

В. Л. Пахаренко, М.М. Марчук

**Матеріалознавство та технологія
конструкційних матеріалів
(металургія, ливарне виробництво)**

Рівне 2009

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**Національний університет водного господарства та
природокористування**

В. Л. Пахаренко, М.М. Марчук

**Матеріалознавство та технологія
конструкційних матеріалів
(металургія, ливарне виробництво)**

Навчальний посібник

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки України
як навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів*

Рівне-2009

УДК 669(075.8)

ББК 34.3 я 7

П 21

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки України.
(Лист №14/18-Г-500 від 22.02.2008 р.)*

Рецензенти: **Кравець С. В.**, д-р.тех.наук, професор, завідувач кафедри будівельних, дорожніх, меліоративних машин і обладнання НУВГП;

Василенко І.І., д-р.тех.наук, професор кафедри технології металів, метрології, стандартизації і сертифікації, Львівського державного аграрного університету;

Дідух В. Л., д-р.тех.наук, професор, директор ННВ Луцького інституту непервного навчання.

Пахаренко В. Л., Марчук М.М

П 21 матеріалознавство та технологія конструкційних матеріалів (металургія, ливарне виробництво): Навчальний посібник.-Рівне: НУВГП, 2009,-179с.:іл.

ISBN

Навчальний посібник написано у відповідності до робочої програми дисципліни «Технологія конструкційних матеріалів» для студентів механічних спеціальностей немашинобудівних вузів. Він включає дві частини: металургія і ливарне виробництво. В першій частині висвітлені питання освоєння металів людиною, їх перші спроби отримання тих чи інших металів, та сучасні методи отримання як чорних так і кольорових металів. Окремим розділом розглянута порошкова металургія.

В другій частині розглянуті питання розвитку ливарного виробництва, основи технології. Наведені сучасні технологічні методи отримання виливок із чавунів, сталей і кольорових металів. Широко відображено найбільш поширений метод лиття в пісчано-глинисті форми, а також спеціальні види лиття.

Посібник відповідає затвердженій робочій програмі дисципліни „Матеріалознавство та технологія металів" та призначений для студентів вищих навчальних закладів.

Табл. 15. Іл. 86. Бібліогр: 16 назв.

ISBN...

УДК 669 (075.8)

ББК 34.3 я 7

© В. Л. Пахаренко, М.М. Марчук 2009

© Національний університет водного господарства та природокористування, 2009

Зміст

Розділ 1. Освоєння металів.....	5
1.1. Перші метали в житті людини.....	5
1.2. Бронзовий вік.....	6
1.3. Залізний вік.....	6
1.4. Освоєння інших металів.....	9
Розділ 2. Виробництво сталі і чавуну.....	10
2.1. Перші спроби промислового отримання заліза і сталі (пудлінговий метод).....	10
2.2. Бесімерівський і томасівський процес отримання сталі.....	15
2.3. Сучасні методи виплавлення чавуну.....	18
2.4. Фізико-хімічні процеси плавлення чавуна в доменній печі. Продукти доменного виробництва.....	22
Розділ 3. Сучасні методи виплавлення сталі.....	24
3.1. Загальні положення виплавлення сталі в різних печах.....	24
3.2. Виробництво сталі в кисневих конверторах.....	27
3.3. Плавлення сталі в електричних печах.....	29
3.4. Виплавлення сталі в мартенівських печах.....	32
3.5. Технологічний шлях від чавуна і лому до сталі.....	34
3.6. Пряме відновлення заліза із руд.....	38
3.7. Вакуумно-дуговий переплав (ВДП).....	41
3.8. Електрошлаковий переплав сталі.....	43
3.9. Застосування сталей та чавунів.....	45
Розділ 4. Виробництво кольорових металів.....	55
4.1. Виробництво міді.....	55
4.2. Виробництво алюмінію.....	60
4.3. Виробництво магнію.....	66
4.4. Виробництво титану.....	70
4.5. Виробництво нікелю.....	75
4.6. Застосування кольорових металів та їх сплавів.....	78
Розділ 5. Порошкова металургія.....	81
5.1. Отримання і підготовка порошків.....	82
5.2. Формування порошків.....	83
5.3. Спикання і обробка спечених виробів.....	87
5.4. Пористі порошкові матеріали.....	89
5.5. Конструкційні порошкові матеріали.....	91
Розділ 6. Основи технології ливарного виробництва.....	94

6.1.	Історія розвитку ливарного виробництва.....	94
6.2.	Загальні поняття ливарного виробництва.....	96
6.3.	Ефективність використання металу при литті по зрівнянню з іншими видами обробки металів.....	97
6.4.	Усадка ливарних сплавів та припуски на механічну обробку.....	98
6.5.	Дефекти виливок.....	99
6.6.	Плавильні агрегати.....	103
Розділ 7. Ливарні властивості сплавів та їх застосування		
для виготовлення виливок.....		110
7.1.	Ливарні властивості сплавів.....	110
7.2.	Виготовлення виливок із чавунів.....	112
7.3.	Виробництво виливок із сталі.....	115
7.4.	Виробництво виливок із мідних сплавів.....	118
7.5.	Виробництво виливок із алюмінієвих сплавів.....	120
7.6.	Виробництво виливок із магнієвих, титанових і цинкових сплавів.....	122
Розділ 8. Отримання виливок в пісчано–глинистих формах.....		123
8.1.	Будова ливарної форми. Виготовлення стержнів.....	123
8.2.	Матеріали, пристрої, інструменти та обладнання для виготовлення разових форм.....	126
8.3.	Збирання форм. Плавлення сплаву і заливання форм. Вибивання форм.....	130
8.4.	Схема технологічного процесу виготовлення виливок в разових формах.....	134
8.5.	Формувальні і стержневі суміші, їх приготування та випробування.....	136
Розділ 9. Спеціальні види лиття.....		151
9.1.	Відцентрове лиття.....	151
9.2.	Лиття під тиском.....	157
9.3.	Лиття за виплавленими моделями.....	163
9.4.	Лиття в оболонкові (коркові) форми.....	170
9.5.	Лиття в металеві форми (кокілі).....	173

Освоєння металів

- 1.1. Перші метали в житті людини.
- 1.2. Бронзовий вік.
- 1.3. Залізний вік.
- 1.4. Освоєння інших металів.

1.1. Перші метали в житті людини

Метали відносяться до числа найбільш поширених матеріалів, які людина використовує для забезпечення своїх життєвих потреб. На протязі багатьох років людина оточувала себе металевими предметами домашнього вжитку, зброєю і прикрасами. Тому історію освоєння металів слід розглядати на фоні історичного розвитку людства.

Метали з'явилися в людини не зразу, вони не є результатом революційного стрибка, а з'явилися поступово на протязі перехідного періоду між кам'яним віком і віком металів.

В древньокам'яному віці (палеоліті), початок якого відділений на сотні тисяч років від нас, людина не знала металу, їй тільки траплялися шматки металу (самородки), які вона використовувала, в основному, як прикраси. Людина помітила, що на відміну від крихкого каміння, такі шматки піддаються куванню. Але про техніку обробки металів не було ще й мови. Тому можна зробити висновок: людині спочатку стало відомо золото, потім срібло, бронза і, нарешті, залізо. Правда, з золота неможливо зробити зброю, але знайомство з ним принесло людям досвід роботи з металом. Прикладом цього може бути гробниця фараона Тутанхамона, який помер в 1350 році до нашої ери. Вага лише одного саркофагу становила близько 110,4 кг золота. Важко собі уявити, що б знайшли сучасні археологи в гробницях великих фараонів, якщо б їх не пограбували.

В той час золото плавили в горнах, і майстер виливав розплавлене золото із тигля в форму, яка стояла на землі. Подача повітря до горнів виконувалася за допомогою трубок і легенів людини. Для кування металу застосовувалося каміння.

Після золота людина зустрілась з міддю, яка також знаходиться в природі у вигляді самородків. Тому зараз вчені вважають, що перед бронзовим віком йшов кам'яно-мідний. З міді виготовляли наконечники для стріл і списів. Люди відкрили, що зміцнену холодним куванням мідь знову можна зробити м'якою, якщо нагріти її на вогні. Потім люди навчились плавити мідь і виливати її в форми так, як і золото. Мідна сокира, яка була вилита у відкриту форму, була зроблена близько 4000 років до нашої ери, мідний котел, діаметром 0,5 м був знайдений в гробниці фараона Перибсена (2695-2665 рік до нашої ери). З'явилися постійні форми, в які можна багато разів розливати метал. Люди навчились паяти мідь срібним дротом.

