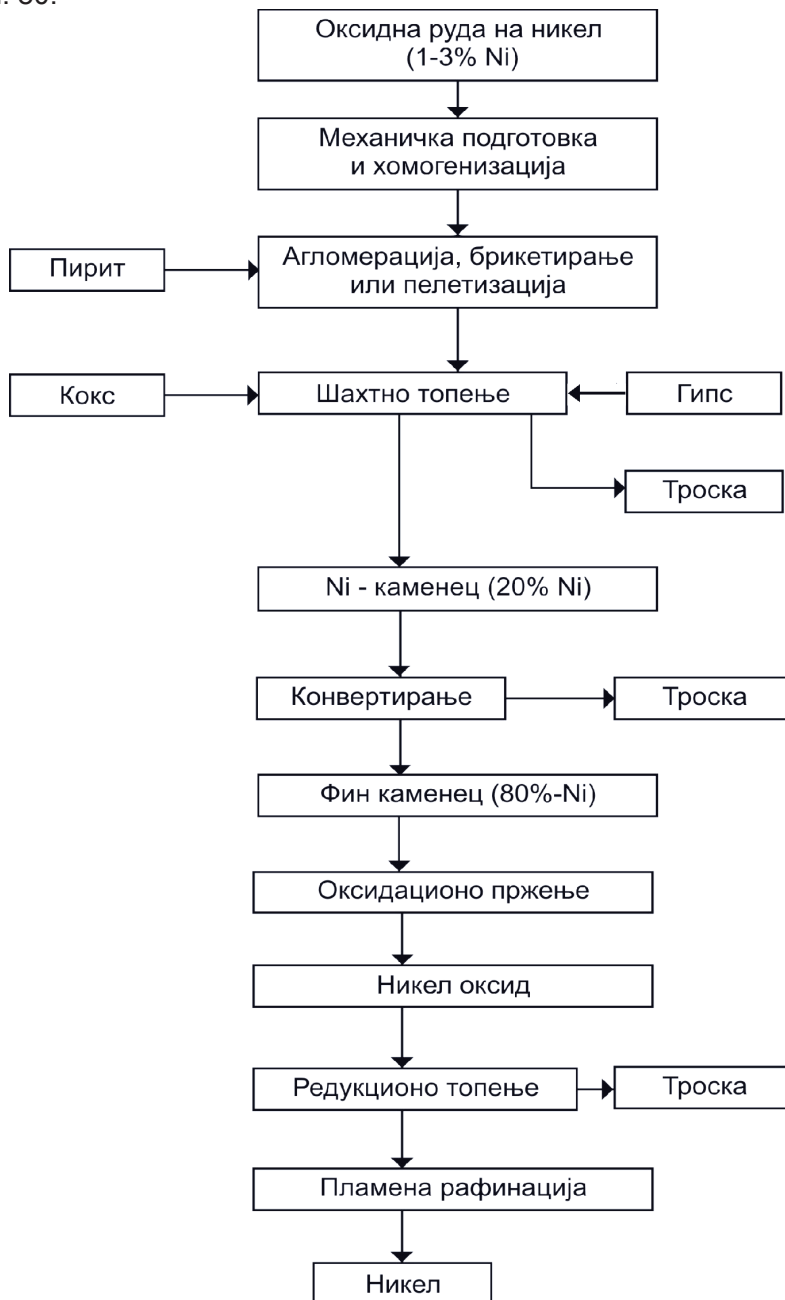
Издвоениот никелкарбонил се загрева во колона на температура од околу 200°C, при што се распаѓа според реакцијата:



Никелот добиен на овој начин има чистота од околу 99,9%, а примеси се железото (0,06%) и кислородот (0,03%).

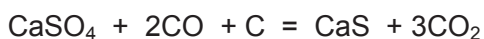
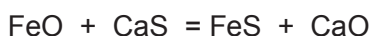
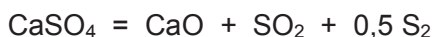
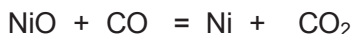
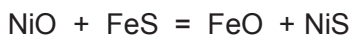
7.5.3.2. Добивање никел од оксидни руди

Оксидните руди содржат 1-3% никел, а можат да се преработуваат и руди под 1% никел. Никелот во овие руди е во вид на гарниерит и во облик на NiO, во кој има висок процент на SiO₂. Технолошката шема за добивање никел од оксидна руда е дадена на сл. 80.



Слика 80. Технолошка шема за добивање никел од оксидни никелови руди.

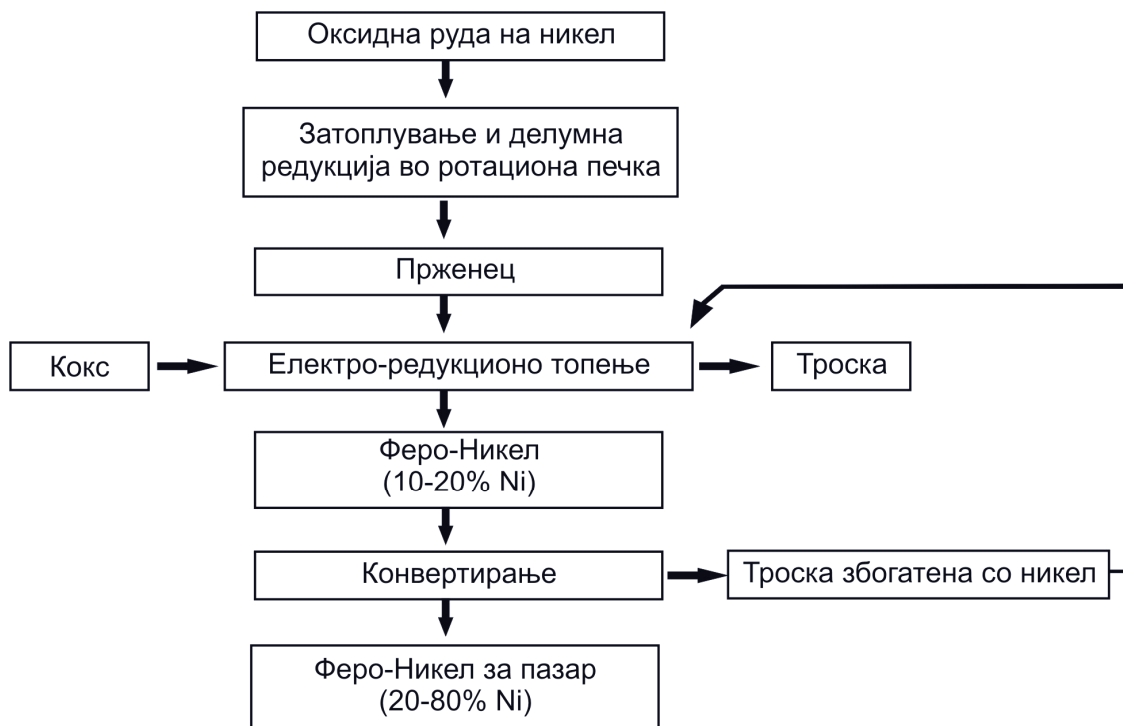
Како што се гледа од шемата, појдовната руда се флотира. При топењето во шахтна печка, претходно концентратот се агломира. При топењето се додаваат пирит и гипс, при што се одвиваат реакциите:



Значи, гипсот е сулфидизатор, т.е. служи за образување NiS кој со FeS образува никелов каменец. Искористувањето на никелот е во граници од 85 до 90%.

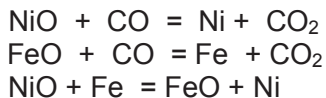
7.5.3.3. Добивање фероникел од оксидна руда

Можноста за преработка на никелот заради добивање фероникел е прикажана на следнава технолошка шема.



Слика 81. Технолошка шема за добивање фероникел од оксидна руда.

Во процесот на редуктивно топење со додаток на кокс се одвиваат следниве реакции:



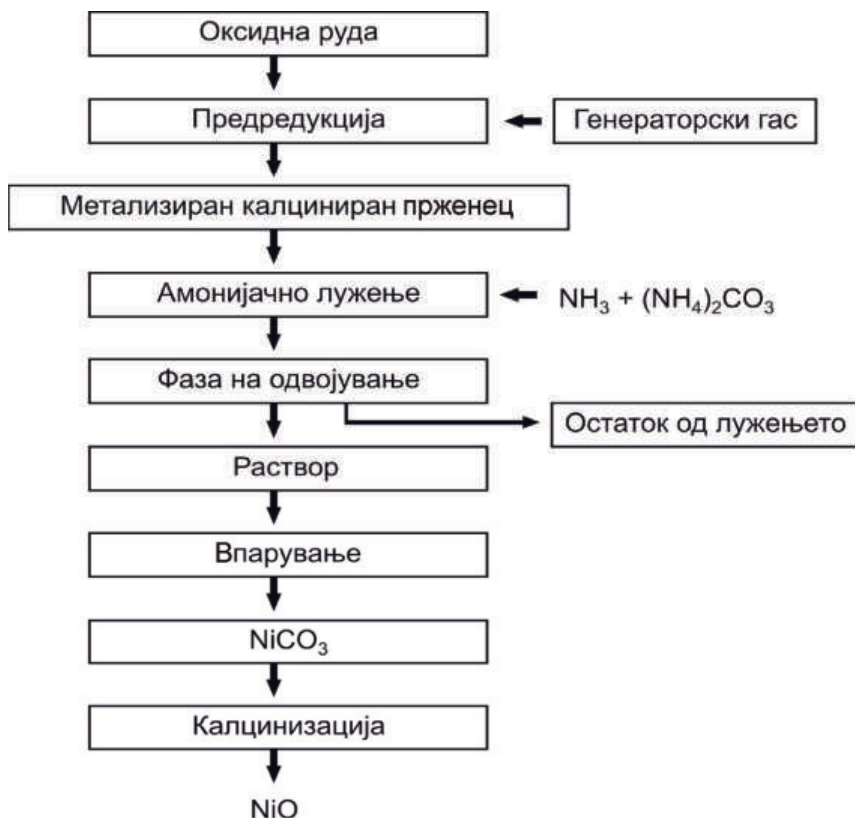
Во процесот се редуцира и железото, при што се образува легура на никел и железо, односно, фероникел. Претходна делумна редукција во ротациона печка и предгревањето на шаржата имаат за цел да овозможат помала потрошувачка на електрична енергија во процесот на топење. На пример, ако не се врши претходна подготовка на шаржата во ротациона печка, потрошувачката на електрична енергија изнесува 66 kWh/t за топење во електропечката, а ако се врши претходна подготовка, потрошувачката е 400 kWh/t. Оваа технологија се применува во топилницата за фероникел во Кавадарци.

7.5.4. Хидрометалуршка преработка на никелова руда

За хидрометалуршко третирање на оксидни руди на никел денес постојат две технологии и тоа:

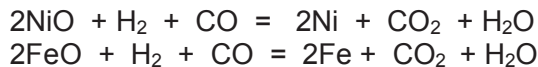
- амонијачен процес на лужење и
- лужење со сулфурна киселина.

Технолошката шема за амонијачно лужење е прикажана на следнава шема.

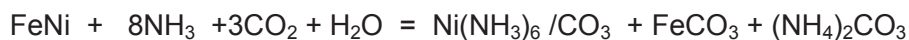


Слика 82. Технолошка шема за добивање никелоксид со амонијачна постапка.

Оксидната руда се суши, се дроби, се меле и се врши предредукција, со цел оксидот и еден дел од железото да се претворат во метален облик. Предредукцијата се изведува на температура од околу 1000°C, при што се одвиваат следниве реакции:



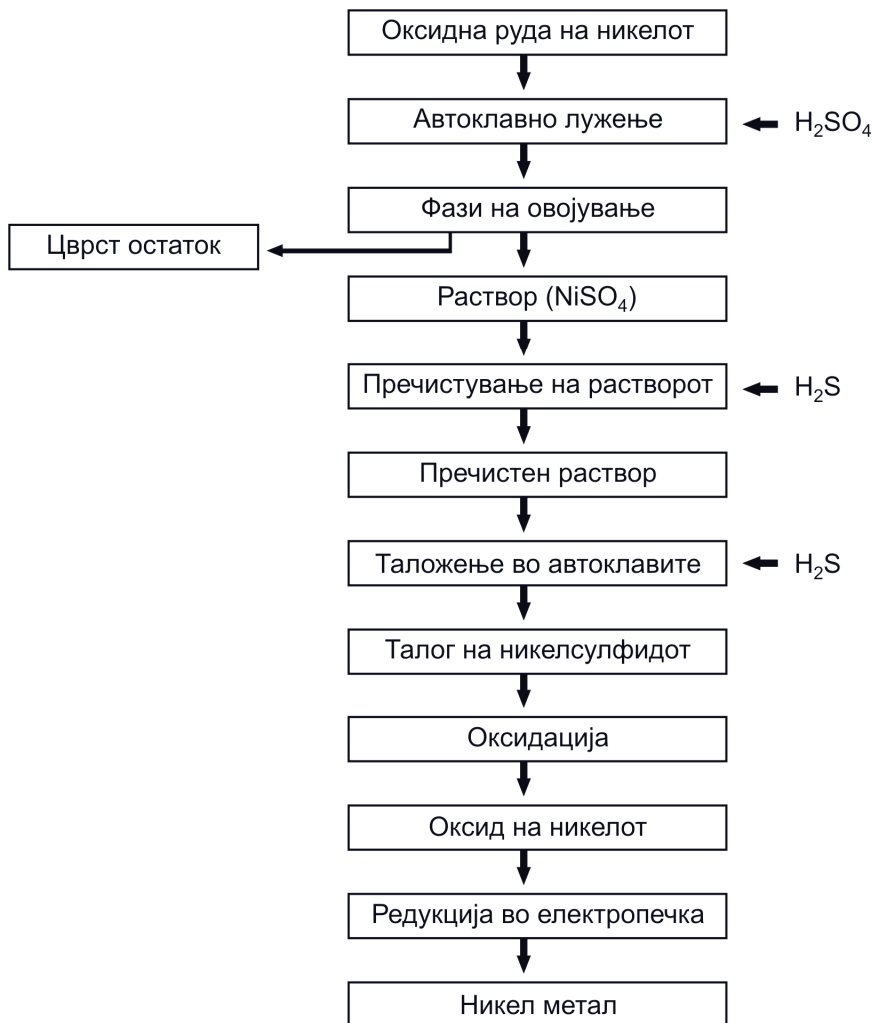
При лужење со амонијачен раствор, никелот се претвора во раствор според следнава реакција:



Редукцијата на никелоксидот пред лужење е неопходна бидејќи NiO е нерастворлив во амонијачен раствор, а никелот лесно се раствора. По лужењето и по одвојувањето на нерастворливиот остаток од растворот, со впарување на растворот, никелот се таложи како NiCO₃, кој потоа со калцинационо пржење се претвора до метален никел.

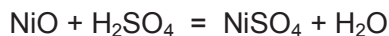
Редуцираната руда се лужи во резервоари со амонијачен раствор од (NH₄)₂CO₃ и NH₄OH. Лужењето се изведува со продувување воздух, при што железото се таложи како Fe(OH)₃, а во растворот останува никелот како базен карбонат, кој се жари, при што се добива NiO со 77% Ni.

Технолошката шема за добивање никел од оксидни никелови руди со примена на раствор на сулфурна киселина е дадена на сл. 83.



Слика 83. Шема на лужење на оксидна никелова руда со сулфурна киселина.

Процесот на лужење се изведува во автоклав под притисок од околу 4MPa, температура од 90°C, со промешување на пулпата, при што се одвива следнава реакција на растворање на никелоксидот:



При процесот на лужење се изведува селективно лужење на никеловите оксиди, а останатите компоненти остануваат во неизлужениот остаток. Потоа се врши прочистување на растворот со H₂S, при што ќе се исталожат кобалтот и калциумот кои преминуваат во раствор. По прочистување на растворот, се врши таложење на никелот во вид на никелсулфид со помош на H₂S, во автоклав на температура 130°C и притисок 1 MPa. Исталожениот никел во вид на никелсулфид се преработува пирометалуршки со оксидационо пржење и со редукционо топење, со што ќе се добие метален никел.

Прашања

1. Опиши ја пирометалуршката постапка за добивање бакар-никел каменец од колективен бакар-никел каменец.
2. Кои се постапките за преработка на бакар-никел каменец?
3. Кои реакции се карактеристични при топењето оксидни никелови руди во шахтна печка?
4. Опиши ја постапката за добивање фероникел во електропечка од оксидни никелови руди.
5. Кои се постапките за хидрометалуршко третирање никелови оксидни руди?
6. Кои реакции се карактеристични при амонијачното лужење на никелови руди?

7.6. МЕТАЛУРГИЈА НА АЛУМИНИУМОТ

7.6.1. Физичко-хемиски особини на алуминиумот

Алуминиумот спаѓа во групата лесни обоени метали и се карактеризира со мала специфична маса, а со голема топлотна и електрична спроводливост, поради што има широка примена во современата техника. Алуминиумот е метал со сребреникавобела боја, со температура на топење од 660°C и со специфична маса од $2,70 \text{ g/cm}^3$; лесно се раствора во базна средина.

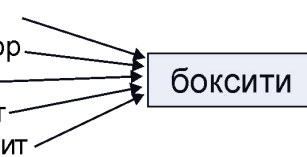


Слика 84. Алуминиум, метал.

Алуминиумот главно се употребува во вид на легури: дуралуминиум (легура со бакар, магнезиум и манган), силумин (со силициум) и др.

7.6.2. Минерали на алуминиумот

Алуминиумот како минерал е застапен 8% во Земјината кора, а образува повеќе од 250 минерали. Карактеристични минерали на алуминиумот се:

- Al_2O_3	корунд	
- $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	дијаспор	
- $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	гипсит	
- $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$	цијанит	
- $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	каолинит	

Најважна руда за добивање на алуминиумот е бокситот, кој содржи: дијаспор, гипсит и бемит. Бокситот се образува под дејство на кислородот од воздухот и на водата на површината на земјата од алумосиликатни карпи во суптропски услови.



Слика 85. Алуминиумова бокситна руда.

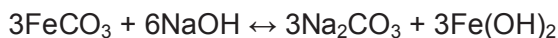
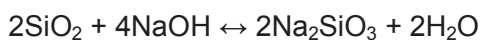
Бокситот содржи 60% Al_2O_3 , а остатокот го сочинуваат SiO_2 , Fe_2O_3 , TiO_2 и др. Најголемите наоѓалишта на боксит во светот се во Индонезија.

7.6.3. Баерова постапка за добивање Al_2O_3 – глиница

Алуминиумовиот оксид, односно, глиницата се добива со преработка на бокситната руда средпо хидрометалуршка или Баерова постапка.

Суштината на Баеровата постапка се состои во лужење бокситна руда со концентриран раствор на натриумхидроксид, при зголемен притисок и температура.

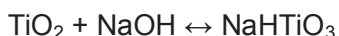
При лужењето се одвиваат следниве реакции:



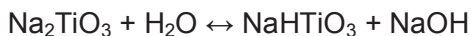
Покрај главните компоненти, Al_2O_3 , FeCO_3 , SiO_2 , во раствор преминуваат титанот, фосфорот, ванадиумот и др.

Проучувањето на однесувањето на примесите е многу значајно од аспект на доброто водење на процесот и на можноста за искористување на ретките метали.

Присуството на TiO_2 во бокситот влијае на излужувањето на глиницата во автоклавот, кој при лужењето во автоклавот се раствора според реакцијата:



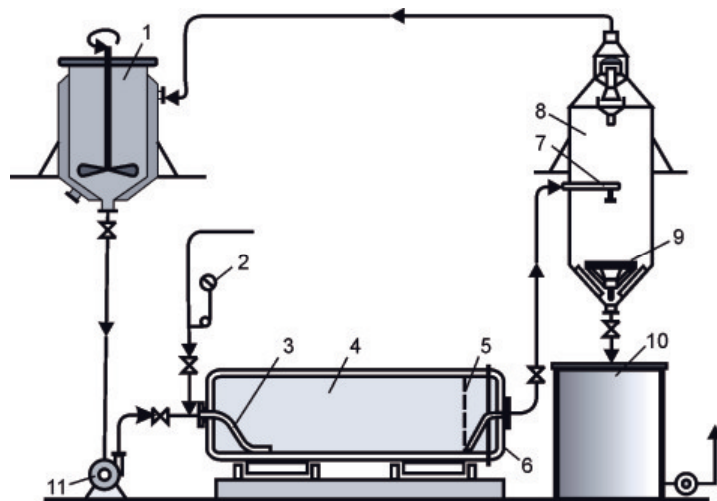
кој се образува како резултат на реакцијата:



Оксидите на железото не се раствораат при лужењето на бокситот во автоклав и образуваат црвен талог кој се вика црвен мил. Оксидите на железото се присутни во форма на Fe_2O_3 , кој не реагира со базниот раствор, потоа $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, кој

што ја отпушта водата во интервал од 100°C до 200°C и при лужењето преминува во безводен Fe₂O₃, односно, се таложи во вид на фини честици во црвениот мил.

Примесите од органско потекло, како што се битуми и гумини, го отежнуваат растворањето на бокситот, потоа, значително го зголемуваат вискозитетот на алуминатниот раствор, при што се забавуваат таложењето и промивањето на црвениот мил. Штетното влијание на органските примеси може да се отстрани со претходно пржење на бокситот или со зголемено додавање калциумоксид.

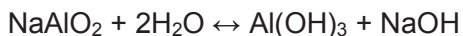


Слика 86. Автоклав за лужење на бокситна руда.

1. реактор за подготовка на пулпа, 2. манометар, 3. цевка за довод на пулпа,
4. хоризонтален автоклав, 5. преграда, 6. цевка за одвод на пулпа, 7. довод на пулпа,
8. впарувач, 9. одвод на пулпа, 10. резервоар, 11. пумпа.

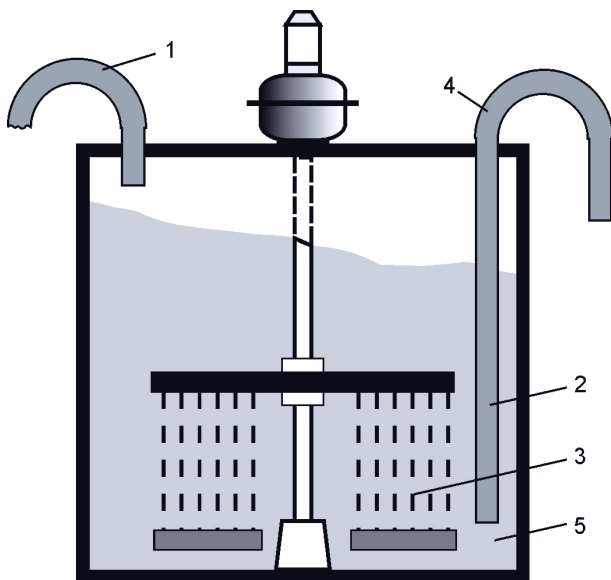
Бокситната руда претходно се дроба и се меле во специјални мелници со таканаречено водено мелење, при што се добива кашеста материја или пулпа. Пулпата се лужи со раствор на натриумхидроксид во автоклав (сл. 86). Лужењето во автоклавот се изведува на температура од 150°C и притисок од 1013,25 до 1619,80 кРа. Пулпата преминува во одвојувач на пареа, каде што се одвојува пареата со обично испарување и повторно се користи за загревање на пулпата. Од одвојувачот на пареата, пулпата се префрла во мешалки каде се разблажува со вода за промивање. Во систем на згуснувачи и уреди за промивање со спротивен тек се одвојува црвениот мил. Згуснатиот црвен мил се фрла на депонија, додека водата за промивање, која содржи Na₂O и Al₂O₃, се користи за разблажување на пулпата од автоклавот.

Добиениот алуминатен раствор се пренесува во специјални постројки, декомпензери (сл. 87), во кои се врши издвојување на глиницата со кристализација. При кристализацијата, која се изведува со ладење на растворот на околу 80°C, алуминатниот раствор се разложува според реакцијата:



За забрзување на оваа реакција, во декомпензерот се додава свеж алуминиумхидрооксид Al(OH)₃ како зародиш за кристализација. На овој начин, од

алуминатниот раствор, кој поминува низ повеќе декомпензери, со намалување на температурата, се издвојува алуминиумхидрооксид $\text{Al}(\text{OH})_3$.

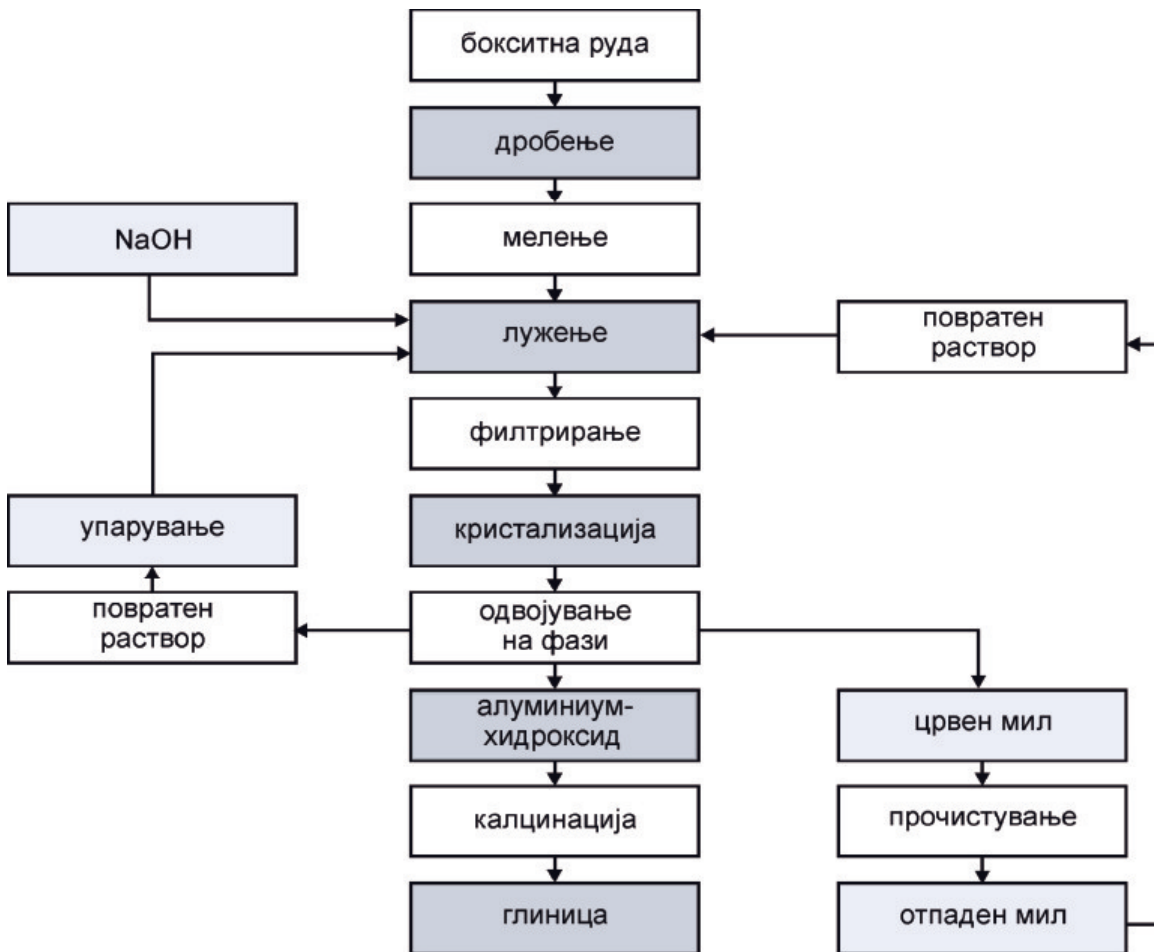


Слика 87. Декомпензер со механичко мешање.

1. довод на пулпа, 2. челичен резервоар, 3. мешалка со синцири,
4. повратен раствор, 5. талог од алуминиумхидрооксид

Разложувањето на растворот трае од 70 до 100 часа, а потоа пулпата од хидроксидот се згуснува, се одвојува со помош на барабанест вакуум филтер, и на тој начин, се добиваат два производа: алуминиумхидрооксид $\text{Al}(\text{OH})_3$ и повратен раствор.

Добиениот $\text{Al}(\text{OH})_3$ се загрева на температура од 1300°C , при што се отстранува водата, односно, се врши калциначионо пржење и се добива алуминиумоксид, (Al_2O_3) или глинаца. Технолошката шема за добивање глинаца (Al_2O_3) е дадена на сл. 88.



Слика 88. Шема за добивање глиница според Баерова постапка.

Глинцата може да се добие и по синтер постапка. Оваа постапка се користи за преработка на боксити кои содржат поголема количина силициумдиоксид SiO_2 . Суштината на синтер постапката се состои во загревање на бокситот на температура од 1200 до 1300°C, во присуство на натриумкарбонат и калиумкарбонат. Овој процес се вика синтерување и се врши во ротациони печки во кои се вршат хемиски реакции меѓу алуминиумовиот оксид и натриумовиот карбонат (Na_2CO_3), при што се образува $\text{NaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$.

Добиениот натриумалуминат се лужи со вода, а потоа се издвојува од талогот. Добиениот алуминиумхидрооксид $\text{Al}(\text{OH})_3$ се калцинира и се добива калцинирана глинаца.

Прашања

1. Кои хемиски реакции се одвиваат при лужењето на бокситната руда за добивање Al_2O_3 , глиница, според Баеровата постапка?
2. Кои се нерастворливите отпадоци при лужењето на бокситната руда според Баеровата постапка?
3. Опиши го процесот на лужење на пулпата во автоклавот.
4. Опиши го процесот на разложување на алуминатниот раствор во декомпензерот.

7.7. МЕТАЛУРГИЈА НА МАГНЕЗИУМОТ

7.7.1. Вовед

Магнезиумот за прв пат е добиен во 1628 година. Меѓутоа, кон крајот на минатото столетие, во Франција, во Германија и во САД работеле неколку постројки за добивање на овој метал. Бидејќи магнезиумот е стратешки метал, неговото производство интензивно се развивало за време на Првата и на Втората светска војна.



Слика 89. Кристален магнезиум.

7.7.2. Особини на магнезиумот

Магнезиумот спаѓа во групата лесни обоени метали; специфичната маса му е $1,738 \text{ g/cm}^3$, температурата на топење, 651°C , а температурата на вриење, 1107°C .

Чистиот метал има сребреникавообела боја и сјајна површина, која на воздух веднаш потемнува, како резултат на формирањето на тенок слој од оксиден филм. Во присуство на влага, магнезиумот кородира, при што се прекрива со прашест оксид. Ако се топи без троска, која го штити од контакт со воздухот, магнезиумот лесно се пали и дава бел пламен.

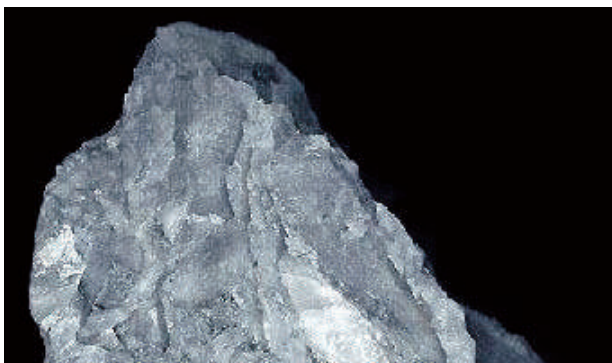
Магнезиумот не се раствора во јаки бази и во флуорни соли, меѓутоа, лесно се раствора во разблажени минерални киселини. Со многу метали магнезиумот гради легури кои имаат добри физичко-механички особини, поради што доста се користи во авиоиндустријата за изработка на прецизни уреди. Исто така, се користи во хемиската индустрија.

7.7.3. Руди и минерали на магнезиумот

Магнезиумот во природата гради преку 200 минерали, меѓутоа, најкарактеристични се:

хлоридите:	бишофит – $MgCl_2 \cdot 6H_2O$
	карналит – $MgCl_2 \cdot KCl \cdot 6H_2O$
карбонатите:	магнезит – $MgCO_3$
	доломит – $MgCO_3 \cdot CaCO_3$
силикатите:	оливин – Mg_2SiO_4
	серпентин – $3MgO \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$

Магнезиумот е присутен во морската вода, каде неговата содржина, во просек, е во границите од 0,2 до 0,3 g/dm³. Како појдовни сировини за добивање метален магнезиум се користат: бишофит, магнезит и многу ретко доломит. Најголеми производители на магнезиум во светот се: Русија, САД, Германија и Јапонија.



Слика 90. Минерал на магнезиум – магнезит.

Магнезитот, кој се употребува за производство на магнезиум, потребно е да биде ослободен од примесите. Непожелно е присуството на: SiO_2 , Fe_2O_3 и Al_2O_3 . За намалување на примесите, магнезитот најпрвин се обогатува, а потоа се врши жарење на температура од 700 до 800°C, односно, на температура на која дисоцира карбонатот:



Добиениот MgO има непроменета хемиска активност и се вика каустичен магнезит.

Доломитот е двоен карбонат на Mg и Ca и е распространет во повеќе земји, а најмногу во Русија, во Кина и во САД. Доломитот се жари на температурата на дисоцијација, при што добиениот MgO се користи како сировина за директна

редукција до метален магнезиум, односно, за добивање $MgCl_2$ кој се користи за електролитичко добивање магнезиум.

7.7.4. Постапки за добивање магнезиум

Основни технолошки постапки за добивање магнезиум се:

- добивање магнезиум со електролиза на растоп од магнезиумхлорид,
- добивање магнезиум со термички постапки од магнезиумоксид.

Значи, при добивање на металниот магнезиум, потребно е претходно третирање на појдовната суровина, со цел да се добие безводен магнезиумхлорид, како појдовна суровина за електролитичко добивање магнезиум или добивање магнезиумоксид, за металотермичко добивање на магнезиумот.