При всіх своїх перевагах, мідь мала великий недолік: мідна зброя і інструменти, наприклад ножі, швидко затуплювалися. Навіть в холодноміцненому стані міцність, зносостійкість та інші властивості міді були настільки високі, що вони могли повністю замінити кам'яні. Вирішальний крок в цьому напрямку дозволив зробити сплав міді – бронза.

1.2. Бронзовий вік

Якщо до міді додати олово, то отримаємо сплав, який називається олов'яниста бронза. Крім неї існують і інші бронзи: свинцевиста бронза, миш'яковиста бронза, сурмиста бронза і т. ін.

Головна перевага бронзи в порівнянні з міддю полягає в кращих її ливарних властивостях, більшій твердості і міцності, а також в більшій міцності в результаті холодної деформації.

Датський знавець древньої історії Христіан Юргенс Томсон (1788-1865 рр.), основоположник Національного музею в Копенгагені, систематизував всі археологічні знахідки в хронологічному порядку і прийшов до звичного для нас ділення старовинної історії на три періоди: кам'яний вік, бронзовий вік і залізний вік.

Бронзовий вік, його металургія і металообробка зародилися в перших великих культурних центрах - в долинах річок Тигр, Євфрат і Ніл. В той час бронзу плавляли в тиглях, які нагрівали деревним вугіллям. Необхідну температуру підтримувало роздування вогнища міхами, які замінили скляні трубки. Виготовлення бронзових дверей храмів, прикрас, зброї і предметів вжитку говорять про набуті певні знання і навички металургів. Великий попит на бронзу стимулював розвиток гірничого ремесла, а також торгівлі.

1.3. Залізний вік

Можна передбачити, що перше залізо людина отримала з космосу, у вигляді метеоритів. Саме таке залізо знайдено в Єгипті, відноситься воно до IV тисячоліття до нашої ери і представляє собою намисто з прокованих смуг метеоритного заліза. Метеоритний метал легко відрізнити від заліза земного походження, тому що він має 8... 10% нікелю. Метеоритне залізо обробляли так як і мідь (при холодному куванні воно набуває необхідну форму і одночасно підвищує свою міцність і твердість). Для повернення металу м'якості його необхідно відпалити у вогні.

В ті часи залізо було оточене ореолом таємності, його називали "небесною міддю". Єгиптяни завжди зображали залізні предмети синім кольором неба. Це збереглося навіть і тоді, коли залізо почали отримувати із руд (воно почало мати земне походження).

Навіть в наші дні можна знайти ножі і наконечники, які зроблені із метеоритного заліза. Американський полярний дослідник Роберт Едвін Лірі

(1856-1970) в звіті про експедицію в Гренландію писав про зустріч з ескімосом, який привів його до великого метеориту, поблизу мису Йорк. Метеорит сторіччями слугував ескімосам джерелом матеріалу для виготовлення зброї і інструментів. Вони просто відбивали від нього куски і без всякого нагрівання надавали йому необхідної форми куванням. Залізний метеорит важив біля 37 тон.

В II тисячолітті до нашої ери залізо було в 15-20 разів дорожчим за мідь. Поступово ціна на нього падала. Залізо не витіснило бронзу. Один із ассирійських царів, який жив три тисячі років тому, славився своїми залізними скарбами, які були для нього дорожчими золота.

Спочатку цей метал представляв собою ковке залізо, чи дуже м'яку сталь (сталь - залізо з малою кількістю вуглецю). Ковке залізо отримували в сиродувних горнах (рис. 1.1)

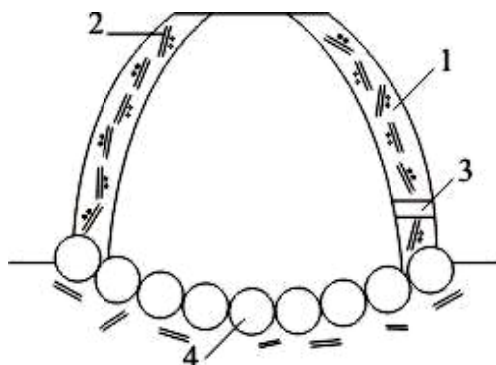


Рис. 1.1. Сиродувний горн

1 - шахта; 2 - дерев'яні жердини; 3 - повітряний канал; 4 - каміння

З технологією сиродувного процесу можна ознайомитися по описах і гравюрах, які дійшли до нашого часу. В робочий простір горну шарами завантажували деревне вугілля і подрібнену руду. Через повітряний канал 3 подавалося повітря для підтримання горіння. Сам сиродувний горн представляв собою яму, над якою виготовлялася куполоподібна шахта 1, кожух якої був із вогнетривкої глини і закріплювався дерев'яними жердинами 2. Дно сиродувного горна викладалося камінням 4. Крицю діставали з печі через пролом в стінці шахти.

Приблизно 1500 років до нашої ери багато заліза з'явилося у легендарного народу халібрів, які жили в Закавказзі і виплавляли його з руд. Це дало велику перевагу перед міддю, тому що руда з вмістом заліза зустрічається значно частіше.

Грецькі архітектори при будівництві великих будівель застосовували залізні дюбелі. Гермоген із Приона (біля 200 р до нашої ери), один із

прославлених зодчих еллінської епохи, побудував храм Артеміди в місті Магнезія, який за розмірами і величі поступався тільки дідонському і ефеському храмам. Барабани колон храму зроблені з білого мармуру, скріплені потужними залізними дюбелями довжиною 130 мм, шириною 90 мм і товщиною 15 мм. Як показало металографічне дослідження, дюбелі складаються із неоднорідного залізного матеріалу: одна із ділянок – сталь (має високий вміст вуглецю, що дозволяє її загартовувати), а друга – м'яке залізо високої чистоти. Міцність дюбеля складає в середньому 38 кг/мм^2 , тоді як у сучасної конструкційної сталі – 38.

В центральній Європі ранній залізний вік приходить приблизно на 1000 – 450 роки до нашої ери. Цю епоху називають гальштатською – за назвою міста в Австрії, в околицях якого археологи знайшли багато залізних предметів того періоду. Поряд з залізними інструментами тоді широко застосовувались і бронзові. З заліза спочатку робили тільки зброю, а потім стали виготовляти робочі інструменти та інші знаряддя праці. Тому залізо лише в незначній мірі сприяло розвитку виробничих сил. Але по мірі поширення цей новий металічний матеріал все більше впливав на характер виробництва. Бронза також широко застосовувалася в багатьох галузях, в першу чергу для виготовлення прикрас. Вона має ту перевагу, що її можна без особливих затрат розплавляти і заливати в форму. З залізом, в якого температура плавлення значно вища, в ті часи так працювати не вміли.

В наступний період – пізній залізний вік – стало з'являтися все більше залізних предметів. Великий вклад в розповсюдження заліза внесли кельти. Європейський пізній залізний вік названий латенською культурою (по місцевості в Швейцарії, де в основному були знайдені сліди кельтської культури).

Вже в гальштатський період виникли зв'язки між нащадками кельтів і грецькими містами-державами. Пізніше ці зв'язки і торгіві відносини широко розвивалися. Всюди залишала сліди передова, для тих часів, кельтська технологія добування і переробки заліза. Велике переселення кельтів почалося на рубежі V сторіччя до нашої ери. Кельтські племена населяли східну Галію, західну і середню Германію, Англію і Шотландію на півночі, сучасну Польщу на сході. Вони досягли Балкан і Піренейського (тоді Іберійського) півострова. Кельти освоїли обробку заліза і ковалі в германських сагах мали своїм праобразом кельтських ковалів. Кельтську назву заліза “ізарнон” перейняли всі германські племена (сьогодні німецькі це звучить “айзен”, а англійською – “айрон”). Іберійські кельти (кельтибери) прославилися своєю сталлю. Щоб отримати особливо хорошу сталь, вони закопували залізні смуги в землю, для того щоб ті частково ржавіли, а потім метал, який залишився, проковували. Звичайне залізо в той час було неоднорідне: воно складалося з м'якого заліза і сталі. Іржа руйнувала, в першу чергу, м'яке залізо, так що описаний метод кельтиберських ковалів дозволяв отримати більш однорідну і тверду сталь.