7.7.4.1. Постапки за електролитичко добивање магнезиум

Како појдовна суровина за добивање безводен магнезиумхлорид се користат: магнезитот, доломитот, карналитот и бишофитот. Магнезитот е природен карбонат на магнезиумот кој се јавува во кристална и во аморфна модификација. Магнезитот, кој се користи за производство на магнезиум, треба скоро целосно да биде ослободен од примеси. Посебно непосакувано е присуството на: SiO_2 , Fe_2O_3 и Al_2O_3 , кои се отстрануваат со методи на обогатување на магнезитот. Освен тоа, магнезитот се подложува на жарење на температура од 700 до 800°C, односно, на температури на кои дисоцира карбонатот според реакцијата:



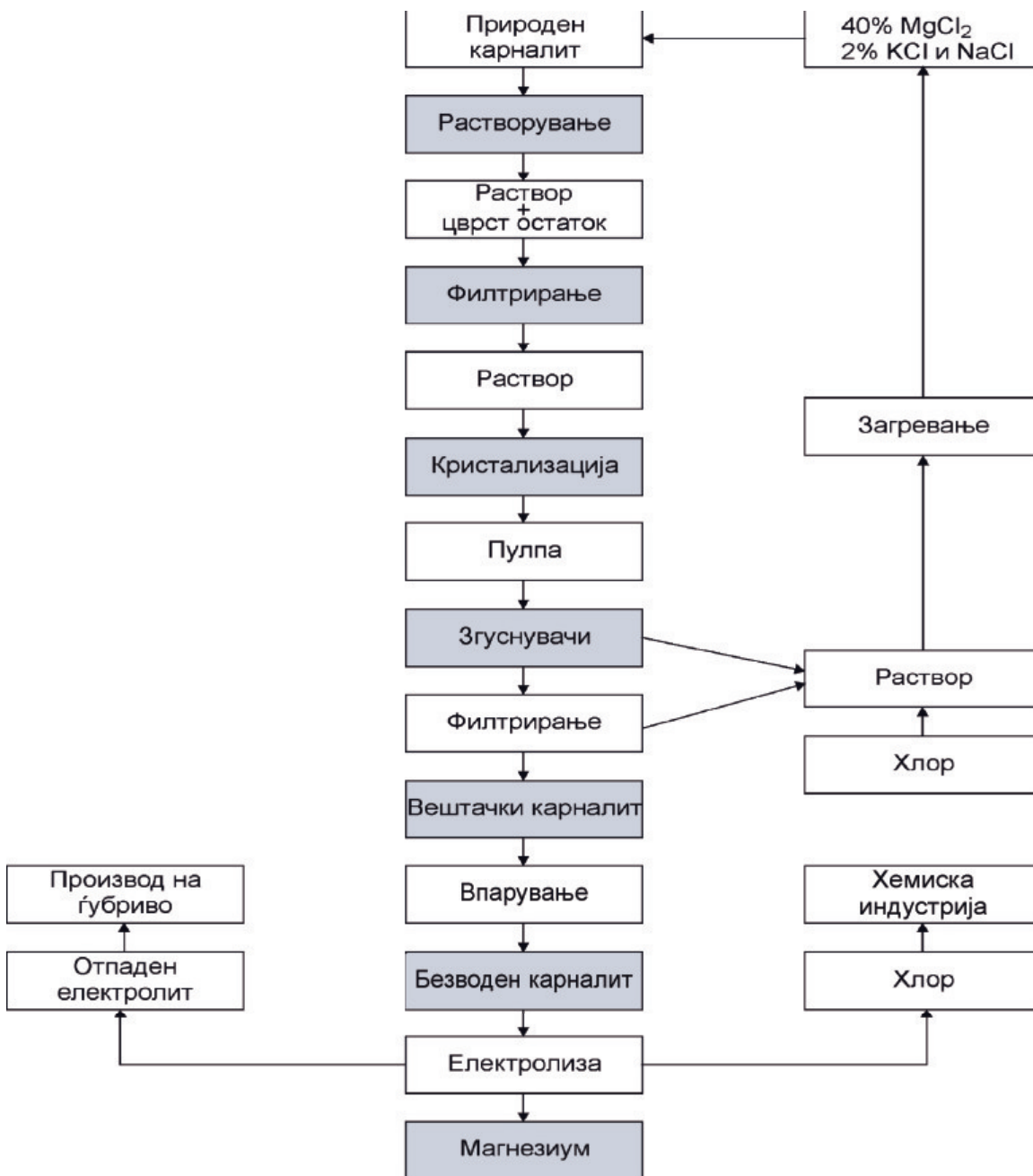
Добиениот MgO има непроменета хемиска активност и се вика каустичен магнезит.

Доломитот е двоен карбонат на Mg и Ca и е распространет во повеќе земји, а најмногу во Русија, во Кина и во САД. Доломитот се жари на температурата на дисоцијација, при што добиениот MgO се користи како суровина за директна редукција до метален магнезиум, односно, за добивање $MgCl_2$ кој се користи за електролиза. Карналитот, по ископувањето, се дроби и се одвојува од јаловината, а дробениот карналит се внесува во агитатори, каде со врел агитационен раствор, $MgCl_2$ и KCl , преминува во раствор.

Бишофитот е хлорид на магнезиумот и се добива со преработка на природен карналит, меѓутоа, главно $MgCl_2$ се наоѓа во морската вода која содржи до 0,3% $MgCl_2$. Подготовката на суровината за производство на магнезиум според електролитна постапка се одвива според следниве технолошки шеми:

- карналитна технолошка шема за добивање магнезиум хлорид;
- хлор-магнезиумова шема за добивање магнезиум;
- мешовита шема за добивање магнезиум;
- добивање магнезиум од морска вода.

7.7.4.1.1. Карналитна технолошка шема за добивање магнезиум



Слика 91. Технолошка шема за добивање магнезиум според карналитна постапка.

Природниот карналит се обогатува, односно, се одвојува од механичките примеси. Обогатениот карналит се раствора во раствор кој содржи 40% $MgCl_2$, 2% KCl и $NaCl$, на температура од 110 до 150°C, при што $MgCl_2$ преминува во талог.

Пулпата се пренесува на сита каде се одвојуваат вештачки кристали од NaCl кои одат на халда. Растворот од кој е отстранет NaCl се кристализира во две етапи. Првата етапа се изведува во вакуум кристализатори во кои растворот се лади од 100 до 40°C, при што се добиваат вештачки кристали од карналит.

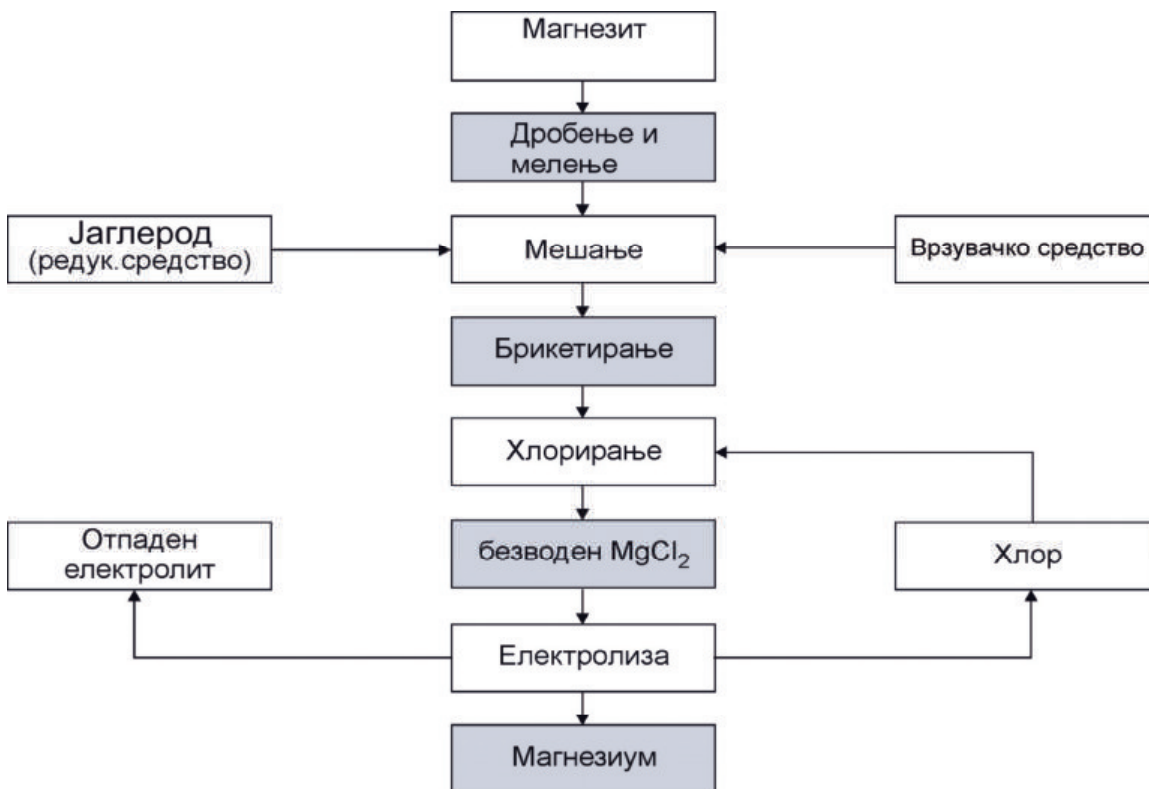
Втората етапа се изведува во вертикални кристализатори ладени со вода. По декантирањето и по згуснувањето, пулпата се филтрира на центрифуги, а растворот што содржи магнезиумбромид оди во бромна колона во која се одвојува бромот. По загревање, растворот се враќа во агитатори каде што се лужат нови количини карналит.

Од добиениот вештачки карналит се отстранува водата и се подложува на електролиза во истопена состојба, при што се добиваат магнезиум и хлор. Во текот на процесот на електролиза на $MgCl_2$, електролитот се обогатува со KCl, при што отпадниот електролит содржи околу 80% KCl. Се вади од електролитните ќелии и се користи како калиумово ѓубриво.

7.7.4.1.2. Хлор-магнезиумова шема за добивање магнезиум

Според оваа шема како суровина за електролиза се користи безводен $MgCl_2$, а во зависност од начинот на неговото добивање, постојат две постапки: а) хлор-магnezитна шема и б) мешовита шема.

Процесот на добивање магнезиум со хлор-магnezитна постапка се одвива според следнава шема (сл. 92).



Слика 92. Технолошка шема за добивање магнезиум со хлорирање магnezит.

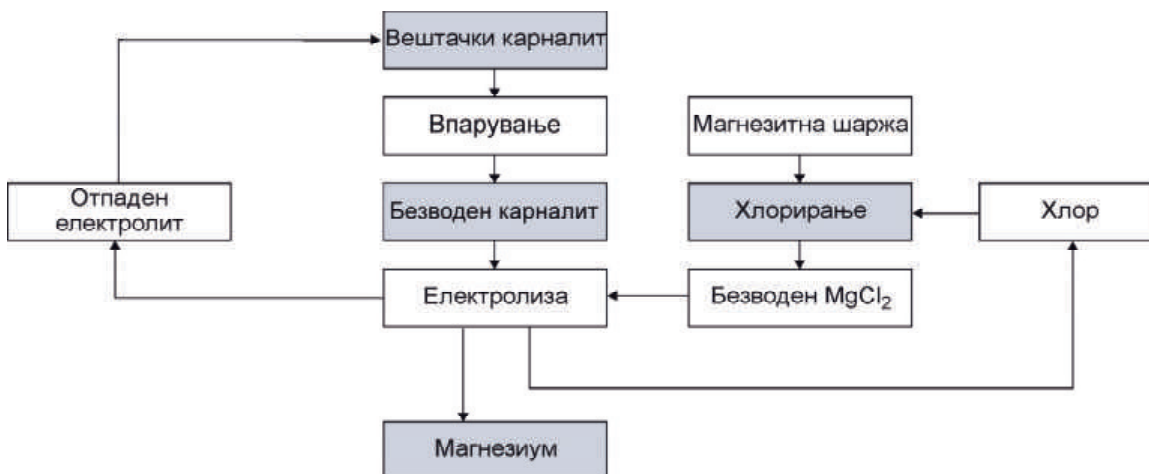
Шаржата се состои од магнезит и од редукционо средство врз база на јаглерод. Хлорирањето се изведува со гасен хлор, при што добиениот $MgCl_2$ се пренесува во ќелии за електролиза. На анодата се издвојува хлор, кој се користи за хлорирање на магнезитот во шахтни или електропечки, а повремено, од ќелиите се вади магнезиум. Ако целокупниот хлор, кој се добива со електролиза, се користи за хлорирање на магнезитот, процесот би бил затворен циклус, но со оглед на тоа дека се одвиваат и споредни реакции, кои условуваат загуба на хлор, вкупното искористување на хлорот во процесот е до 70%.

Хлормagneзитната шема ги има следниве предности во однос на карналитната шема: производството на магнезиум се заснова врз база на магнезит, кој е мошне распространет во природата, мал е обемот на транспорт на материјал, односно, од 1,5 тони безводен $MgCl_2$, се добива 1 тон магнезиум.

7.7.4.1.3. Мешовита шема за добивање магнезиум

Во случај кога заедно со постројката за добивање магнезиум постои и постројка за добивање карналит, загубите на хлор се компензираат со врзан хлор или со додавање безводен карналит во електролитните ќелии или со користење аноден хлор од електролизата на карналитот, при што се добива безводен $MgCl_2$ кој се користи за електролиза паралелно со карналитот. Значи, за електролиза ќе се користат безводен $MgCl_2$ и безводен карналит.

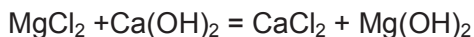
Процесот се одвива според следнава технолошка шема.



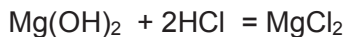
Слика 93. Мешовита технолошка шема за добивање магнезиум.

7.7.4.1.4. Добивање магнезиум од морска вода

Како суровина за добивање на магнезиум, според оваа постапка, се користи морската вода. Морската вода се внесува во резервоари, каде што се врши таложеење на магнезиумот од водата со помош на калциумоксид според реакцијата:

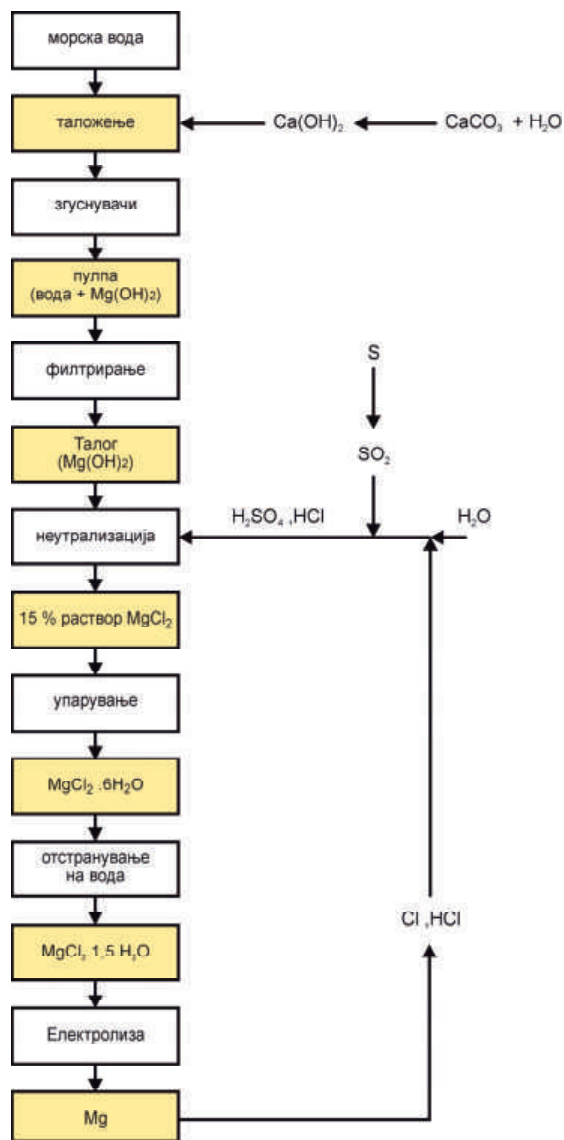


Добиениот мил од $Mg(OH)_2$ се таложи при што се издвојува од расворот и се неутрализира со сулфурна киселина. Со додаток на хлороводна киселина, $Mg(OH)_2$ се претвора во раствор во вид на магнезиумхлорид според реакцијата:



Добиениот раствор од магнезиумхлорид се впарува, и тогаш, магнезиумхлоридот кристализира во форма на $MgCl_2 \cdot 6H_2O$. Со повеќестепено впарување се добива $MgCl_2 \cdot 1,5H_2O$. Со електролиза на магнезиумхлоридот се добива метален магнезиум.

Процесот на добивање магнезиум од морска вода се одвива според следнава шема (сл. 94).



Слика 94. Технолошка шема за добивање магнезиум од морска вода.

Прашања

1. Кои технолошки постапки се користат за добивање магнезиум?
2. Опиши ја карналитната постапка за добивање магнезиум.
3. Како се добива магнезиум од морска вода?
4. Опиши ја мешовитата постапка за добивање магнезиум.

7.8. МЕТАЛУРГИЈА НА КАЛАЈОТ

7.8.1. Особини на калајот

Калајот е метал со сребреникавобела боја и со мала тврдина. Чистиот калај (бел калај) е растеглив и лесно се кова. На собна температура калајот е отпорен на дејството на водата и на воздухот, на слаби киселини и бази. Со валање, се извлекува во тенки листови, станиол. Како метал со ниска температура на топење (234°C), лесно се лее и има добри механички особини. Предмети од калај најмногу се користени меѓу XIV и XV век. Калајот се користи за пресликување други метали со тенок слој, со што ја подобрува нивната отпорност на корозија. Калајот се користи за изработка на легури, како: бронза (легура со бакар), метал за лемење (легура калај со олово), легура антимон и бакар за изработка на прибор за јадење и др.

Најважна руда е коситеритот (SnO_2), и со негова редукција се добива калај. Халогените елементи лесно се соединуваат со сув хлор и образуваат SnCl_4 .

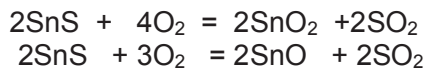


Слика 95. Минерал на калај – коситерит.

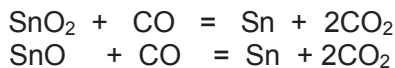
7.8.2. Постапки за добивање калај

За добивање метален калај се користат пирометалуршки и хидрометалуршки постапки. Пирометалуршката постапка се состои од следниве фази: пржење, редукционо топење и рафинација.

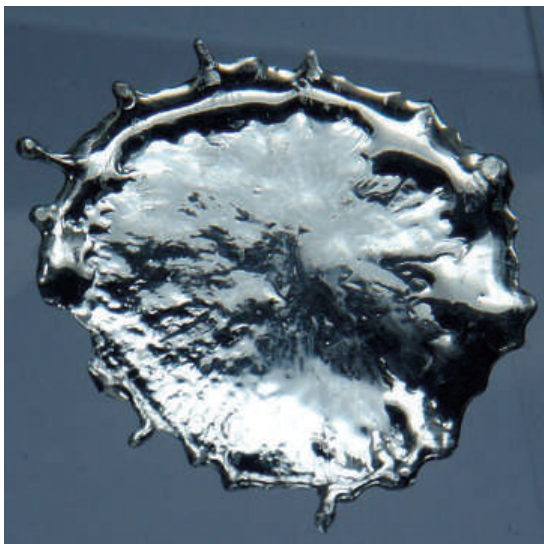
Пржењето се применува за: богати сулфидни руди, оксидни руди и концентрати на калајот. Процесот на пржење се одвива според следниве реакции:



Добиениот производ претставува SnO_2 или SnO и се користи како појдовна суровина за добивање метален калај според реакциите:



Процесот се одвива во редуктивна атмосфера со додавање кокс. Топењето може да се изведува во пламена или ротациона печка. За отстранување на примесите, се додаваат топители, како: Na_2CO_3 , Na_2SO_4 , NaCl и др. Топителите имаат улога, при процесот на топење, присутните примеси (железо, бакар, арсен, антимон и др.) да ги претворат во троска. Со оваа постапка се добива метален калај со чистота 92-94%.



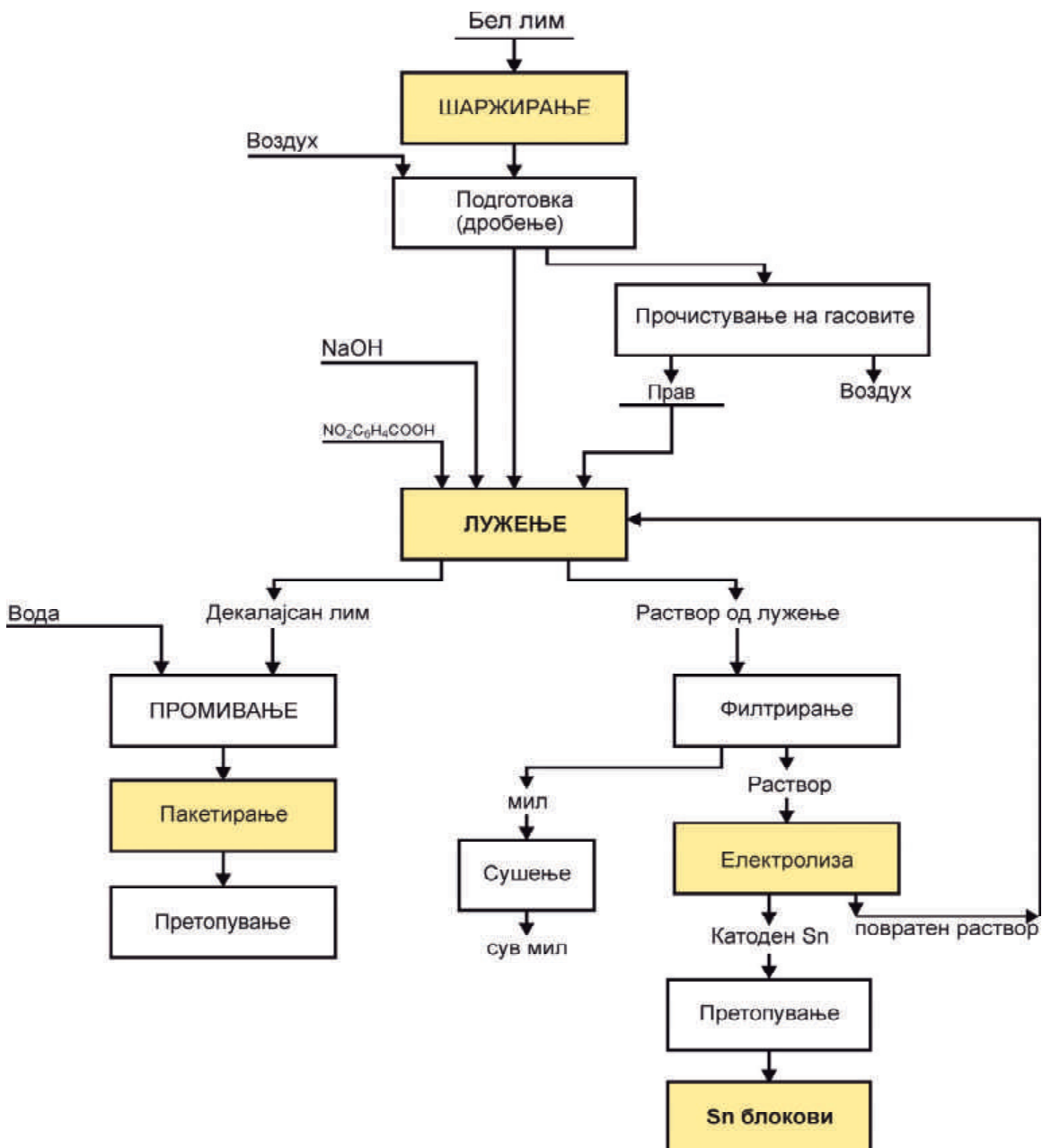
Слика 96. Метален калај.

7.8.3. Добивање калај од секундарни суровини

Во денешно време, поради ниската содржина на калајот во рудните лежишта, сè повеќе се користат секундарните суровини за добивање калај. Од секундарните суровини на основа на калај, најзначајни се: белите лимови, конзервите, фолиите, оловно-калајните легури, троските и др.

7.8.3.1. Добивање калај од отпадни бели лимови

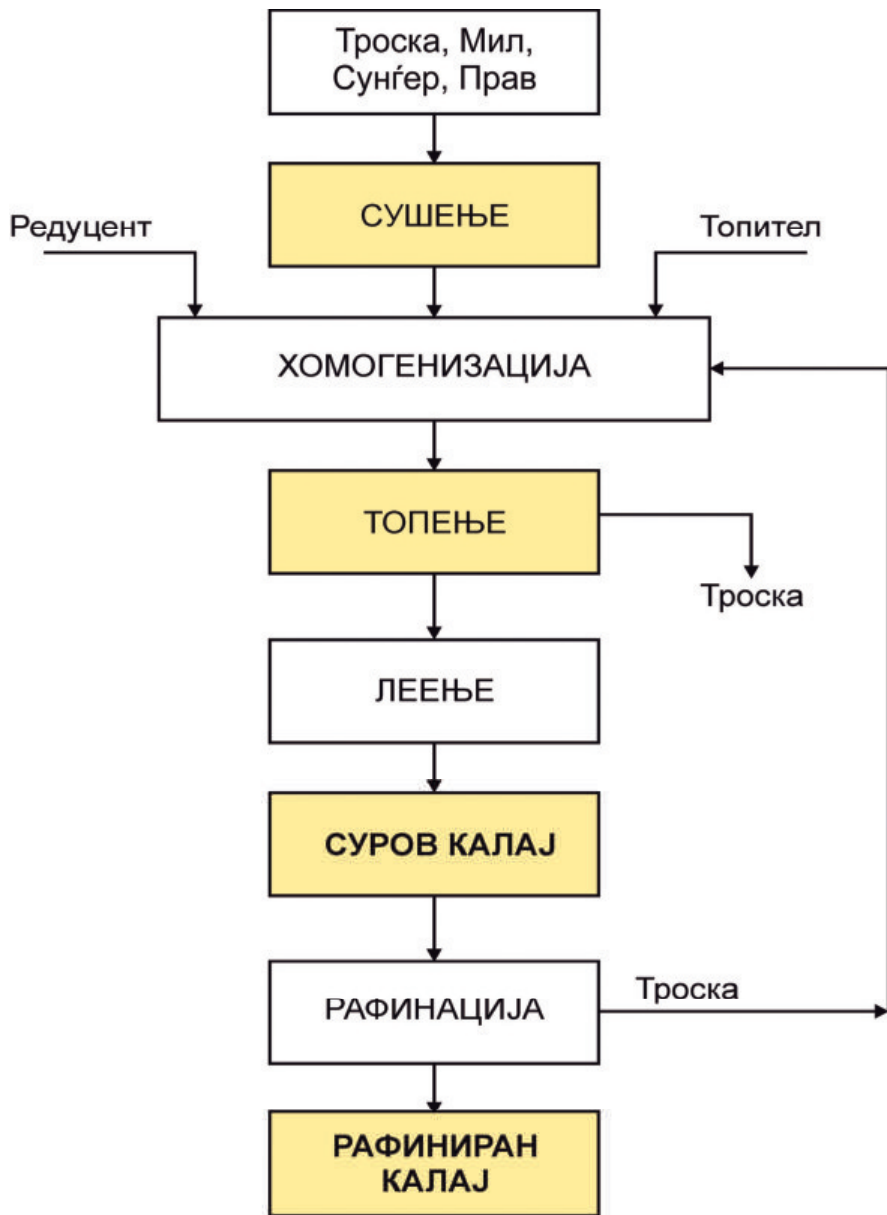
Најчесто користена постапка за извлекување калај од отпадни бели лимови претставува електролитната постапка. Во својство на електролит се користи раствор од натриумхлорид, кој се карактеризира со висока проводливост и со пасивност во однос на железото. Електролизата се користи за таложење на калај од раствор на натриумстанат (Na_2SnO_3), со користење нерастворливи аноди. Процесот е дисконтинуиран, се одвива 24 часа дневно и се произведува калај со 99,95% чистота. На сл. 97 е прикажана постапката за добивање калај од бели лимови со лужење и со електролиза.



Слика 97. Технолошка постапка за добивање калај од бел лим.

7.8.3.2. Добивање калај од калајна троска

Освен калај, калајните троски во својот состав содржат: цинк, олово, бакар и др. Калајот се добива со пирометалуршка постапка во шахтна печка. Процесот се одвива со редуцирно топење во присуство на редуцент, кокс и топители: Na_2CO_3 , Na_2SO_4 , NaCl , според технолошката шема дадена на сл. 98.



Слика 98. Технолошка шема за добивање калај од отпадна троска.

Прашања

1. Опиши ја постапката за пирометалуршко добивање калај од калајни руди.
2. Опиши ја електролитичката постапка за добивање калај од калајни руди.
3. Опиши ја постапката за добивање калај од бели лимови.
4. Опиши ја технолошката постапка за добивање калај од отпадна троска.

ИЗБОРЕН ПРЕДМЕТ

Технологија на производство на благородни метали

1. МЕТАЛУРГИЈА НА ЗЛАТОТО

1.1. Вовед

Според техничката распределба на металите, во благородни метали спаѓаат: златото, среброто, платината и останатите метали од платинската група. Значењето на благородните метали, пред сè, златото и среброто, како во раните историски епохи така и во современиот свет, го оправдува издвојувањето на овие метали во посебна група метали.

Археолошките наоди покажуваат дека златото е прв метал кој уште прачовекот го забележал во природата и почнал да го користи. Најверојатно тоа се случило пред 6000-7000 години. Благодарение на златната боја и на интензивниот сјај, златото се издвојувало од останатите метали во природата. Мекоста на златото (ковноста), како и релативно ниската точка на топење, овозможувале негова преработка и со примитивни технички средства. Сите значајни цивилизации во стариот век, како: Вавилонци, Феничани, Египќани, Римјани, како и цивилизациите во древна Кина, во Индија, во Јапонија, како и оние во Јужна Америка, биле познати по производството на злато.

Технологијата на добивање злато била едноставна и се одвивала со примена на примитивна апаратура. Ископувањето на рудата и нејзиниот транспорт се одвивале со тешка макотрпна работа. Одвојувањето на јаловината од златните зрна се вршело со промивање преку животинска кожа.

Во Стариот Египет, топењето и рафинацијата на златото се изведувале со купелација (топење на мешавина од златна руда и јаглен од животински коски). Златарите во Стариот Египет ја совладале техничката на преработка на златото и изработувале предмети со таква убавина на кои и денес им се воодушевува современиот човек.

На сл. 1 е прикажана круната на кралицата Комет (околу 1500 години пред Христовото раѓање) која со квалитетот на изработката и со врвно уредените сегменти, сведочи за високото техничко ниво на тогашните златари.

Освен за изработка на накит, од најстаро време златото се користело како мера за вредности и имало функција на платежно средство. Брзиот развој на техничката, како што се електрониката и ракетната техника, ја проширил областа на користење на златото.



Слика 1. Круната на кралицата Комет (1500 години пред нашата ера).

Златото му е познато на човештвото од дамнина. Постојат сознанија дека златото бил првиот метал кој човекот го познавал бидејќи златни предмети се пронајдени во најстарите гробници. Основни особини со кои златото се разликува од другите метали се: светлиот сјај, отпорноста на кислород и лесната ковност. Во стариот век златото се добивало во: Месопотамија, Египет, Индија и Кина. Добивањето на златото како меѓупроизвод при добивање бакар и олово е познато пред 2000 години.



Слика 2. Метално злато.

1.2. Руди и минерали на златото

Во природата се среќава како самородно, кое во себе содржи 5-15 g/t, што е рентабилно за преработка, со цел добивање злато. Златото се среќава во песокот од речните корита, при што долна граница за добивање злато од песоци изнесува 0,15-0,30 g/t. Заедно со среброто се среќава во многу руди на обоените метали, а посебно во рудите на бакарот и на оловото. Најголеми производители на злато во светот се: Јужна Африка, САД, Русија, Канада и др.

1.3. Особини на златото

Златото е многу редок елемент. Неговата содржина во Земјината кора е околу 5mg/t, што е за 20 пати помалку од среброто. Поради својата инертност, златото во рудите се наоѓа скоро исклучиво како самородно. Примеси на самородното злато се: среброто, бакарот, железото, а во мали количини може да бидат присутни и арсенот, бакарот, селенот, телурот и др. Од минералите на златото, најзначајни се телуридите на златото: калаверитот, силванитот, кренеритот, петцитот и др. Освен во своите минерали, златото може да се сретне во обоените метали, како на пример, во бакарни, бакарно-никелови, бакарно-молибденови, оловно-цинкови руди итн.



Слика 3. Самородно злато.

Златото е метал со жолтеникаво светла боја, добро се кова и може да се извлекува во многу тенки листови со дебелина од 0,001mm. Златото е доста меко, добро ги спроведува електричната струја и топлината. Златото се раствора во царска вода ($\text{HNO}_3 + 3\text{HCl}$). Златото, исто така, добро се раствора во цијанидни раствори, додека во раствори на H_2SO_4 , на HNO_3 и на HCl не се раствора. Со многу метали гради легури. Основни легирачки елементи на златото се: среброто, бакарот, никелот, паладиумот и цинкот. Со живата, златото гради амалгами од кои може лесно да се добие. Температурата на топење на златото е 1063°C , а температура на вриење, 2577°C . Специфичната маса му е $19,3 \text{ g/cm}^3$, така што по платината, претставува метал со најголема специфична маса.

Поради својата реткост и трајност, златото се користи за изработка на монети и како средство за плаќање во меѓународната трговија. Како парично средство, златото многу малку циркулира и се чува во трезори на државни банки како покритие на паричните средства. Квалитетот на златото се изразува во делови на злато во 1000 делови легура, така што 1000/1000 означува 100% злато. Изразот карат означува дел од злато на 24 делови легура. На пример, легура од 18 карати содржи 18/24 карати, тоа е 750/1000, односно, 75% злато или 14 карати е 580/1000, односно, 50% злато. Златото се применува за изработка на накит, за позлатување на многу предмети и во медицината.