Способи одержання більш твердих сортів сталі ковалі тримали під великим секретом. А секрет заключався перш за все в підвищенні вмісту вуглецю. Така сталь отримувала властивість до загартування.

Існує старовинна древньо-германська сага. Коваль Вілану своєму конкуренту запропонував підступні умови: нехай він виготовить шолом і кольчугу, а він меч, тоді буде відомо, чия робота краща. Вони взялися за роботу. Вілану розділив залізо на малі шматки і підмішав в корм гусям. Метал, який пройшовши шлунок птиці став міцнішим, тому що шлунковий сік краще діє на м'яку сталь. Також метал з'єднався з азотом, а азотована сталь більш твердіша. Шматочки заліза після гусячого перетравлення краще підходять для виготовлення мечей. Повторивши ще раз цю операцію Вілану викував меч. В день змагання Вілану встав перед своїм суперником, поклав меч на його голову і без особливих зусиль перерізав шолом, голову, кольчугу і тіло.

1.4. Освоєння інших металів

Поряд із золотом, сріблом, міддю, оловом і залізом люди знали свинець, ртуть, сурму і платину.

Індійці Америки давно були знайомі з платиною.

М'який і відносно легкодоступний свинець використовувався для різних цілей. Відомо, що з гнутих свинцевих листів виготовляли труби, чеканили монети, медалі і печатки, виготовляли грузила для рибної ловлі. Римляни називали свинець і олово одним словом, "плюмбум". Тільки добавляли "плюмбум" білий і чорний.

Набагато менше відома сурма – сріблясто білий з сильним блиском, дуже крихкий метал. У Вавилоні з нього виготовляли посуд. Також сурма служила як легуючий елемент при виплавленні сурмистих бронз.

Ртуть римляни називали "аргентум вівум" - живе срібло. Перша письмова згадка про неї належить Арістотелю і відноситься приблизно до 350 року до нашої ери. Ртуть застосовували для позолочення. Золото легко розчиняється в ртуті і утворює сплав – золоту амальгаму, яку наносили на виріб, який оброблювали. Потім його нагрівали, ртуть випаровувалася, а на виробі залишався шар золота. В наш час від цього процесу відмовилися, тому що пари ртуті дуже шкідливі для здоров'я. Подібний процес був покладений в основу розробленого в XVI столітті способу отримання різних металів (амальзанірування): подрібнену руду обробляли ртуттю, в якій метали розчинялися, потім ртуть випаровувалася, а метали залишалися в твердому стані.

У період розпаду Римської імперії почався перехід до феодалізму, люди вже мали великі знання в області металургії. Знали добування і переробку золота, срібла, міді, заліза, олова, свинцю, ртуті і сурми. Почали застосовувати сурмисті і миш'яковисті бронзи. З'явилися мідні сплави

(латунь). Якщо мідь легувати цинком, то вона буде нагадувати золото. Мідь сплавляли з цинковою рудою і чеканили латунні монети.

Виробництво сталі і чавуну

- 2.1. Перші спроби промислового отримання заліза і сталі (пудлінговий метод).
 - 2.2. Бесімерівський і томасівський процес отримання сталі.
 - 2.3. Сучасні методи виплавлення чавуну.
 - 2.4. Фізико-хімічні процеси плавки чавуну в доменній печі.
- Продукти доменного виробництва

2.1. Перші спроби промислового отримання заліза і сталі (пудлінговий метод)

З стародавніх часів ковке губчасте залізо отримували методом прямого відновлення безпосередньо з руди. В XVIII столітті цей сиродувний процес був широко розповсюджений. В Європі він зберігся до 1850 року, в Північній Америці – до 1890 року. В наш час сиродувні горни можна зустріти у народів центральної Африки і Китаю.

В 90-х роках, недалеко від річки Оскол в Белгородській області (Росія) знайшли старовинний горн для отримання заліза (рис 2.1).

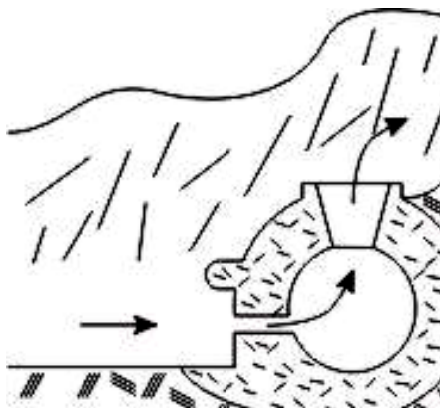


Рис. 2.1. Старовинний горн для отримання залізної криці

Цінність знахідки перевірили і підтвердили при розкопках вчені експедиції. Вони встановили, що діяв він більше тисячі років тому – в VIII - IX віці. В той час тут жили хазари - войовничі кочівники, які і займалися металургією. Залізної руди в цих краях було багато, тут знаходиться гігантське природне сховище заліза (курска магнітна аномалія). Вихідною сировиною для отримання залізної криці є залізна руда, а паливом – дрібне деревне вугілля. Отримували в горні кусок залізної криці - губчастого заліза.

Процес отримання заліза із руди в горні увійшов в історію металургії під назвою “сиродувний”, тому що в горні вдувалося не підігріте сире повітря (гаряче дуття з’явилося на металургійних заводах лише в XIX столітті). Отримане в сиродувному горні залізо інколи було не міцним і не твердим, а вироби з нього – ножі, сокири, піки – недовго залишалися гострими, гнулися, швидко виходили із ладу.

На дні горна, поряд з порівняно м’якими шматками заліза траплялись і більш тверді – ті, що безпосередньо контактували з деревним вугіллям. Помітивши цю закономірність, люди почали збільшувати зону контакту з вугіллям і тим самим навуглецьовувати залізо. Це була сталь – сплав заліза, який і зараз служить основним конструкційним матеріалом.

Для управління процесом дуття в горні плавильник або горновий керує засувкою, яка приводить в рух кузнечний міх (рис. 2.2).

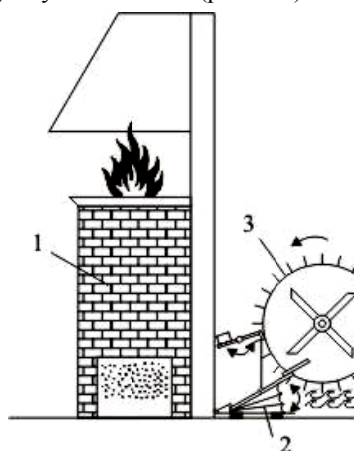


Рис. 2.2. Горн з повітряним дуттям XVI сторіччя.
1 - горн; 2 - кузнечний міх; 3 - водяне колесо

Лице плавильника захищене войлочною маскою. З горна через бічний отвір стікає шлак. Після 4...8 годин важкої ручної праці, працівники за допомогою залізних стержнів дістають з горна губчасту масу, яка включає зерна металу разом із шлаковими частинками, – крицю. В залежності від розмірів горна, криця могла мати вагу до 150 кг. Двоє робітників довго

обробляли крицю молотами, для того щоб ущільнити її і виділити частину шлаку. Потім крицю розділяють на частини, які проковують на наковальні і надають їй форму, необхідну для продажу.

Таким чином, розвиток горнів йшов від простих плавильних ям, які встановлювалися на відкритому місці, до шахтних печей з відкритим випускним порогом і міхом для дуття. Продуктивність ще більше збільшилася завдяки введенню викладання із цегли сиродутних печей замість подових. Подрібнену руду і деревне вугілля завантажували в піч зверху. Для виймання криці із печі потрібно відкрити її поріг, який закритий цегляною кладкою і обмазаний глиною. В XV сторіччі металурги користувалися сиродувними горнами об'ємом 1,1...1,7м³. Вони давали за добу 1200...1300 кг металу. В Росії ці печі називали домницями, від древньоруського слова "дмение", що означало "дуття". Ці печі "дихали" за допомогою енергії води: повітродувні міхи приводились в рух спочатку спеціальними водяними трубами, а пізніше великими водяними колесами.

В шахтній печі в одиницю часу згоряло більше палива ніж в горні і більше виділялося тепла. Високі температури в печі і привели до того, що частина відновленого заліза звільнялась від кисню, але сильно насичувалася вуглецем, розплавлялася і витікала із печі. Охолоджуючись, такий залізовуглецевий сплав мав у декілька разів більший вміст вуглецю ніж сталь. Він ставав більш твердим, але водночас і більш крихким. Таким чином, металурги стали отримувати побічний продукт - чавун. Спочатку його просто викидали, тому що під ударами молота такий метал розлітався на шматки і зробити із нього зброю чи інструмент було просто неможливо. В той же час через цей сплав кількість добротного продукту – залізної криці – різко скоротилась. Яких тільки назв не давали металурги новому сплаву в XV - XVII сторіччях. В країнах Центральної Європи його називали "диким камінням", "гусаком", в Англії – "свинячим залізом" (по-англійськи чавун так називається і зараз), і російське слово "чушка" (чавунний виливок) має теж саме походження.

Оскільки ніякого застосування чавун не знаходив, його, звичайно, викидали. Але потім комусь прийшла в голову ідея завантажити чавун знову в піч і переплавити разом з рудою. Ця спроба зробила переворот в металургії заліза. Такий спосіб дозволяє порівняно легко отримати потрібну сталь, причому в великих кількостях. Історія не зберегла ім'я цього середньовічного винахідника, який отримав з чавуну ковке залізо, видаливши з нього вуглець. Цей процес називається в металургів "кричний переділ".

Нововведення призвело до чіткого розподілу праці: в домницях, які в той час стали більш досконалими доменними печами, з руди виплавляли чавун, а в кричних горнах з нього видаляли вуглець, виконуючи процес перетворення чавуну в сталь – "кричний переділ". Так виник двостадійний спосіб отримання сталі з залізної руди: руда - чавун, чавун - сталь. Це приклад, як просте збільшення розмірів обладнання (в даному випадку – сиродутних

горнів) призвело до принципово нової технології.

Тепер попит на чавун, перш за все як на напівпродукт, який потім перетворюється в сталь, різко збільшився. І доменні печі почали використовувати всюди. Але оскільки для доменної плавки потрібно було багато деревного вугілля, то це призвело до того, що в багатих рудових районах ліси були швидко вирубані. Особливо це стосується Англії. І металургія, залишившись без палива, пішла на збиток.

Тяжке положення, в якому опинилась в зв'язку з цим англійська промисловість, яка тривалий час займала головні позиції в металургії, змушена була шукати заміну деревного вугілля. Металурги звернули увагу на кам'яне вугілля, яким Британські острови були багаті. Але всі спроби виплавити на ньому чавун кінчалися невдачею: вугілля в процесі нагріву подрібнювалося, а це сильно сповільнювало дуття. В 1735 році Абрахаму Дербі з англійського міста Колбрукдейл вперше вдалося застосувати в доменній печі кам'яновугільний кокс і тим самим модернізувати першу ступінь процесу виробництва сталі. Кокс – це паливо, отримане з кам'яного вугілля при його нагріванні без доступу повітря при високих температурах (950 - 1050°C), при цьому вугілля не подрібнювалось, а спікалось в куски. Сьогодні без коксу неможливі ні доменна плавка, ні ряд інших металургійних процесів.

Але для переробки чавуну в сталь необхідно було деревне вугілля. Кам'яне вугілля ще не вміли застосовувати для цієї мети. Сірка, яка знаходилася в ньому, переходила в сталь і робила її непридатною. Проблему вирішив англієць Генрі Корт, який в 1784 році винайшов спосіб пудлінгування (puddle – місити, перемішувати).

В пудлінговій печі (рис. 2.3) паливо не контактує з чавуном, який переробляється.

Кам'яне вугілля 1 горить в топці, яка віддалена від горна порогом 2. Перші пудлінгові печі мали дві димові труби 4: одну безпосередньо над топкою, другу з протилежного кінця печі, над плавильним горном чи ванною 3. Пудлінгування - це очистка чавуну в полуменевій печі. Процес починається з завантаження чавуна в горн. Для того, щоб прискорити плавку, куски чавуна (вагою 10 - 30 кг, всього близько 150 кг) розміщують поблизу топки, де температура сама висока.

Приблизно через 45 хвилин чавун розплавляється. Пудлінгувальник вставляє в завантажувальне вікно 5 печі залізну штангу з крюком на кінці і проводить нею борозди по тістоподібній чавунній масі. При цьому чавун добре перемішується і поверхня ванни збільшується. Закриваючи горн і закидаючи вологий шлак, пудлінгувальник регулює температуру ванни. Крім того, в ванну добавляють пісок, який вступає в хімічну реакцію з футеровкою печі, при цьому утворюється шлак; останній окислює вуглець, і чим більше його окислюється, тим сильніше розріджується ванна і залізні зерна збираються в грудки.

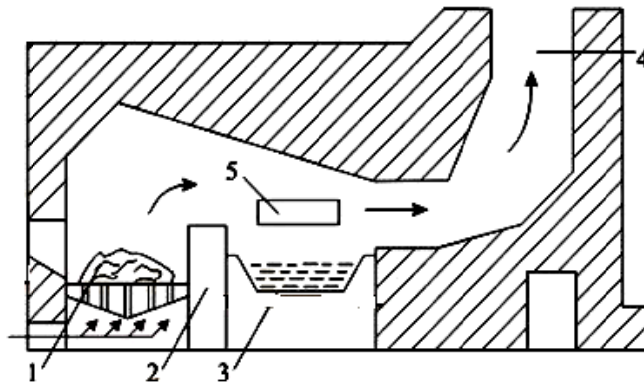


Рис 2.3. Пудлінгова піч:
 1 - кам'яне вугілля; 2 - поріг; 3 - ванна; 4 - димова труба;
 5 - завантажувальне вікно

Пудлінгувальник штангою багато разів перевертає масу і під кінець розділяє її на три - п'ять частин криць. Вони ще гарячі попадають до коваля, який до кожної криці приварює залізний стержень дюймової товщини, і проковує їх в ковбаски діаметром 7 -10 см і довжиною 50 см. Ці заготовки в прокатній машині розкачують в полоси, потім знову розділяють на куски довжиною 50 см і ще раз прокатують, накладаючи по 4 полоси одна на другу. Для процесу пудлінгування були характерні ці операції прокатки криць, які потрібно не стільки для надання заготовці форми, скільки для того, щоб зварити зерна і грудки заліза. В результаті отримуємо зварювальне залізо (чи зварювальну сталь). Одна пудлінгова піч за добу давала 3500 кг великозернистого кричного заліза або 1600 кг мілкозернистого заліза – пудлінгової сталі.

Пудлінгування означало суттєвий прогрес в порівнянні з попереднім сиродувним способом і кричним переділом. Замість дефіцитного деревного вугілля застосовувалось кам'яне вугілля. Пудлінгові печі набагато продуктивніші. В результаті пудлінгування отримували зварювальне залізо з відмінною якістю.

Але зварювальне залізо і зварювальна сталь мали суттєвий недолік – нерівномірність складу в поперечному перерізі. Англійський майстер годинникової справи Бенджамін Хантсмен (1704 – 1776) прийшов до думки, що склад цих матеріалів можна вирівняти шляхом переплавки. Для того, щоб отримати сталь, Хантсмен використовував тигель із вогнетривкого матеріалу і підігрівав коксом піч з дуттям і високим горном. Це принесло успіх.

Французькі ковалі перші виготовили із литої сталі ножі, які були кращі шефільдських, завдяки своїй твердості. Старшини шефільдського цеху ковалів звернулись в палату обшин англійського парламенту з проханням заборонити

вивіз із країни литої сталі. Їх прохання було відхилено. Тоді шефідським ковалям довелося переглянути свої погляди на литу сталь. Виробництво сталених виробів в Англії стало швидко розвиватись. Значно розширився експорт не тільки готових сталених виробів, але і сталених злитків

Високоякісна тигельна сталь мала добрі властивості в литому стані. Після винаходу Хантсмана, через 100 років з них робили паровозні осі, гарматні стволи. В 1851 році на Лондонській всесвітній виставці був показаний сталений злиток вагою 2150 кг. Для того щоб отримати таку вилівку, прийшлося зливати в міксер (копильник) розплавлену сталь із багатьох тиглів ємністю по 45 кг кожний

В епоху промислової революції потреба в залізі настільки виросла, що її не міг задовольнити і пудлінговий процес. Різні нові технічні застосування пудлінгового заліза показали, що воно не витримує великих навантажень. Наприклад, локомотиви стали важчі і швидкохідніші, і рейки, які виготовлялись із пудлінгової сталі, все частіше руйнувались. Назріло питання отримання більш якісної сталі.