1.4. Легури на златото

Легурата злато-сребро покажува добри особини и постојаност во однос на оксидацијата. Легурата е мека, пластична, максимална цврстина постигнува при 40% сребро. Легурата злато-сребро наоѓа примена во електрониката за изработка на контактни материјали, контакти за сите видови струјни тела со ниско оптоварување. Легурата злато-бакар има индустриска примена за изработка на: златни пари, контактни материјали, лимови и изработка на накит. Додаток од легирачки елементи во различни односи може да ја промени бојата на златото (од жолто до портокалов отсјај), од бела до црвена боја на златото, во зависност од содржината на легурните елементи, сребро и бакар.

Табела 1. Боја на златото во зависност од содржината на сребро и на бакар во легурата.

Карати	Au	Ag	Cu	Боја
22	91,6	8,4	-	Жолта
	91,6	5,5	2,8	Жолта
	91,6	3,2	5,1	Темножолта
	91,6	-	8,4	Розова
18	75,0	25,0	-	Зеленожолта
	75,0	16,0	9,0	Светложолта, 2N
	75,0	12,5	12,5	Жолта, 3N
	75,0	9,0	16,0	Розе, 4N
	75,0	4,5	20,5	Црвена, 5N
14	58,5	41,5	-	Светлозелена
	58,5	30,0	11,5	Жолта
	58,5	9,0	32,5	Црвена
9	37,5	62,5	-	Бела
	37,5	55,0	7,5	Светложолта
	37,5	42,5	20,0	Жолта
	37,5	31,25	31,25	Интензивно жолта
	37,5	20,0	42,5	Розова
	37,5	7,5	55,0	Црвена

Табела 2. Легура злато-никел за изработка на бело злато.

Карат	Au	Cu	Ni	Zn	Цврстина, HV	T _{топ.} °C
18	75	2,2	17,3	5,5	220	960
	75	8,5	13,5	3,0	200	955
	75	13,0	8,5	3,5	150	950
14	58,5	22,0	12,0	7,4	150	955
10	41,7	32,8	17,1	8,4	145	1085
9	37,5	40,0	10,5	12,0	130	1040

Легурата злато-паладиум има голема цврстина и добро се преработува со пластична деформација. Се користи за изработка на електрични контакти и на жица за термопарови. Поради лимитирањето на употребата на никел за изработка на накит, паладиумот го заменил никелот за изработка на бело злато

Златото се применува и за изработка на стоматолошки легури. Златото се користело во забарството пред повеќе од 4000 години. Старите Феничани користеле златни жици за поврзување на забите, а Римјаните први почнале со производство на мостови.

Табела 3. Стандардни легури на злато со паладиум за изработка на бело злато.

Карат	Au	Pd	Ag	Cu	Zn	Ni	Цврстина, HV	T на топење, °C
18	75	20	5	-	-	-	100	1350
	75	15	10	-	-	-	100	1300
	75	10	15	-	-	-	80	1250
	75	10	10,5	3,5	0,1	0,9	95	1150
	75	6,4	9,9	5,1	3,5	1,1	140	1040
	75	15	-	3,0	-	7,0	180	1150
14	58,3	20	6	14,5	1	-	160	1095
	58,5	5	32,5	3	1	-	100	1100
10	41,7	28	8,4	20,5	1,4	-	160	1095
9	37,5	-	52	4,9	4,2	1,4	85	940

1.5. Постапки за добивање злато

Златото од златоносните руди и песоци може да се добие според следниве постапки:

- амалгамација,
- гравитациска концентрација и
- цијанизација.

Златото може да се добие и како меѓупроизвод при добивањето бакар и олово.

1.5.1. Подготовка на рудата за добивање концентрат

Преработката на рудата од примарни лежишта опфаќа голем број операции, при што прва операција претставува иситнувањето на рудата, односно, дробењето и мелењето. Задачата на оваа операција е делумно отворање на зрното од самородното злато за да може успешно да се одвиваат следните операции. Операцијата дробење и мелење е скапа операција со голема потрошувачка на енергија и на материјал. Оваа операција, кога зрната од самородното злато се доволно отворени, овозможува успешно одвивање на следните операции.

Економичниот степен на иситнувањето зависи од низа фактори, како што се:

- зголеменото искористување на металот,
- зголемената количина мил при фино мелење,
- воведувањето двостепено и тростепено мелење.

Мелењето, кое се изведува во неколку степени, се врши во мелници со топчиња и прачки. Денес се применува автогено мелење кое има низа предности во однос на стандардното мелење, и тоа:

- иситнувањето се врши со едно мелење,
- намалена е потрошувачката на електрична енергија и
- има зголемување на искористувањето на златото.

За класификација се користат хидроциклони со различна конструкција.

1.5.2. Гравитациска концентрација

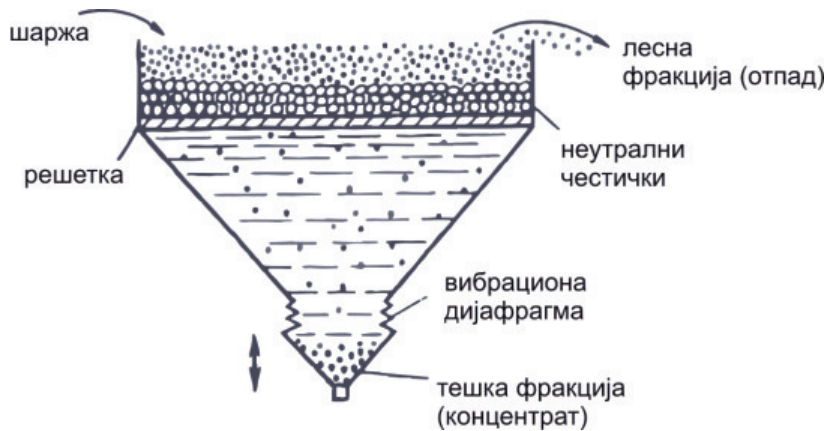
Добивањето злато од златоносните песоци претставува едноставна постапка и се заснова на големата разлика во специфичната маса на златото ($19,3 \text{ g/cm}^3$) и јаловината ($2,5\text{-}2,8 \text{ g/cm}^3$). Специфична маса на златото, која е неколкупати поголема од специфичната маса на минералите од повеќе руди, овозможува успешно раздвојување на златото од масата на која е применета гравитациската концентрација. Главно се врши рачно промивање на богатите златоносни песоци. Зрната и лушките од златото остануваат на дното од садот, додека јаловината се промива со водата. При индустриското промивање на песоците и на другите златоносни руди, овој процес се изведува на тој начин што во мелница се формира пулпа од вода и златоносна суровина, која во млаз се испушта на одредена површина или корита, кои на дното имаат пречки на коишто се задржува исталоженото злато. Со протекување на слојот од оваа пулпа по определена површина, брзината на движењето на горните слоеви е најголема, додека брзината на движењето на долните слоеви е помала, а на дното, брзината на движењето е нула. Честичките со помала специфична маса, односно, полесните честички остануваат во слојот, кој се движи, а потешките честички, во конкретниов случај, златото, паѓаат на долниот дел од слојот на пулпата, односно, се задржуваат на дното од површината преку која струи слој од пулпа (сл. 4). На овој начин, во зависност од брзината на движењето на млазот од пулпата и од големината на честичките, се врши одвојување на потешките честички на златото од полесните честички на јаловината.

Дното од коритото е обложено со влакнеста ткаенина од ленено платно преку кое протекнува пулпата. Со покривање на површината низ која протекнува пулпата од златоносна суровина, настанува вително струење на водениот млаз околу влакненцата, што помага за раздвојување на златото од јаловината.

За изведување на овој процес, се користат концентратори во вид на бесконечна лента поставена под агол од околу 60° . Површината на лентата е обложена со платно, а лентата се движи одоздола нагоре. Пулпата со златоносна руда се испушта од горниот дел на лентата, при што по слободен пад тече низ лентата, која се движи во спротивен правец. Честичките од злато се таложат на површината на лентата, каде се задржуваат на влакненцата од платното, и на тој начин, се движат кон врвот на лентата, каде со силен млаз се издвојува златото од лента. Количината на концентратот од злато што се добива на овој начин изнесува $0,5\text{-}1\%$ во однос на масата на рудата, а искористувањето на златото изнесува околу 50% . Добиениот концентрат е онечистен со оксиди од тешки метали, поради што се подложува на понатамошна преработка и рафинација за да се добие злато со задоволителна чистота.

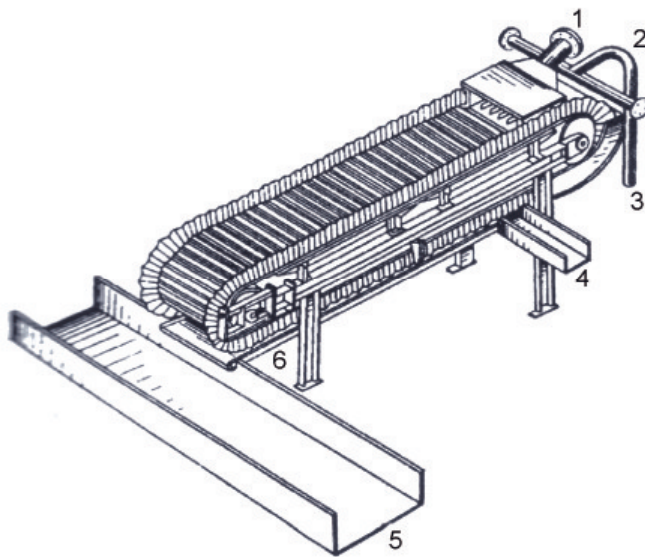
Денес, како апарати за гравитациска концентрација се применуваат: машини за исталожување, олуци со меко дно, концентрациски столови, барабанести концентратори и краткокonusни хидроциклони.

Најширока примена за гравитациска концентрација на златоносни руди имаат различните видови специјални навалени олуци и жлебови. Жлебовите се едноставни уреди изработени во облик на широки олуци со правоаголен облик кои се навалени под мал агол. Дното на олукот е покриено со специјална покривка, изработена од груба ткаенина или гумени делови.



Слика 4. Шематски приказ за распределба на продуктите од гравитациската концентрација на злато во машина за таложење.

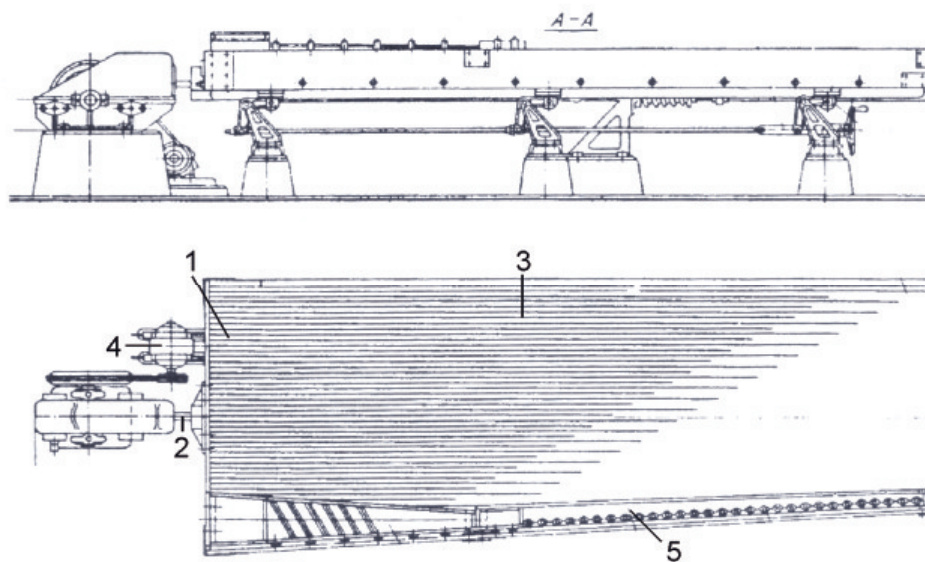
Пулпата од сомелена руда или златоносен песок влегува во горниот крај на уредот (сл. 5). Со движење преку навалената површина, доаѓа до раздвојување по специфична маса и гранулација. На површината се задржуваат главно тешките честички злато и крупните зрна лесни минерали. Вака издвоен, концентратот повремено се отстранува од површината. Основни технолошки параметри со кои се регулира работата на уредот се: должината и аголот на навлажнување, видот на покривно дно, разблажувањето на пулпата и темпото на симнување на концентрацијата од дното.



Слика 5. Жлеб во облик на бескрајна лента.
1. шаржирање, 2. олуќ за суровина, 3. довод на вода, 4. концентрат, 5. отпадок, 6. механизам за движење на лентата.

Со отстојување се добиваат сиромашни концентрати кои понатаму се третираат на клатни столови. Овој процес се состои од поделба на минералните честички по специфична маса, во тенок слој на вода. Самата површина на столот има облик на трапез. На површината на столот се прицврстени летвички. Висината

на секоја летвичка се смалува по должина на правецот, односно, кон крајот на столот. На горниот дел од столот прицврстени се олук за шаржирање и уред за распределба на водата. Материјалот што се подложува на обогатување се додава во вид на пулпа на површината на столот. Под дејство на силата на тежата, честичките остануваат на дното меѓу летвичките, каде доаѓа до раслојување во просторот меѓу летвичките, како резултат на движењето на столот (сл. 6). Надолу се тешките течности, а нагоре, покрупните и најлесните. Со движење на честичките и на водата на површината на столот, настанува распределба на честичките според гранулација и според специфична маса.



Слика 6. Распределба на продуктите од концентрацијата на површината на клатниот стол.

1. довод на шаржа, 2. довод на вода, 3. дрвени прегради (летвички), 4. механизам за вибрирање на клатниот стол, 5. зона на гравитациона распределба на минералните честички.

Основна предност на клатниот стол е што може да се добијат богати концентрати на злато со високо искористување. Може да се користи специјална конструкција на ротациони барабани.

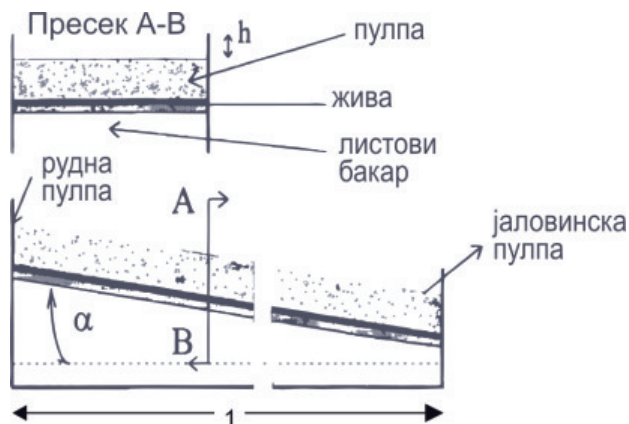
Концентратите кои се добиваат со примарна преработка на лежиштата на злато имаат 100-500 g/t злато. Овие концентрати понатаму се преработуваат во конот за концентрација според различни постапки.

1.5.3. Амалгамација

Оваа постапка за добивање злато се засновува на својството на златото да образува амалгами со живата, од кои со едноставна постапка може да се добие злато.

При процесот на амалгамација, златото и живата образуваат три соединенија: AuHg_2 , Au_2Hg и Au_3Hg . За формирање на овие соединенија, амалгами, потребен е

само краткотраен контакт на златото со живата на собна температура. Контактот на живата со златото се изведува во уреди кои претставуваат амалгатори. За да се обезбеди контакт на живата со честичките на самородното злато, во многу случаи е потребно да се изврши претходно иситнување на појдовната суровина. Доколку иситнувањето и амалгамацијата се вршат истовремено, овој вид амалгамација се нарекува внатрешна амалгамација, а во случај кога амалгамацијата се изведува по иситнувањето, овој вид амалгамација претставува надворешна амалгамација. Внатрешната амалгамација обезбедува најповолни услови за издвојување на златото. При внатрешната амалгамација постои можност живата да се иситни во ситни капки, кои лесно се оксидираат, што го отежнува контактот на златото со живата, а со тоа, и самиот процес на амалгамација. Технолошкиот процес на амалгамација е прикажан на технолошката шема (сл. 7). За процесот на амалгамација денес се користат амалгамациони столови кои претставуваат навалени површини покриени со таканаречени амалгамациони лимови од бакар.



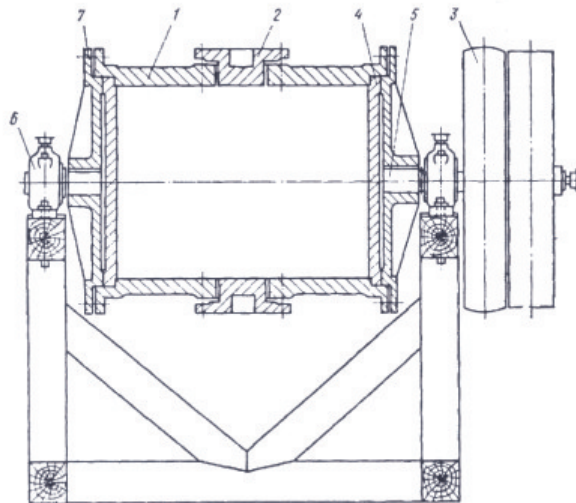
Слика 7. Шема на амалгамација.