2.2. *Бесімерівський і томасівський процес отримання сталі*

Основоположником сталеплавильного виробництва є Генрі Бесімер (1813 – 1898). Свої перші досліди він проводив в закритому тиглі 1, продуваючи розплав 2 повітрям через введену зверху трубку 3 (рис. 2.4). Тигель був встановлений в печі 4 для того щоб надати йому додатковий підігрів, який, як з'ясувалося пізніше, був непотрібний. В 1885 році Бесімер вперше отримав ковке залізо (сталь) шляхом продування повітрям 5 кг сирого чавуну, який розплавлений в тиглі з вогнетривкої глини.

Виявилось, що при продуванні повітрям розплавленого чавуну він не тільки не охолоджується, як думали раніше, але навпаки його температура зростає настільки, що ванна залишається рідка, не дивлячись на те, що сталь, яка утворилася з чавуну має вищу температуру плавлення. В 1855 році Бесімер отримав англійський патент на свій винахід. Пруське патентне відомство в Берліні відмовились видати йому патент, мотивуючи свою відмову слідуючим чином: “не можна нікому заборонити продувати повітря через рідке залізо” – приклад нерозуміння суті технічного прогресу.

Новий процес отримання сталі з чавуну без палива і печі пройшов довгий час, перш ніж стало зрозуміло, що добру сталь дає тільки малофосфористий чавун. Якщо чавун має багато фосфору, то продукт отримується гіршим, ніж ковке залізо, - він стає “червоноламким” і “холодноламким” (крихким в гарячому і холодному стані). Завдяки цьому бесімерівський процес (рис. 2.5) поширювався дуже повільно – спочатку він був прийнятий в Швеції, потім - в Австрії і пізніше в Англії. Широкому його поширенню протидіяло те, що він потребував малофосфористого чавуну.

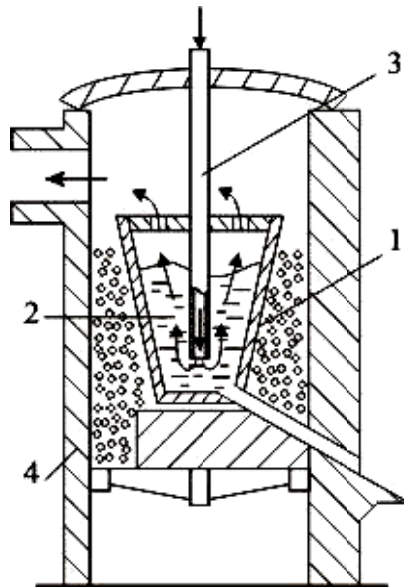


Рис 2.4. Продування чавуну повітрям для отримання сталі:
1 - тигель; 2 – розплав; 3 - трубка; 4 - піч

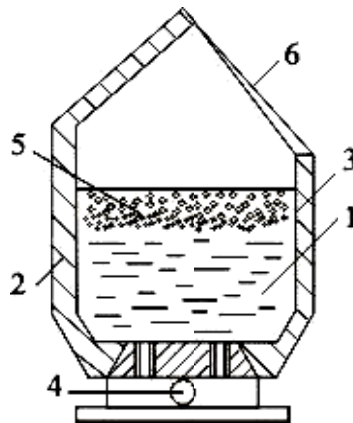


Рис 2.5. Бесімерівський процес отримання сталі:
1 - чавун; 2 - тигель; 3 - кисла футеровка; 4 - цапфа; 5 - шлак; 6-вікно

Чавун 1 з малим вмістом фосфору, завантажувався в тигель, який мав грушоподібну форму 2 (є прототипом сучасного кисневого конвертора). Цей

конвертор мав кислу футеровку 3 і повертався на цапфі 4 при виливанні отриманої сталі. В конверторі шлак 5 збирався в верхній частині. Продування виконувалось через трубку, яка вводилась через вікно 6.

Широке застосування цього процесу стримувалось проблемою очистки чавуну від фосфору. Серед багатьох металургів, які вирішували цю проблему, першим досяг успіху Сідней Джілкріст Томас (1850 – 1885). Томас мав дві спеціальності. Він служив писарем в лондонському поліцейському суді, чим заробляв собі на життя, і одночасно вивчав хімію і металургію в гірничому училищі, де й зацікавився проблемою виведення фосфору із чавуну.

Немає суттєвої різниці між бесімерівським і томасівським процесом. В основі обох лежить один і той же принцип: чавун, з якого отримують сталь, очищують, продувають через нього повітря. Місткість, де проходить реакція (конвертор), має грушоподібну форму з відкритою горловиною зверху і має можливість нахилитись завдяки горизонтальній осі – цапфі (рис. 2.5).

Основна різниця між цими процесами в тому, що бесімерівський конвертор всередині викладений кислотою (за хімічним складом вогнетривкою футеровкою) і в ньому неможливо виділити фосфор з чавуну в основний шлак тому, що такий шлак швидко роз'їдає кислу футеровку. Томасівський конвертор всередині викладений основною футеровкою, тому, додаючи вапно, отримуємо основний шлак, який добре виводить фосфор з чавуну і не роз'їдає футеровки.

Конвертор дозволяє за 20 хв. перетворити в сталь 20 т чавуну. Для виробництва такої кількості сталі в горні способом кричного переділу потрібно було б 3 тижні, а в пудлінговій печі – тиждень.

Бесімерівський і томасівський конвертори були необхідні для масового виробництва сталі загального призначення, тоді як високоякісні спеціальні сталі продовжували виплавляти в тиглях.

Брати Вільгельм і Фрідріх Сіменс винайшли регенеративний спосіб підігріву печей, і після того, як був отриманий патент на цей винахід, була побудована перша піч. Суть регенеративного підігріву полягає в попередньому підігріві повітря, яке необхідне для горіння палива. Для підігріву використовувався газ, який відходив під час горіння і є продуктом горіння. Для цього через деякий проміжок часу повітря направляється то через один, то через другий регенератор (коли повітря для горіння проходить через один регенератор і охолоджує його, саме нагрівається, гази, які відходять, підігрівають другий регенератор). В дослідній печі братів Сіменсів сталеві частини всередині печі через 6 годин розплавилась, а тигель, який був розміщений в топочній камері, перетворився в шлак.

Перші практичні спроби виплавити тигельну сталь в подібних печах на сталеливарному заводі в Шеффільді закінчилися невдачею (разом зі сталлю плавився тигель і стінки печі).

В 1846 році на одному із заводів південної Франції Сьєру Мартену (1824 – 1915) вперше вдалося зварити хорошу сталь в регенеративній печі, яку побудували при участі Вільгельма Сіменса. Шихта складалася з чавуна, який виплавлявся з гематиту – червоного залізняка з острова Ельба, чушок пудлінгового заліза і сталюого лому.

Мартенівський процес (німці називали його Сіменс - мартенівським) поряд з бесімерівським і томасівським визначив ще один великий крок в розвитку металургії. Цей процес зберіг велике практичне значення до наших днів для повторного виробництва сталі з лому і сталюих відходів(скрапу). Цікаво відзначити, що Генрі Бесімер винайшов свій конвертор, а Вільгельм Сіменс - регенеративну піч в один і той же час і жили вони на сусідніх вулицях Лондона й нічого не знали один про одного.

Мартенівський процес отримав широке поширення після Паризької виставки 1867 року. В Росії першу мартенівську піч побудували в 1869 – 1870 роках на Сормовському заводі. В той час виробництво сталі в Англії перевищило 5 млн. т. і продовжувало швидко зростати (в середньому за рік виплавлялось 50 – 100 тис. тон).

2.3. Сучасні методи виплавлення чавуну

Чавун - це сплав на основі заліза, який включає 2,14% і більше вуглецю, а також в незначній мірі інші домішки, в тому числі і шкідливі (фосфор і сірку). Отримують його в доменних печах з червоних, магнітних, бурих і шпатових залізняків, марганцевих руд шляхом відновлення заліза і насичення його вуглецем та іншими елементами. Основна частина чавуна (більше 80%) використовується для виплавлення сталі.

Залізні руди – це гірська порода, яка складається із хімічних з'єднань заліза (Fe_2O_3 ; Fe_3O_4 ; $2Fe_2O_3 \cdot 3H_2O$; $FeCO_3$) і пустої породи (пісковіку, глини, вапняку чи доломіту). До руд ставляться такі вимоги: високий вміст заліза (в межах 30 – 70%); добра відновлюваність; склад і стан пустої породи, що забезпечує легкість її видалення у вигляді шлаку; задовільна кусковатість; низька вартість.

Магнітний залізняк (магнетит) включає 40...65% заліза у вигляді магнетиту Fe_3O_4 ; червоний залізняк (гематит) – 58...60% заліза у вигляді окисла Fe_2O_3 ; бурий залізняк – 50...60% заліза у вигляді сполуки $2Fe_2O_3 \cdot 3H_2O$ і шпатовий залізняк (сидерит) – 30...45% заліза у вигляді карбонату $FeCO_3$. Також в доменній плавці використовують комплексні руди: хроміти, які включають крім заліза 37,5% окисла хрому, хромонікелеві залізні руди (1,5% хрому і 0,5% нікелю), титаномагнетити (0,4% ванадію і до 13% двоокисла титану).

Крім руд, в доменній плавці застосовують відходи металургійного виробництва: скрап, залізні і марганцеві шлаки, спечений рудний пил, окалина, огарки тощо. Марганцеві руди використовують для введення

марганцю в склад чавуна. Вони містять 25...50% марганцю у вигляді окислів MnO ; Mn_2O_3 ; Mn_3O_4 .

Поряд з рудами вихідним матеріалом для отримання чавуну є паливо, флюс і повітря. Паливом є кокс. В природі він не існує, а отримують його з кам'яного вугілля, з того, що коксується (спікається). Такого вугілля ще в природі не дуже багато, тому воно з кожним роком дорожчає. Це вугілля ще треба перетворювати в кокс. Процес цей складний, трудомісткий і супроводжується виділенням шкідливих побічних продуктів. Щоб по можливості не дати проникнути їм в атмосферу, воду і ґрунт, будуються дорогі очисні споруди.

Також в якості палива для доменних печей може застосовуватися природний газ.

Флюси використовуються для оплавлення тугоплавкої пустої породи руди і попелу палива з утворенням низькоплавкого шлаку визначеного складу, який легко витікає з доменної печі, а також для часткового переведення сірки в шлак. Так як частіше за все пуста порода має кислотний характер, то в якості флюсів застосовують основні матеріали – вапняк $CaCO_3$, доломіт $CaCO_3 \cdot MgCO_3$, основний мартенівський шлак. Якщо склад породи має основний характер, то в якості флюсу застосовують кварц, пісковик тощо. Флюси не повинні вміщувати значної кількості сірки і фосфору і не більше 2...4% кремнезему і глинозему, які збільшують витрати флюсів і кількість шлаку, який отримується. Вміст кальцію повинен бути не менш 50...52%. Флюси перед плавленням подрібнюються на куски розміром 30...80мм.

Повітря забезпечує горіння палива і отримання високих температур в доменній печі. Вдувають його нагрітим до температури 980...1200°C. Разом з повітрям частково подається до 32% кисню, який забезпечує підвищення температури і різко прискорює хід плавлення.

Вихідні матеріали для отримання чавуну, які беруться в певних пропорціях, називають шихтою. Всі шихтові матеріали перед завантаженням в домну проходять певну підготовку. В першу чергу це стосується руд. Їх сортують по вмісту заліза, по величині шматків; хімічному складу тощо. Потім руди збагачують і отримують концентрат, який вміщує підвищену кількість металу. Збагачення виконується миттям, гравітаційними методами, магнітними тощо. Миття руди сильним струменем води дозволяє частково видалити пісчано-глиняну пусту породу від мінералів, багатих на залізо.

Гравітаційний метод (мокре відсадження) являє собою розділення тяжких, багатих металом кусків руди від більш легкої, пустої породи, яка піднімається у струменях води у тяжких суспензіях. Магнетити збагачують електромагнітними сепараторами після їх подрібнення.

Після збагачення руди виконується окусковування концентратів (брикетування, агломерація або отримання окатишів). Найбільш поширеним є агломерація (спікання) на потужних машинах безперервної дії продуктивністю до 3000 тон за добу. В результаті спікання шихти при

температурі 1200...1500°C утворюється пористий агломерат, який має певну міцність, добре відновлюється і має знижений вміст сірки.

Окускування можна проводити методом отримання окатишів (розміром 10...30 мм) в барабанах, які обертаються. Для отримання окатишів дрібний концентрат змішують з вапном чи глиною і звожують до 8...10%. В барабанах шихта пересипається і скатується в окатиші.

Доменна піч – це вертикальна плавильна піч шахтного типу. Свою назву вона отримала від домниці, яка застосовувалась в Росії в XVIII – IX сторіччі.

Сучасна доменна піч – це потужний і високопродуктивний агрегат з об'ємом, який займає шихтний матеріал (корисний об'єм) 3000...5000 м³, продуктивністю більше 5000 т чавуна за добу.

В 1975 році в Кривому Розі почала працювати найбільша домна в світі об'ємом 5000 м³, яка була побудована за два роки. Кожен рік ця піч дає більше 4 млн. т. чавуну. Домні “зразка 1800 року” необхідно працювати 24 роки, щоб виплавити стільки чавуну, скільки дає криворізька домна за добу.

Корисна висота таких печей досягає 30 м і більше. Доменна піч (рис. 2.6) зовні заключена в сталевий кожух, а всередині футерована вогнетривкою (шамотною) цеглою. Внутрішня будова печі включає колошник 1, шахту 2, розпар 3, заплічки 12 і горн 5.

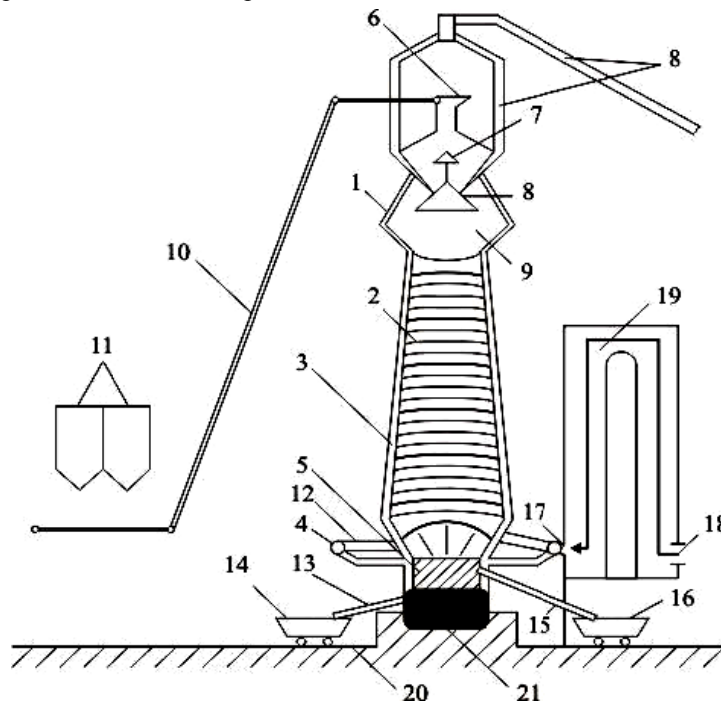


Рис. 2.6. Сучасна доменна піч

Колошник обладнаний литими сталевими сегментами, які захищають вогнетривку футерівку від руйнування при ударах шихти, яка завантажується в піч.

В верхній частині печі є завантажувальний пристрій, який включає воронку 6, малий конус 7, великий конус 8 з воронкою 9. Шихта подається на колошник по похилому мосту стрічковим транспортером 10. З нього шихта спочатку попадає на малий конус, який повертається навколо осі, для більш рівномірного завантаження. Далі шихта попадає на великий конус. Малий і великий конус опускаються не одночасно, для того, щоб запобігти викиданню доменних газів із печі в атмосферу. У великий конус через малий конус засипають певну кількість шихтових матеріалів, які утворюють, так звану колошу. В процесі опускання великого конуса колоша падає в піч. Рудну частину шихти і коксу завантажують роздільно, тому в печі утворюються два шари - коксу і рудної частини.

Для подавання визначеної кількості шихти служать бункери-дозатори 11, які подають останню на стрічковий транспортер.

В нижній частині домни знаходяться фурми 4, через які вдувається в піч нагріте повітря, або повітря збагачене киснем, а інколи – газоподібне, рідке чи пилоподібне паливо для економії коксу. Чавун і шлак безперервно стікають вниз і періодично випускаються через чавунну льотку 13 в чавуновоз 14 і шлакову льотку 15 в шлаковоз 16.