Според оваа постапка, живата се додава во уредот, кој претставува мелница со топчиња (сл. 8). Количината жива зависи од: карактерот на рудата, содржината на злато во рудата и условите за изведување на процесот. Односот количина жива и количина златоносна руда се движи од 3:1 до 10:1. Пулпата составена од златоносна руда и вода се додава на овој стол. Честичките од златото се специфички најтешка компонента во пулпата, поради што се таложат на површината на столот. Со оглед на тоа што површината на столот е подготвена на површината од бакарниот лим, живата е апсорбирана и се формира амалгам на бакар, кој цврсто го задржува делот на неамалгамираната жива. Кога честичките од злато ќе паднат на овој слој, настанува формирање амалгам на злато, којшто останува на површината на овој лим.

Отстранувањето на амалгамот од златото од површината на бакарниот лим се врши повремено со гумени стругачи. Потоа, површината на бакарниот лим повторно се подготвува за амалгамација на нови количини злато.

Добиениот амалгам со себе носи жива, која пред понатамошната преработка на амалгамот, се отстранува од него низ еленска кожа или ленено платно. На филтерот останува цврстиот амалгам кој содржи 20-50% злато. Издвоената жива се враќа во процесот на амалгамација, а амалгамот понатаму се преработува заради добивање злато.

Добиениот амалгам се подложува на дестилација во челични реторти, при што живата сублимира и се кондензира во кондензаторот, а во ретортата, остатокот претставува златото. Издвоената жива се враќа во процесот на амалгамација, а добиеното злато се рафинира заради добивање злато со висока чистота.



Слика 8. Мелница со топчиња како уред за амалгамација.
1. цилиндар, 2. затворац, 3. преносник, 4. бочни страни, 5. полуоска,
6. лежишта, 7. прирабници

Првиот степен на рафинација се врши веднаш по дестилацијата, на тој начин што се топи со додавање топители за издвојување на примесите во вид на троска, а добиениот растоп се лее во аноди, кои се подложуваат на електролитичка рафинација. На тој начин, се добива таканаречено банковно злато со чистота од 99,9%. Оваа операција е ефикасна само за оние суровини кои во себе содржат крупни честички злато, меѓутоа, суровини од овој вид има сè помалку, при што амалгамацијата сè поретко се користи како постапка за добивање злато.

1.6. Хидрометалуршки постапки за добивање злато

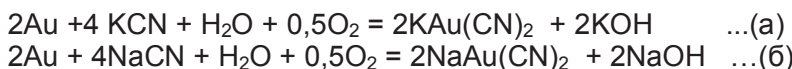
1.6.1. Добивање злато и сребро со цијанизација

Добивањето злато и сребро од руда со процесот на цијанизација го патентирале во 1887 година Џ. Макартур и Р. Форест. Првата постројка за добивање злато и сребро е отворена во Нов Зеланд во 1889 година. Многу порано, уште во XVIII век било познато дека златото се раствора во калиумцијанид, а го користеле златарите при изработка на накит. Научникот Р. Шели укажал на способноста на растворите од алкални цијаниди да го раствораат металното злато.

Процесот на цијанизација на злато и на сребро, во времето кога била воведена индустриска употреба, бил најмногу применуван процес. До крајот на шеесеттите години од минатиот век, овој процес претрпел мали измени во однос на

првобитното решение, првенствено, во апаратурното решение за раздвојување на цврстата од течната фаза. Воведувањето на процесот во широка индустриска употреба кон крајот на XIX век резултирало со исцрпување на богатите наоѓалишта.

Цијанизацијата се заснова на растворливоста на златото во цијанидни соли. Според оваа постапка, златоносната руда се лужи со цијаниден раствор, при што најчесто се користат калиумцијанид и натриумцијанид. Во текот на лужењето се одвиваат следниве реакции:



Во текот на лужењето, златото преминува во раствор во облик на комплексна сол, злато-калиумцијанид, при што за одвивање на оваа реакција, потребен е кислород, кој се обезбедува со довод на воздух за мешање на пулпата. Крупната златоносна руда се лужи перколационо, односно, континуирано лужење во колона, а ситната, агитационо, при што освен механичко мешање на пулпата, се користи и мешање со воздух за да се обезбеди потребната количина кислород за одвивање на реакцијата на растворање на златото.

Процесот на цијанизација главно се врши на тој начин што пулпата континуирано се пропушта низ неколку уреди за лужење, а задржувањето на пулпата во уредот за лужење е во доволен временски период за одвивање на реакцијата за растворање на златото.

Златото се издвојува од цијанидните раствори во процесот на цементација со цинк или алуминиум. При овој процес се одвива следнава реакција:



Истиот хемизам наведен според реакциите а, б и в се применува и за растворање на среброто со цијаниден раствор и негово таложење со цинк или алуминиум.

Во текот на одвивањето на процесот на цементација, концентрацијата на златото во растворот се намалува, а растворливоста на исталоженото злато и сребро се зголемува. За да се спречи дополнително растворање на исталоженото злато, пред цементацијата се врши дополнително растворање на исталоженото злато. За да се изврши дезоксидација на растворот, односно, отстранување на присутниот кислород во растворот, цементацијата се изведува во затворени уреди под вакуум.

По цементацијата, добиената пулпа се филтрира, при што се добива талог кој содржи 20-50% злато и сребро. Со оглед на тоа што во талогот е присутна значителна количина цинк, тој се раствора во раствор на сулфурна киселина, при што златото и среброто остануваат нерастворени. Добиеениот талог се топи со додаток на топители: калциумфлуорид, боракс, кварц, натриумкарбонат, при што на површината се формира троска, а на дното е растопот на злато. По отстранување на троската, златото се лее во аноди, и во тој случај, легурата на злато и сребро се вика доре метал.

1.6.2. Однесување на придружните метали при цијанизација на златото

Минералошкиот состав на златоносната руда е различен. При реагирање со цијаниден раствор, присутни се релативно инертни минерали, како: кварц, силикати, алуминиумоксид и минерали кои активно реагираат со цијанидот и со растворениот

кислород. Изведувањето на реакциите со придружните метали ја зголемува потрошувачката на реагенси и го забавува процесот на растворање на златото. Овие реакции покажуваат и други тешкотии, при што најголемо влијание при растворањето со цијаниди покажуваат минералите на: железото, бакарот, антимонот и арсенот. Минералите на железото се присутни во златоносните руди како оксидни минерали, Fe_2O_3 , Fe_3O_4 , потоа пиритот, и покажуваат значително влијание врз процесот и може да предизвикаат несакани последици. Во овој случај, многу е битно и присуството на пиротин (FeS). Присуство на пиротинот влијае на зголемувањето на потрошувачката на цијанид и го смалува искористувањето на златото. За да се спречат несаканите ефекти од оксидацијата на сулфидите на железото, потребно е да се преземат следниве мерки:

- аерација на базниот раствор пред цијанизација,
- интензивна аерација при процесот на цијанизација и
- воведување оловен оксид во пулпата и некои други соли на оловото.

Според овие реакции, интензивната аерација придонесува за зголемување на концентрацијата на кислородот, односно, смалување на потрошувачката на цијанид.

Цијанидното лужење може да се изведува со агитационо и со перколационо лужење. Агитационото лужење се користи за претретман на прекривката и за регенерирање на јаловиштето. Перколационото лужење се спроведувало до 70-тите години од XX век заради намалување на трошоците за добивање злато. Перколационото лужење трае 60-90 дена, а агитационото се завршува за 24 часа и ги има следниве предности во однос на агитационото лужење:

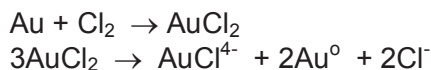
- процесот се изведува при гранулација на зрното до 2mm,
- перколационото лужење се изведува без претходна сепарација на цврстата од течната фаза.

1.6.3. Примена на нецијанидни раствори

Користење на тиоуреа за лужење благородни метали покажува можност за примена во металуршката индустрија. Денес постојат неколку постројки во Австралија и во Кина. Лужењето на куп се изведува така што шаржата да биде порозна. Главна предност на тиоуреата е ниската токсичност. Користењето тиоуреа за растворање на злато од претходно оксидирани сулфидни минерали се покажало како атрактивна нетоксична технологија.

1.6.4. Примена на раствори на халогени елементи

Растворањето на злато со хлор е познато неколку векови. Златото се раствора во присуство на хлорни јони според реакциите:



Како реагенси се користат: азотна киселина, царска вода и хлорна киселина.

1.6.5. Апсорпција со активен јаглен

Позната е способноста на активниот јаглен да ги апсорбира благородните метали злато и сребро. Технолошкиот процес се состои најпрвин од жарење на

јагленот на температура од 300 до 400°C, па се отстрануваат испарливите материи за да се добие порозна структура, а потоа се загрева на 900-1100°C во атмосфера на сулфурен двооксид или водена пара. Така, се добива активен јаглен со порозна структура. Раствореното злато со примеси се пропушта низ колони во кои има гранули активен јаглен. Јагленот се пренесува од колона во колона во спротивен правец од движењето на растворот. Заситениот јаглен содржи 2-5kg/t злато. Златото оди на понатамошна преработка која се изведува на два начина:

- со согорување на јагленот со претопување на добиената прав,
- со елуирање на благородните метали со различни раствори.

Елуирањето како постапка сè повеќе се применува бидејќи е овозможен поврат на јагленот во процесот на адсорпција. Како раствори за елуирање се користат: врел раствор на алкални цијаниди, воден раствор на натриумсулфид, базни раствори и др. Процесот се изведува на температура од 85°C.

1.6.6. Добивање злато како меѓупроизвод при рафинација на олово

Благородните метали злато и сребро, во текот на пирометалуршката преработка, преминуваат во сурово олово. При рафинацијата на суровото олово, по отстранување на: бакарот, калајот, арсенот и антимонот, се врши одвојување на златото и на среброто.

Овој процес се врши на тој начин што во суровото олово се додава цинк, кој со присутното злато и сребро формираат соединенија кои испливуваат на површината на оловото образувајќи таканаречена сребрена пена. Пената се отстранува од површината и оди на понатамошна преработка заради добивање злато и сребро. Постапката е позната како Паркесова постапка.

Добиената сребрена пена, освен благородните метали, во себе содржи олово и цинк, кои треба да се отстранат во текот на преработката на овој меѓупроизвод.

Најпрвин се врши отстранување на цинкот со дестилационо топење, а остатокот од дестилацијата претставува легура злато-сребро-олово.

Преработката на легурата злато-сребро-олово се врши со постапка наречена купелација која се состои од топење на оваа легура на подот од пламената печка во оксидациона атмосфера. Во овој случај, настанува оксидација на оловото до оловен оксид или таканаречена оловна глеѓ која испливува на површината на растопот. Бидејќи златото и среброто добро се раствораат во металното олово, а не се раствораат во оловниот оксид, доаѓа до концентрирање на легура злато-сребро, во таканаречен доре метал на дното од пламената печка. Овој растоп, односно, легура на злато-сребро се испушта и се лие во профили кои одат на преработка заради добивање злато и сребро.

1.6.7. Добивање злато од аноден мил добиен при електролитичка рафинација на бакар

Благородните метали злато и сребро, во текот на пирометалуршката преработка на бакарниот концентрат, се концентрираат во сите фази од преработката на металниот бакар до електролитичката рафинација, кога од анодата се таложат во анодниот мил. Анодниот мил од електролитичката рафинација на бакарот, освен благородните метали злато и сребро, во себе содржи бакар, селен и телур, кои исто така, се добиваат со преработка на овој меѓупроизвод од металургијата на бакарот. Добиениот аноден мил најпрво се подложува на

отстранување на бакарот, односно, одбакарување, со растворање со сулфурна киселина, а селенот и телурот се отстрануваат пирометалуршки со претопување на талогот кој содржи и неметални примеси, како силициумдвооксид и алуминиумоксид. Овој остаток се топи со додавање топители, како: боракс, натриум карбонат или натриум пероксид, со цел примесите, кои испливуваат на површината, да се отстранат како троска. Со отстранување на троската, во металниот остаток се концентрирани златото и среброто, односно, таканаречениот доре метал кој се користи како појдовна суровина за добивање злато, сребро и други благородни метали, како платина и паладиум.

1.6.8. Афинација на златото и на среброто

Под поимот афинација се подразбира пречистување на благородните метали злато и сребро од примесите и нивно меѓусебно раздвојување. На афинација се подложуваат: сурови метали, талози од цијанизација, производи од амалгамација, доре метал добиен со преработка на сребрена пена при рафинација на оловото или со преработка на анодниот мил и при електролитичка рафинација на бакарот.

Доколку тие се појдовни суровини, кои не претставуваат доре метал од металургијата на бакарот или металургијата на оловото, претходно се претопуваат заради добивање компактен производ кој по својот состав најчесто претставува легура на сребро-злато, односно, доре метал.

Раздвојувањето на златото и среброто од доре металот може да се изврши според следниве постапки:

- хлорирање,
- растворање со концентрирана сулфурна киселина и
- електролиза.

Хлорирањето претставува постапка според која во растоп од доре метал се додава определен хлорид, при што се образува сребрен хлорид, кој испливува на површината, а во растопот останува златото. Троската оди на преработка заради добивање сребро.

Растворањето со сулфурна киселина претставува постапка во која доре металот се раствора со концентрирана сулфурна киселина, при што среброто и другите примеси преминуваат во раствор, а златото останува во талогот. Со оваа постапка се врши грубо одвојување на среброто од златото.

Електролизата е постапка која најчесто се користи за раздвојување на златото од сребро. Во текот на електролизата, среброто и неблагородните метали преминуваат во раствор, а златото од анодата оди во анодниот мил. Добиениот аноден мил се раствора во сулфурна киселина, при што се раствора преостанатото сребро, а остатокот се лие во аноди кои се користат како појдовни суровини за добивање електролитички чисто злато. Како катода се користат тенки листови од злато, а електролит е AuCl_3 . По завршувањето на електролитичката рафинација, добиеното злато се лее во прачки со определена маса и димензии и се чува во трезор на Народната банка.

1.6.9. Добивање злато од златарски отпад

Златарската индустрија е главен потрошувач на злато и претставува 80% од вкупното произведено злато. Генерално, во златарниците се образуваат три вида златен отпад и тоа:

1. Отпад од миене раце, кој претставува отпад кој настанува при миенето на рацете на операторите. Тука има околу 40% од отпадот кој содржи 2-3% злато.

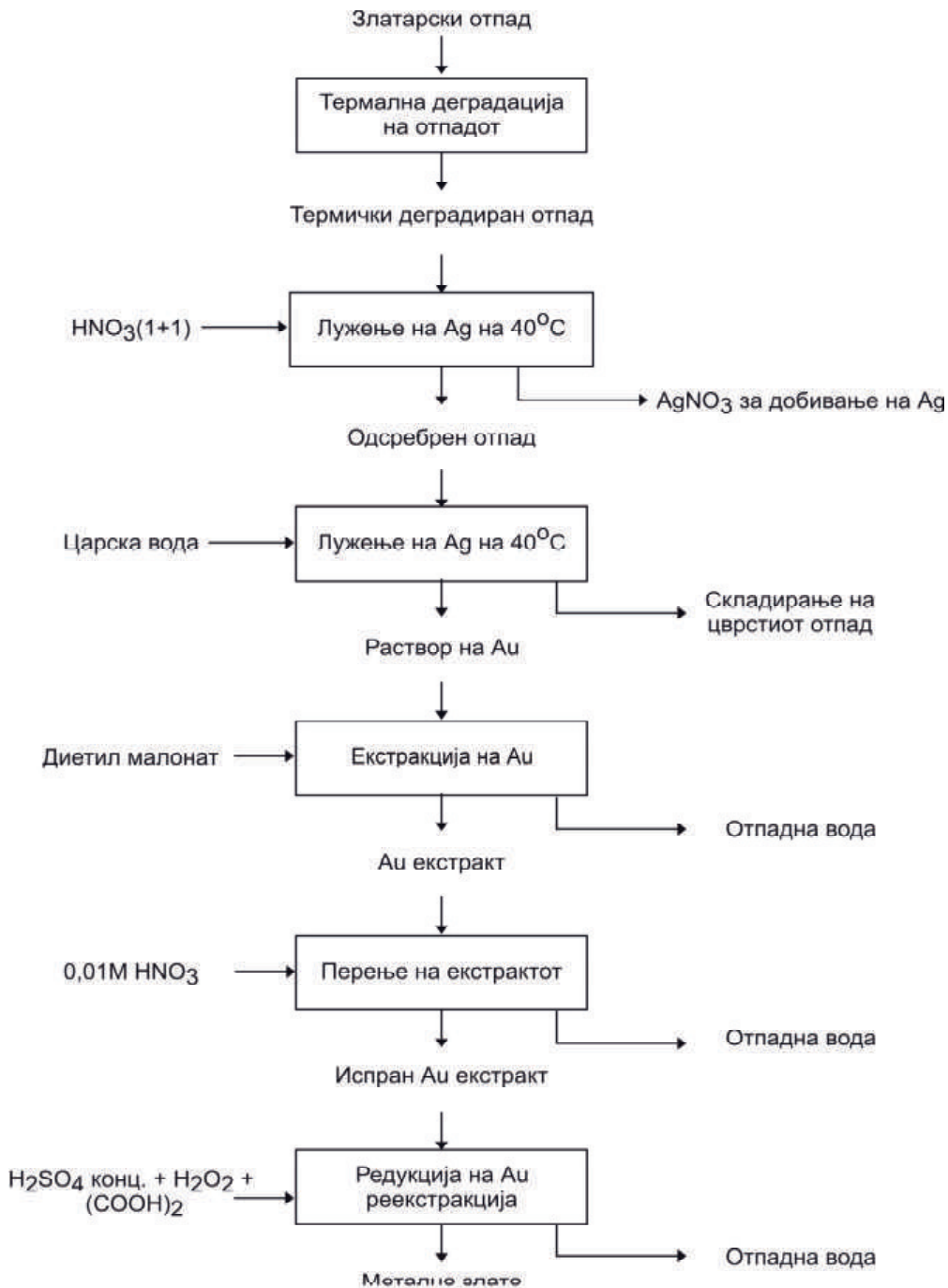
2. Отпад од полирање, кој настанува при чистење и при полирање на златото, кое останува на полирните материјали (шмиргла), абразивни пасти, или како метална прав. Тука влегуваат околу 25% од вкупното злато за накит, и средната содржина на злато изнесува околу 5,34%.