Процес доменної плавки неперервний, а завантаження шихтових матеріалів і випуск чавуна і шлаку виконується періодично за встановленим режимом. Вихідні матеріали поступають в доменну піч зверху, а в нижню частину печі через фурми 4 подається нагріте повітря 17, яке отримується із холодного дуття 18. Нагрів холодного повітря виконується в повітронагрівачі (каупері) 19. Каупер працює завдяки згорянню колошникового газу, який поступає з верхньої частини домни. Через фурми 4 також може подаватись повітря, збагачене киснем, або газоподібне паливо. Гази, які утворюються при згорянні палива, піднімаються назустріч шихтним матеріалам, які опускаються, нагріваючи їх, відновлюють і плавлять. Таким чином, піч працює за принципом протипотоку, що дозволяє повніше використовувати тепло. Монтується доменна піч на бетонному фундаменті 20, а між фундаментом і горном знаходиться лещадь (холодильник) 21.

Як правило, біля кожної доменної печі є три - чотири повітронагрівачі, які працюють поперемінно. В результаті взаємодії кисню повітря і окислів руди з вуглецем утворюється доменний газ, який піднімається вгору зі швидкістю 20...60 м/сек. Враховуючи опір матеріалів шихти тиск газів при підході до колошника знижується до 1,5...3,7 атм (0,15...0,37 МПа). Після очищення від пилу газ використовується для нагрівання повітронагрівачів, мартенівських, кузнечних, термічних печей, опалення адміністративних приміщень і як паливо для двигунів внутрішнього згорання. Колошниковий пил, який

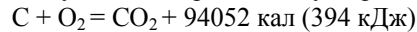
отримується при очищенні доменного газу застосовується в процесі агломерації.

2.4. Фізико-хімічні процеси плавлення чавуна в доменній печі.

Продукти доменного виробництва

Під час плавлення чавуна в печі виконується два основних процеси: відновлення заліза з окислів руди, науглецьовування його і видалення у вигляді рідкого чавуна визначеного хімічного складу; оплавлення пустої породи руди, утворення шлаку, розчинення в ньому золи коксу і видалення його із печі.

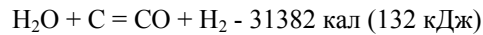
Шихтні матеріали при завантаженні в колошник зустрічаються з температурою 200...300°C, при переміщенні вниз на рівні фурм зустрічають температуру 1800...1900°C і понижуються в горні до 1450°C. Повітря, яке вдувається через фурми, обумовлює горіння коксу за реакцією:



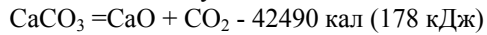
Зустрічаючи розпечений кокс при високій температурі, вуглекислота відновлюється:



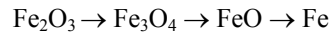
Також, окис вуглецю утворюється в результаті взаємодії водяної пари і вуглецю коксу:



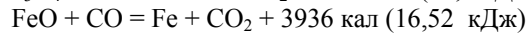
У верхніх горизонтах доменної печі при температурі 100...200°C випаровується волога, а при 300...350°C видаляється гідридна вода. З палива видаляються летучі речовини. При вищих температурах (до 900°C) розкладається вапняк з виділенням вуглекислоти:



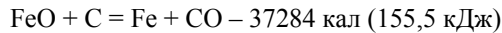
Відновлення заліза проходить послідовно за схемою:



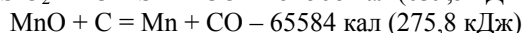
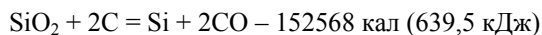
При невисоких температурах проходить непряме відновлення руди окислом вуглецю:



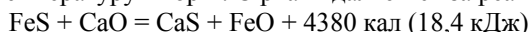
При високих температурах (>950°C) в нижній частині печі проходить пряме відновлення заліза за рахунок сажистого вуглецю, який осаджується в порах матеріалів:



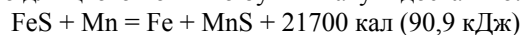
Газами відновлюється близько 60% заліза, яке отримується в доменній печі, а твердим вуглецем - близько 40%. Крім заліза, в доменній печі відновлюється кремній, марганець, сірка, фосфор та інші елементи. Відновлення кремнію і марганцю проходить при високих температурах (близько 1450°C) твердим вуглецем і потребує великих витрат тепла і палива:



Сірка, як шкідливий домішок чавуна, повинна бути якнайповніше видалена із нього. В доменну піч сірка попадає разом з шихтою (є в коксі, руді і флюсах). Близько 10 - 16% сірки вивітрюється з газами у верхніх горизонтах печі. Для видалення сірки забезпечують надлишок вапна в шлаках і високу температуру в горні. Сірка видалається за реакцією:

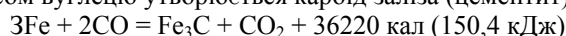


Сульфід кальцію, який утворився, не розчиняється в чавуні, переходить в шлак і разом з ним виводиться з печі. Додатково сульфід кальцію видалається після випускання його з доменної печі за рахунок взаємодії сірки з марганцем, якого для цього повинно бути в чавуні достатньо:



Фосфор також є шкідливою домішкою чавуна, але його видалення з рідкого чавуна в умовах доменної плавки є затрудненим. Фосфор, який потрапив в доменну піч разом з шихтою, розчиняється в чавуні і залишається в ньому.

Безпосередньо після відновлення в доменній печі отримується тверде пористе губчате залізо з високою температурою плавлення 1539°C. При його взаємодії з окисом вуглецю утворюється карбід заліза (цементит) Fe_3C :



Цементит розчиняється в залізі, науглецьовує його до 4,3% і знижує температуру плавлення до 1140...1150°C. Навуглецьоване низькоплавке залізо розплавляється, краплинами стікає в горн і по шляху розчиняє кремній, марганець, сірку, фосфор та інші елементи. Сплав, який утворився і є чавун – головний продукт доменної плавки.

Шлакоутворення повинно проходити після закінчення процесів відновлення заліза з руди, так як інакше легкоплавкий холодний шлак стікає в низ печі, заохолоджує її, порушує нормальний хід плавки і призводить до зміни хімічного складу чавуна і шлаку. Узгодження процесів відновлення і шлакоутворення досягається підтриманням визначеного хімічного складу і температури плавлення шлаків, а також регулювання всього ходу плавки.

Утворення шлаку починається після опускання шихти приблизно до розпару при температурі 1200°C, коли пуста порода сплавляється з флюсами (вапном). При стіканні шлаку вниз він збіднюється окислами заліза і марганцю, збагачується вапном і набуває заданого складу.

Продуктами доменного виробництва є чавун, шлак і доменний газ.

Чавун, як головний продукт, виплавляють трьох видів: передільний, ливарний і спеціальний (феросплави). Передільний чавун іде на переплавку при виробництві сталі, його відсоток складає близько 80%. Ливарний чавун застосовується для отримання фасонних виливок і його виплавляється близько 16% від виробництва всього чавуна. Він має підвищений вміст кремнію, який покращує ливарні властивості чавуна.

Доменні феросплави застосовуються у виробництві сталі як присадки і як розкислювачі, в сталеплавильних печах і при виробництві чавуна в вагранках. Їх виплавляють приблизно 4% від всього виробництва чавуна. Феросплави відрізняються від передільного і ливарного чавуна підвищеним вмістом марганцю і кремнію. Розрізняють три види феросплавів: феросиліцій, з вмістом 10...15% кремнію, феромарганець, з 70...80% марганцю і дзеркальний чавун, з 10...25% марганцю.

Другим по значимості продуктом доменного виробництва є доменні шлаки, які після отримання гранулюють водою для отримання дрібнозернистої маси. Отримані шлаки використовуються для виготовлення цементу, цегли, шлакоблоків та інших будівельних матеріалів.

Третім продуктом доменного виробництва є доменний газ, який після очищення від пилу використовують як газоподібне паливо в повітрянагрівачах, для опалення різних печей, нагрівання ківшів тощо.