3. Отпад од чистење под, кој е 33% од вкупниот отпад во златарските работилници.

Процесот на добивање злато од овој вид отпад ги опфаќа следниве операции:

1. нискотемпературна карбонизација и жарење;
2. прв степен на лужење со раствор на азотна киселина;
3. втор степен со царска вода;
4. селективна солвент екстракција на злато;
5. сепарација на метално злато од органската фаза со редукција.

Шематскиот приказ на постапката за екстракција на златото од отпад од накит е прикажан на сл. 9.



Слика 9. Технолошка шема за добивање злато од отпадно злато од накит.

Отпадот се внесува во печка и се загрева на температура до 800°C за време од 4-5 часа. Потоа се лужи со азотна киселина при концентрација на киселината 8M (1:10), на температура 40-50°C и време на мешање седум часа. Се добива растворено злато кое се пречистува од примеси со течна екстракција со $C_7H_{12}O_4$. Златото од екстрактот се одвојува со редукција со феросулфат. Чистотата на добиеното злато е 99,99%

Прашања

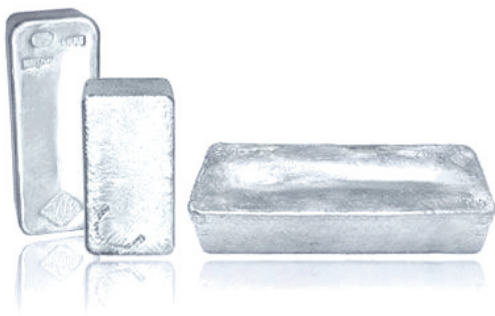
1. Кои се карактеристични особини на златото?
2. Кои постапки се применуваат за добивање злато?
3. Како се добива злато со гравитациска концентрација на златоносни суровини?
4. Опиши ја постапката за добивање злато со амалгамација.
5. Кои хидрометалуршки постапки се применуваат за добивање злато?
6. Како се добива доре метал (злато-сребро) со цијанидна постапка?
7. Како се добива доре метал (злато-сребро) од оловни и од бакарни руди?
8. Што претставува процесот на афинација?
9. Како се добива злато од златарски отпад?

2. МЕТАЛУРГИЈА НА СРЕБРОТО

2.1. Вовед

Човекот го познава среброто уште од пред неколку илјади години, а во Европа и во Египет се употребувало уште во средниот век. Среброто е метал со сребреникавобела боја, доста е меко и лесно се извлекуваат тенки листови. Среброто лесно се раствора во концентрирана сулфурна киселина и во азотна киселина. Среброто најмногу се применува во електрониката, за накит и за изработка на легури со повеќе метали.

Среброто, освен во среброносни руди, се концентрира и во оловно-цинковни руди. Наоѓалишта на сребро има во: Русија, САД, Јужна Африка и Австралија. Покрај оловно-цинковите руди, среброто се концентрира и во бакарните руди од кои се добива заедно со златото. Се употребува за изработка на накит и за изработка на легури со повеќе метали.



Слика 10. Метално сребро.

2.2. Руди и минерали на среброто

Самородно сребро тешко се среќава во природата; главно како примеса на бакарот и на оловото. Најкарактеристични минерали на среброто се: аргентитот (сл. 11), пираргиритот, проуститот, стефанитот, полибазитите и др. Сепак, најголема количина сребро се добива од сулфидните руди на оловото и на цинкот (50%), од

сулфидните руди на бакарот (30%), а само околу 20% сребро се добиваат од сребрени руди.



Слика 11. Минерал на сребро (аргентит – Ag_2S).

Табела 4. Физички особини на златото и на среброто.

Особини	Au	Ag
Атомски број	79	47
Атомска маса (g)	196,967	107,868
Густина (при 20°C), g/cm ³	19,32	10,49
Тип на кристалната решетка	Површински центрирана кубна решетка	
Меѓуатомско растојание, nm	0,40786	0,40862
Атомски радиус, nm	0,144	0,144
Температура на топење, °C	1064,4	960,5
Температура на вриење, °C	2880	2200
Топлотен капацитет (на 25°C), J/molK	25,2	25,4
Топлина на топење, kJ/mol	12,5	11,3
Топлина на испарување, kJ/mol	368	285
Топлинска спроводливост (на 25°C), W/mK	315	433
Специфичен електричен отпор (на 25°C), $\mu\Omega\text{cm}$	2,42	1,61
Мосова тврдина (дијамант=10)	2,5	2,7

2.3. Добивање сребро

Среброто може да се добие од неговите руди на два начина: со амалгамација и хидрометалуршки, со цијанизација. Среброто, исто така, може да се добие со посебни постапки како меѓупроизвод во металургијата на оловото и на бакарот. Среброто може да се добие според следниве постапки:

- од оловно-цинковни руди како спореден производ,
- при рафинација на бакарот од анодниот мил,
- со амалгамација и
- со хидрометалуршка постапка, односно, со лужење со цијанидни раствори.

2.3.1. Добивање сребро од оловно-цинковни руди

При рафинацијата на суровото олово според Паркесовата постапка, со додавање цинкова прав се создаваат соединенија Ag_2Zn_3 , AgZn , кои испливуваат на површината. Овој меѓупроизвод се вика сребрена пена која содржи: сребро, злато, потоа олово, цинк и бизмут, како примеси. Селективното одвојување на примесите се врши во неколку операции, при што ќе се добие легура сребро-злато од која одвојувањето на среброт од златото се врши по електрохемиски или хемиски пат.

2.3.2. Добивање сребро од аноден мил при рафинација на бакар

Среброт од анодниот мил, кој се добива при електрорафинацијата на бакарот, се извлекува според следнава постапка: анодниот мил, кој претставува црн талог, се промива со H_2SO_4 , со цел присутниот бакар да се претвори во бакарен сулфат, а талогот се суши и се жари со додавање натриумкарбонат, со цел присутните неблагородни метали (арсен, антимон, бизмут и др.) да се претворат во растворлива форма; талогот повторно се пржи со додавање натриумнитрат или натриумпероксид во оксидациона средина за да се изврши отстранување на селенот и на телурот, кои испливуваат на површината во вид на троска. Остатокот претставува легура сребро-злато од која со електролиза се добиваат сребро и злато.

2.3.3. Добивање сребро со амалгамација

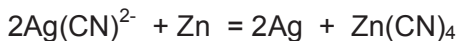
При процесот на амалагамација, среброт се однесува слично како и златото. По издвојувањето на живата, среброт, заедно со златото, остануваат во доре металот, а потоа оди на рафинација.

2.3.4. Добивање сребро со цијанизација

Кај златоносните руди што содржат сребро, во текот на нивната постапка на цијанизација, освен златото, во раствор се претвора и среброт според следниве реакции:



Добиениот раствор оди на процес на цементација со метален цинк и се добива Ag според реакцијата:



Талогот добиен со цијанизација се преработува понатаму, така што најпрво се издвојува цинкот, а добиената легура злато-сребро се лие во аноди и се подложува на електролитичка рафинација.

2.3.5. Рафинација на среброт

Среброт може да се прочисти од примесите со купелација, кога легурата сребро-злато се добива како меѓупроизвод при рафинација на оловото.

Исто така, со растворање во концентрирана сулфурна киселина, можно е да се издвои златото од среброто.

Денес, најчесто се користи електролитичката рафинација, при што се користи доре металот кој не содржи повеќе од 35% сребро. Како електролит се користи 1-3%-ен раствор на сребрен нитрат. Катодниот талог од среброто има растресита структура, при што кристалите од катодата лесно се одвојуваат и паѓаат во ќелијата.

Исталоженото сребро се вади од дното на ќелијата за електролиза и се претопува во прачки со определени димензии. Чистотата на ова сребро е 99,99%.

2.4. Добивање сребро од секундарни суровини

Рециклирањето на секундарните суровини е многу важна област во индустријата на развиените земји. Многу е значајно да се изврши категоризација на златото и на среброто според изворот, односно, потеклото.

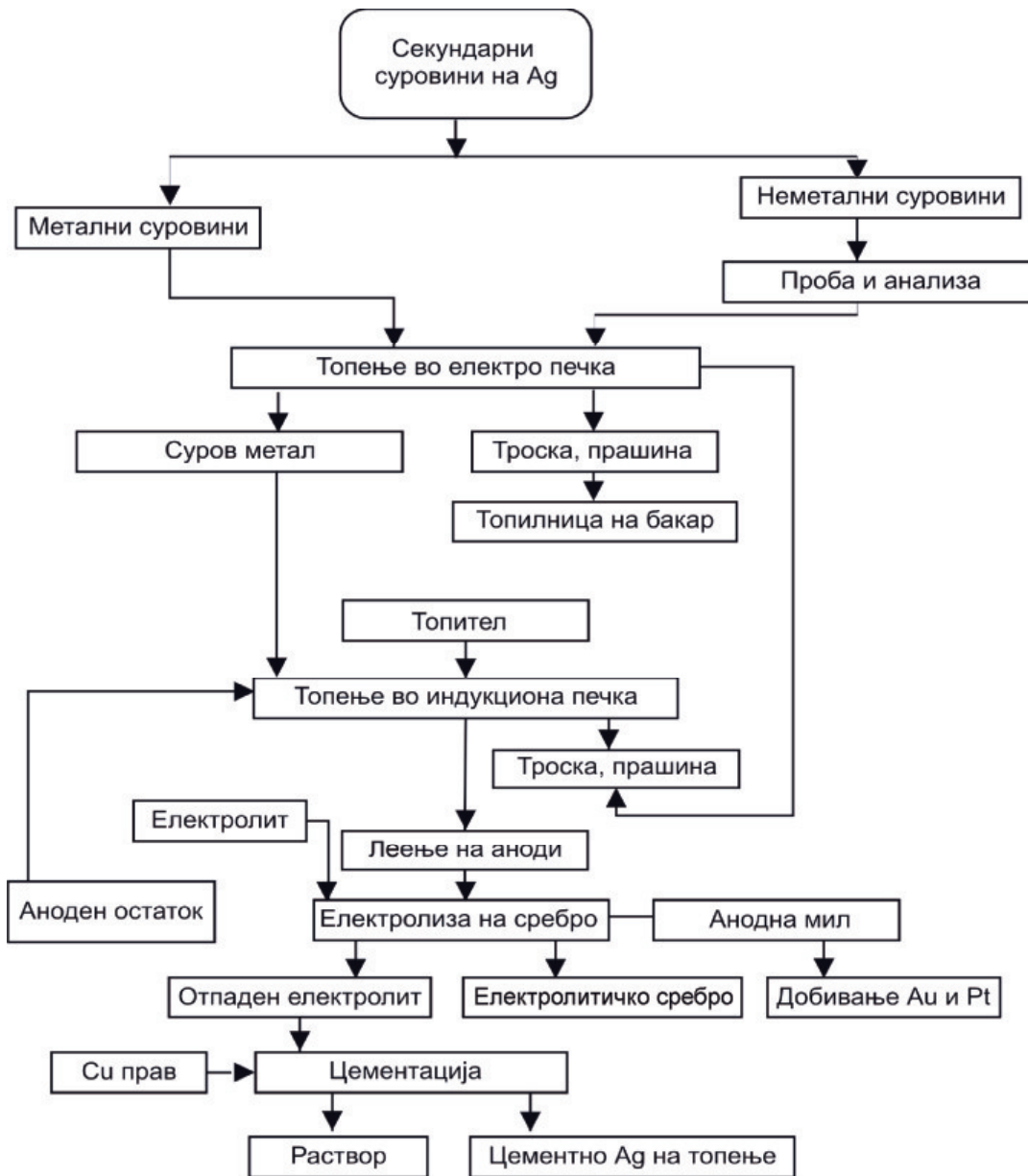
Според металите што содржат сребро, разликуваме:

1. отпад кој содржи сребро и
2. отпад кој, освен сребро, содржи и други благородни метали.

Според местото на постанок, разликуваме:

1. раствори,
2. смоли,
3. талози,
4. катализатори,
5. магнетни метални атеријали.

Основни извори на секундарни суровини за добивање сребро се: фото и кино материјали, накит и др. Овој материјал содржи сребробромид (35-66% сребро) и сребросулфид (45-65% сребро). Технолошката шема на процесот на издвојување на среброто од секундарни суровини е прикажана на сл. 12.



Слика 12. Технолошка шема за преработка на секундарно сребро.

Прашања

1. Кои постапки се применуваат за добивање сребро?
2. Кои хидрометалуршки постапки се применуваат за добивање сребро?
3. Како се добива сребро од сребрената пена добиена при рафинација на оловото?
4. Како се добива злато од анодниот мил при електролиза на бакар?
5. Опиши ја постапката за добивање сребро од секундарни суровини.

3. МЕТАЛУРГИЈА НА ПЛАТИНАТА

Платината била откриена во XVI век во Колумбија како придружен метал на среброто. Платината е метал со сивосребреникава боја, а може да се извлекува во тенки жици и ливчиња (сл. 13). Има највисока специфична маса $21,45 \text{ g/cm}^3$, температура на топење 2040°C , а температура на вриење 4080°C . Платината се раствора единствено во царска вода. Платината со хлор и со јод се соединува на собна температура, а на повисоки температури формира легури со многу метали.



Слика 13. Платина – метал.

Платината најмногу се употребува за изработка на хемиски апаратури, за електроди при електролизата и во забарската техника за изработка на вештачки заби. Платината има широка примена за изработување контактни уреди за палење на моторните возила. Електроиндустријата троши значителни количини платина за изработка на отпорници, на термоелементи и др. Денес, платината се користи за изработка на накит, потоа како катализатор при производство на сулфурна киселина, на азотна киселина и сл. Помали количини се користат во текстилната индустрија и во фармацијата.

3.1. Руди и минерали на платината

Платината се наоѓа во самородна форма, а во помали количини, врзана со сулфур или арсен во следниве минерали:

- сперулит – PtAs_2 ,
- куперит – PtS ,
- брагит – $(\text{PdPtNi})\text{S}$.

Долги години поранешниот Советски Сојуз (денешна Русија) беше најголем производител на платина во светот бидејќи се користел наносот од некои реки во Уралската област, каде платината била концентрирана околу 75g/t . Денес се користат наноси кои содржат само 1 g/t платина.

Во Канада се наоѓаат бакар-никелови руди што содржат доста платина која се добива со преработка на анодниот мил при електролиза на никелот.

Денес, најголеми производители на платина во светот се: Канада, Русија, САД, Колумбија и др. Платината е содржана во бакарните руди, и при нејзиното добивање, се концентрира во анодниот мил при електроличката рафинација на бакарот.



Слика 14. Минерал на платина.

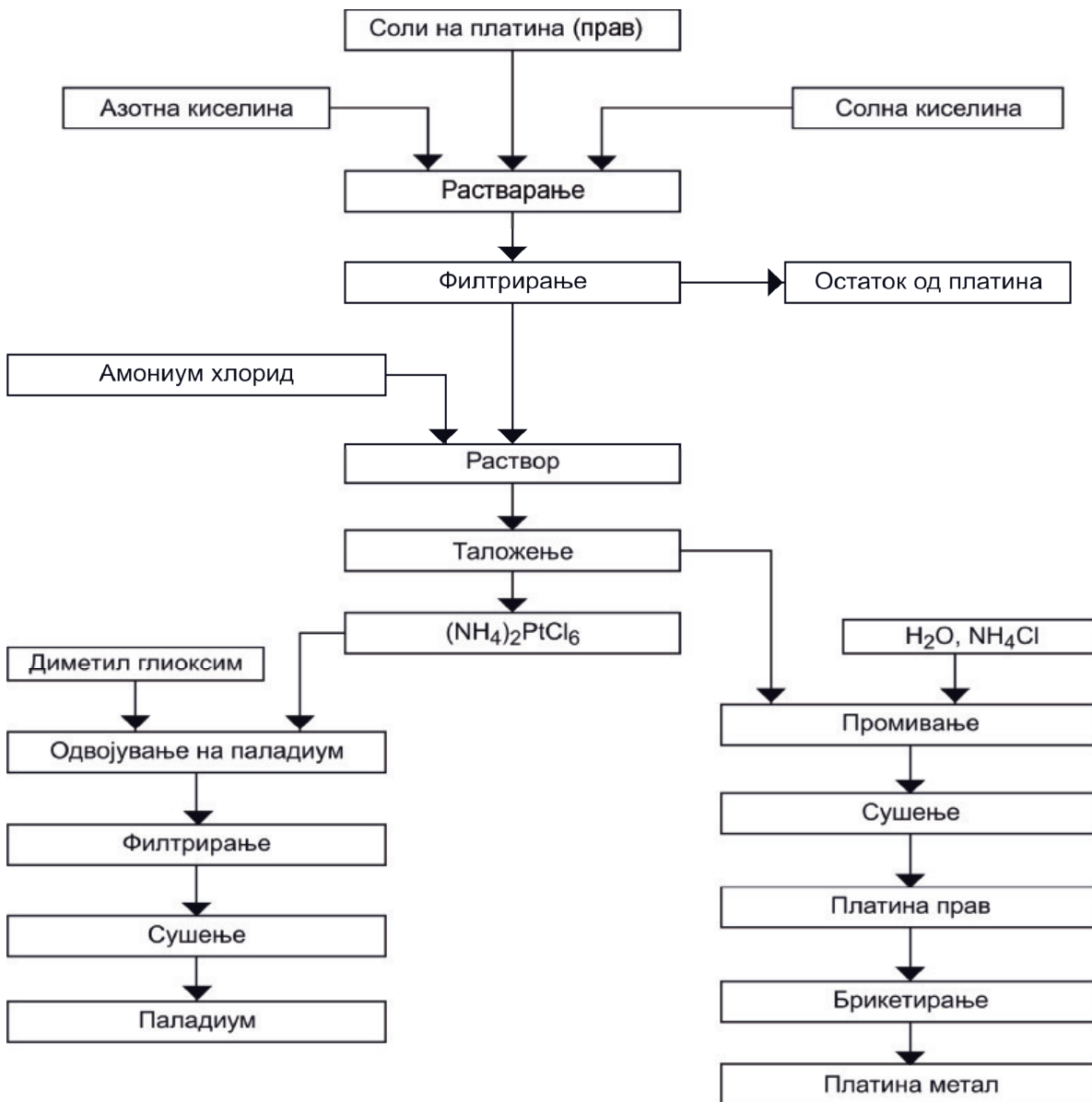
3.2. Добивање платина од платински метали

Платината од речните наноси се добива со промивање на песоците, при што платината и златото, како материјали со висока специфична маса, се таложат во коритата каде што се врши промивање. Добиениот производ се подложува на амалагамација заради издвојување на златото, а остатокот од амалагамација претставува сурова платина. Во суровата платина најчесто се концентрираат и останатите платински метали

Добиената сурова платина се раствора во царска вода, при што во раствор преминуваат: платината, паладиумот, златото, среброто и еден дел од неблагородните метали. Потоа, азотната киселина и дел од солната киселина се отстрануваат од растворот со испарување, а пулпата се филтрира, при што еден дел од среброто ќе се исталожи како сребрен хлорид. Одвоениот филтрат содржи платина. Во овој филтрат се додава амониумхлорид, при што се добива талог наречен платински салмијак $(\text{NH}_4)_2\text{PtCl}_6$. Овој талог се жари на температура $1000\text{--}1100^\circ\text{C}$, при што се добива платински сунѓер.

Чиста платина се добива од сунѓерестата платина на различни начини. Една од постапките е сунѓерестата маса да се раствори во царска вода, а потоа во ладниот раствор се додаваат натриумхидрооксид и алкохол (сл. 15). Платиноидите преминуваат во поливалентни хлориди, а платинахлоридот останува непроменет. Од растворот, со помош на амониумхлорид, повторно се таложува платински салмијак. Оваа постапка се повторува повеќепати, и може да се добие платина со чистота $99,99\%$. Во овој случај, платинскиот салмијак со жарење преминува во сунѓереста платина, со претопување на температура од 2027°C во високофреквентна печка. Садовите за претопување на платината треба да бидат од циркониумов или

ториумов оксид. Квалитетот на платината се означува на следниов начин: технички чиста платина, 99,5% Pt; хемиски чиста платина, минимум 99,90% Pt и физички чиста платина 99,99% Pt.

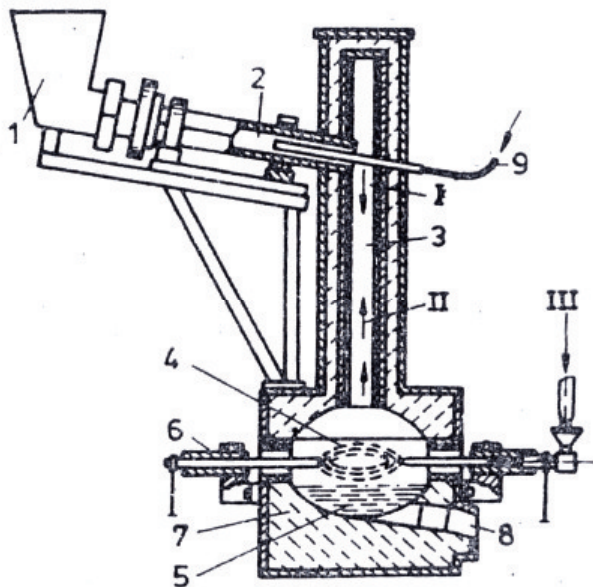


Слика 15. Технолошка шема за добивање платина и паладиум.

3.3. Примена на плазмена технологија за добивање платина

Во последнава деценија, плазмената технологија наоѓа примена во екстрактивната металургија на обоените и на ретките метали. Со примена на плазма, се постигнуваат висок степен на јонизација до 15% и температура 10^3 - 10^5 °C. Редукционите процеси во присуство на плазма се одвиваат со брзина осумпати поголема во однос на редукцијата со јаглерод. Редукцијата се одвива во

плазмен реактор, каде со зголемена брзина на процесот се обезбедува доволно време за контакт меѓу реактантите. Процесот се одвива на таков начин што во реакторот е инсталиран плазматрон. Редукционен гас (водород-аргон) се вдувува низ плазматронот (сл. 16) во огништето на печката. Дисперзирана суровина од платинска руда се внесува низ вертикална цилиндрична комора која се поставува на плазматронот. На тој начин се формира гасодисперзен проток кој поминувајќи низ цилиндарот, преминува во долната комора каде се врши раслојување на металната платина од примесите. Одвојувањето на металната платина од примесите се врши интензивно. За изведување на процесот, се користи суровина со гранулација 35-50 μ m како резултат на големата брзина на процесот и на високата температура на плазмата (2300 $^{\circ}$ C).



Слика 16. Циклонски плазмен реактор за екстракција на платина.

1. бункер за шаржа, 2. ротациона печка, 3. шаржа во плазмениот реактор, 4. плазмена зона, 5. зона на огниште, 6. плазматрони, 7. облога, 8. отвор за испуштање на металот и на троската, 9. дувалка за довод на воздух.

3.4. Добивање паладиум од секундарни суровини

Платинските метали (платина и паладиум) се добиваат од отпадни катализатори во хемиската и во нафтената индустрија. Основна компонента во состав на катализаторите е алуминиумтриоксидот. Во составот на катализаторите се присутни се платината и паладиумот од 0,05-1%.

Паладиумот се добива од овие катализатори според следниве постапки:

- со растворање на алуминиумтриоксидот и добивање концентрат на благородни метали,
- со растворање на благородните метали и добивање платина и паладиум.

Процесот може да се изведе на неколку начини:

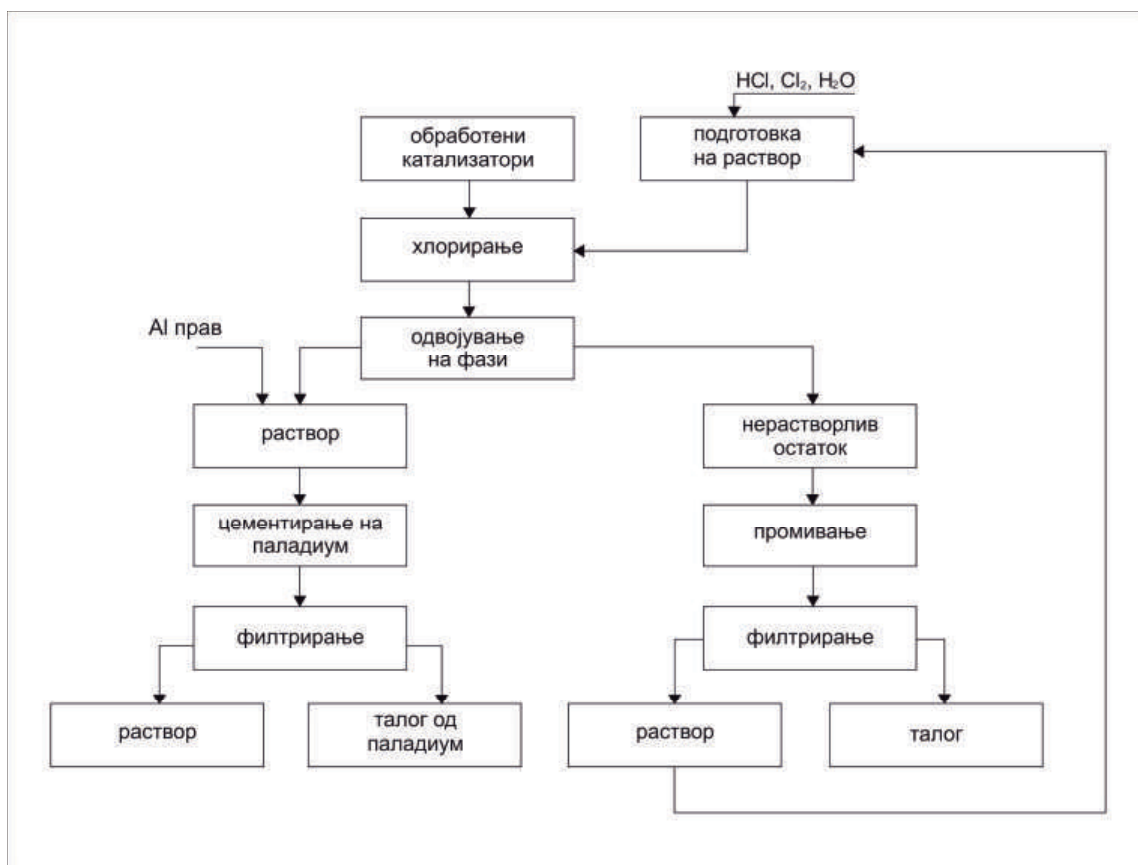
- Со претходно сулфатизационо пржење на материјал (платина-паладиум) со сулфурна киселина на температура од 200 до 210°C. Добиениот нерастворлив остаток содржи 4,6-4,8% (Pt-Pd). Со повторно растворање од Pt-Pd се добива платинов концентрат со 7-8% Pt-Pd.
- Со растворање на алуминиумтриоксидот со криолит на температура 980-990°C. Според оваа постапка, алуминиумот се заситува со Pt-Pd, и на тој начин, се добива концентрат.
- Со хлорирање на катализаторите според следниве хемиски реакции:

$$\text{PdO} + 4\text{HCl} + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{H}_2(\text{PdCl}_6) + \text{H}_2\text{O}$$

$$\text{Pd} + 2\text{HCl} + 2\text{Cl}_2 \rightarrow \text{H}_2(\text{PdCl}_6)$$

$$\text{Pd} + 2\text{HCl} + 2\text{Cl}_2 + \text{H}_2(\text{PdCl}_6) \rightarrow 2 \text{H}_2(\text{PdCl}_4)$$

Паладиумот се издвојува од хлоридниот раствор со цементација со алуминиум. Технолошката шема за добивање паладиум е прикажана на сл. 17.



Слика 17. Технолошка шема за добивање паладиум од отпадни катализатори.

Процесот на издвојување паладиум од катализатори се состои од хлорирање со гасен хлор на температура 850-900°C за паладиум и 1050-1100°C за платина. Според оваа постапка, обата метала преминуваат во гасна состојба во вид на хлориди. Хлоридите оросени со солна киселина се претвораат во раствор. Понатаму

од растворот се издвојуваат паладиумот и платината по пат на цементација со алуминиумова прав.

Прашања

1. Кои се карактеристичните особини на платината?
2. Како се добиваат платина и паладиум од платинските метали?
3. Опиши ја постапката за добивање платина и паладиум од соли на платината.
4. Опиши ја плазмената технологија за добивање платина.
5. Опиши го процесот на добивање платина и паладиум од отпадни катализатори.

4. Прилог

Основни термини во екстрактивната металургија на железото, на челикот и на обоените метали користени во учебникот

Агломерација – окрупнување на ситни руди и концентрати и спечување, со цел добивање на крупнозрнест производ (агломерат).

Брикетирање – процес на окрупнување во металургијата, при што се добиваат брикети со правилна и еднообразна структура.

Гас – продукт добиен при одвивање на определен процес во металургијата: коксов при согорување јаглен; конверторски при производство на челик.

Гранулација – процес на окрупнување на суровина за добивање гранули (зрна).

Десулфурација – отстранување на сулфур при пржење сулфидни руди.

Конвертор – металуршки агрегат за добивање челик од сурово железо.

Сурово железо – легура на железо со јаглерод (над 2,4%С).

Копје – вертикална цевка за вдувување кислород при добивање челик и бакар.

Кондензатор – печка за ладење на металите (цинк и кадмиум) од гасна, во течна состојба.

Ликвација – одвојување на цинкот од оловото и од железото според разликата во специфичната маса.

Дрос – сина прав од цинкови и оловни оксиди добиена при кондензација на цинковите пари според ISP процесот.

Ректификациона колона (цинкова) – осидана печка за одвојување на цинкот од железото, од оловото, од бакарот според разликата во температурата на испарување.

Ректификациона колона (кадмиумова) – осидана печка за одвојување на цинкот од кадмиумот според разликата во температурата на испарување.

Мил – талог од нерастворливи соединенија при електролитичкото добивање бакар.

Лужење – растворање на руда или концентрат со кисели или базни реагенси.

Пулпа – згусната смеса од сомелена руда и раствор.

Цементација – таложење на електропозитивни метали од раствор со додаток на електронегативни метали во прав.

Жакети – бакарни цевки околу сидовите на печката кои служат за ладење со вода при топењето во металургијата на обоените метали.

Бакаренец – сулфиди на бакар и на железо добиени како растоп во пламена печка.

Каменец – сулфиди на бакарот, на оловото и на железото добиени како растоп во шахтна печка.

Амалгамација – одвојување на злато и на сребро со жива.

Афинација – прочистување на златото и на среброт од примеси.

Доре метал – легура на злато и сребро.

Шликер – меѓупроизвод добиен при рафинација на оловото.

Шпајза – антимонови и арсенови соли издвоени при рафинација на оловото

5. ЛИТЕРАТУРА

1. W.G.Daven, M. King, Metallurgy of copper, Elsevier Science LTD, Kindligston, Oxford. U.K. 2002
2. George Leslie, Virgil Miller, Smelting of the lead blast furnace, United States, Buro of Mines, 1993
3. Habashi F, An introduction to Extractive metallurgy, Laval University, Quebec City Canada 2003
4. F.Habashi, Kinetics of metallurgical processes, Gordon Breach Science Publishers Quebec Canada 1980
5. Bodswort, E. H.Bell. Physical Chemistry of iron and Steel Manufacture, L.Londman, 1972
- Pehlke, R. B.O.F. Steelmaking, New York, AIME, 1985
6. V.A.Beljaev, Metalurgija leghih matallov, Metalurgija, Moskva, 1978
7. Б.Божик, Металургија на железо, ТМФ- Белград, 1972
8. Н.Начевски, Металургија на обоени метали, основен учебник, Универзитет Св.Кирил и Методиј, 1990 година
9. Н.Начевски, Металургија на железо, учебник III година средно насочено образование, Просветно дело 1989,
10. Н.Начевски, Металургија на обоени метали, учебник средно насочено образование III, Просветно дело 1990 год.
11. З.Камберовиќ, Д.Синадиновиќ, Металургија на злато и сребро, Т.М.Ф., Белград 2007
12. Tromans D., Hydrometallurgy, 48, 198, 327-342
13. Syed S. Sharma L.M.Syed A.A. Clean technology for recovery of silver and gold, Hydrometallurgy, 2002, 633
14. Habashi F. Principles of Extractive Metallurgy vol.1, General Principles, Gordon and Breach, New York, 1979
15. Bodswortc.H.Bell Physical chemistry of iron and Steel Manufacture, London, 1972
16. Avramov Avram, Metalurgija na zelezo Tehnika, Sofija 1994
17. Biswas A. A., and Davenport W.G. Extractive metallurgy of copper 3 ed. Elsevier Science, Press, New York, 1994

18. Pehlke, R. В.О.Ф. Steelmaking, New York, АИМЕ, 1985
19. J.H. Mc. Refractorines of certain gold ores to cyanidation: probable causes and possible solutions, Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review, Vol.2, 1987, 331-354

19. Lorenzen L., van Deventer J.S.J, Inter.Journal of Mineral Processing, 41, 1994, T-15

20. Б.Божик, Металургија на железо и челик, ТМФ – Белград, 1962

21. Е.Вегман, Ф.Жеребин, С.Клемперт, Металургија чугуна, Москва, Металургија, 1969