Доменні печі працюють безперервно протягом 5...6 років, після чого їх зупиняють на капітальний ремонт. Основною причиною зупинки на ремонт є вигорання вогнетривкої футеровки. Для визначення часу зупинки домни на ремонт служить радіоактивний ізотоп ^{60}Co , який замурують в вогнетривку кладку в найнадійнішому місці під час будівництва або капітального ремонту печі. Періодично до даного місця підносять лічильник Гейгера, за допомогою якого виявляють γ - випромінювання. Послаблення такого випромінювання або відсутність його зовсім говорить про те, що ізотоп ^{60}Co відійшов разом із чавуном і кладка вигоріла до критично-можливого місця, що є сигналом для зупинки печі на капітальний ремонт.

Сучасні методи виплавлення сталі

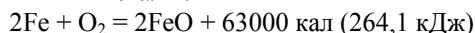
- 3.1. Загальні положення виплавлення сталі в різних печах.
- 3.2. Виробництво сталі в кисневих конверторах.
- 3.3. Плавлення сталі в електричних печах.
- 3.4. Виплавлення сталі в мартенівських печах.
- 3.5. Технологічний шлях від чавуна і лому до сталі.
- 3.6. Пряме відновлення заліза із руд.
- 3.7. Вакуумно-дуговий переплав (ВДП).
- 3.8. Електрошлаковий переплав сталі.
- 3.9. Застосування сталі та чавуна.

3.1. Загальні положення виплавлення сталі в різних печах

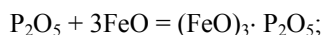
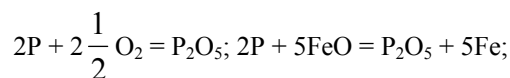
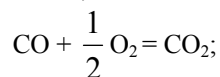
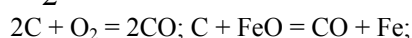
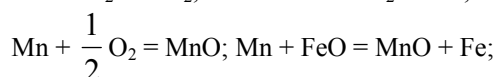
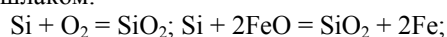
Сталь відрізняється від чавуна більш низьким вмістом вуглецю (до 2,14%). Виробляють сталь з чавуна за рахунок окислення надлишку вуглецю, марганцю, кремнію і шкідливих домішок (фосфору і сірки). Так, передільний чавун має: 3,5...4,2% вуглецю, 0,2... 1,75% кремнію, 0,5... 1,75% марганцю, до

0,08% сірки і до 0,07% фосфору. Сталь же повинна мати 0,05... 1,5% вуглецю, до 0,5% кремнію, 0,5... 0,8% марганцю, до 0,05% сірки і до 0,05% фосфору.

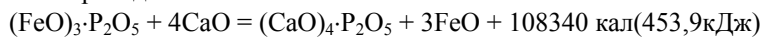
В різних видах печей кисень найбільш швидко окислює залізо, якого набагато більше, ніж інших металів.



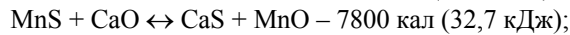
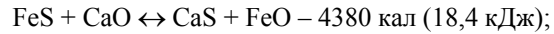
Закис заліза добре розчиняється в металі і шлаці і виконує роль головного носія кисню. Атмосферний кисень окислює шлак, а із шлаку поступає у вигляді закису заліза в метал. Підвищення вмісту кисню в шлаці супроводжується збільшенням його вмісту в металі. Кремній, марганець, вуглець та інші домішки сталі краще взаємодіють з киснем ніж залізо, тому вони відбирають кисень у заліза, відновлюють його, а самі окислюються (вигоряють). Рідкі окисли цих елементів спливають і попадають в більш легкий шлак, який покриває метал; газоподібні окисли відходять в атмосферу або з'єднуються з іншими окислами, утворюючи рідкі речовини, які також попадають в шлак. Окислення домішок відбувається за рахунок газоподібного кисню, при цьому утворюються окисли SiO_2 ; MnO , P_2O_5 і які відводяться разом зі шлаком.



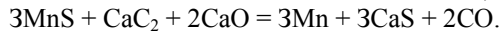
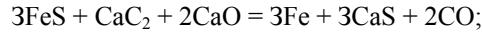
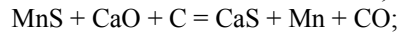
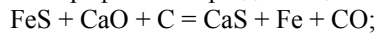
Шкідливий домішок – фосфор, який надає сталі крихкості при кімнатних або низьких температурах, згоряє і утворює газоподібний ангідрид P_2O_5 і це нестійке з'єднання з закисом заліза важко видалити з печі, тому що при певних умовах фосфор відновлюється, переходить в метал і насичує його. Надійне видалення фосфору досягається тільки в основних сталеплавильних печах, які футеровані основними вогнеупорами. В такі печі завантажують вапно, яке не буде роз'їдати їх стінки і яке зв'яже фосфор в міцне хімічне з'єднання і переводить його в шлак:



Але це хімічне з'єднання при високих температурах може віддати фосфор в метал. Тому після утворення високоосновного фосфористого шлаку його видаляють з сталеплавильних печей. Сірка також є шкідливою домішкою яка надає сталі підвищеної крихкості (червоноламкість) при високих температурах. Видалення сірки можливе лише в основних печах за рахунок добавок вапна і отримання шлаків високої основності:



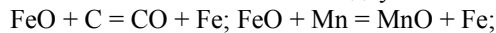
Підвищений вміст вапна обумовлює протікання цих реакцій в напрямку зліва направо, а підвищення вмісту в шлаці FeO або MnO – протікання цих реакцій в зворотному напрямку. Зниження вмісту сірки в сталі досягається особливо добре в електричних печах застосуванням відновлювальних карбідних шлаків, які мають графіт або карбід кальцію:



Таким чином, при виробництві сталі в різних печах є загальні положення:

- 1) застосовується кисневе продування;
- 2) наявність рідкого чавуна;
- 3) в кінці плавлення обов'язкове розкислення (феромарганцем, феросиліціумом і технічним алюмінієм).

Пояснимо процес розкислення. Закис заліза, який є носієм кисню в різних печах, необхідний в період вигорання домішок. Після цього він повинен видалитись з металу, так як подібно сірці є шкідливим домішком і надає сталі червоноламкості, знижує механічні властивості. Процес звільнення сталі від кисню, який присутній в ній у вигляді закису заліза FeO, називається розкисленням. Цей процес виконується за рахунок вуглецю, який присутній в сталі і розкислювачах, які вводяться в сталь як в кінці плавлення (перед випуском сталі) так і в період випуску. Розкислення виконується присадками в сталь феромарганцю, феросиліцію і алюмінію, які з'єднуються з киснем і відновлюють залізо. Окисли SiO₂, MnO, Al₂O₃ переходять в шлак. Найбільш сильний розкислювач – алюміній. Розкислення відбувається за реакціями:



Нерозкислена сталь при прокатуванні і куванні буде утворювати тріщини за рахунок своєї червоноламкості.

По степені розкислення можна отримувати спокійні, напівспокійні і киплячі сталі.

При повному розкисленні отримуємо спокійну сталь. Виливок такої сталі отримується щільним, без пухирів, з концентрованою усадковою раковиною в місці додатку виливка. Спокійна сталь може мати значну кількість вуглецю (до 2%) і виплавляється в мартенівських і електродугових печах.

При неповному розкисленні отримуємо киплячу сталь (під час розливання киплячої сталі виділяється CO і сталь кипить у виливниці). Така сталь включає малу кількість вуглецю (0,02...0,3%) і розкислюється тільки феромарганцем і невеликою кількістю алюмінію. У виливку киплячої сталі в місці сконцентрованої усадкової раковиною отримуємо багато газових пухирів

і пор. Кипляча сталь дешевша спокійної, вона майже не містить кремнію, добре штампується, але більш крихка на холоді.

Поряд з спокійною і киплячою сталлю виплавляють і напівспокійну сталь, яка розкислена меншою кількістю марганцю, кремнію і алюмінію.

Готову сталь виливають з печей у підігріті ківші, якими розливають її в металеві виливниці для отримання злитків.

3.2. Виробництво сталі в кисневих конверторах

Вперше запропонував використовувати чистий кисень для продування сталі в 1856 році Генрі Бесімер. Але тільки в 1949 році австрійським металургам в містах Лінці і Донавиці вдалось отримати сталь в тиглі з кисневою продувкою. В 1953 році в цих містах виникли перші в світі заводи з виробництва сталі киснево-конверторним способом. В багатьох країнах світу цей процес називають “ЛД – процесом” – за першими буквами назви міст в Австрії.

При продуванні чистим киснем рідкого чавуна вуглець, марганець, фосфор, сірка, кремній та інші домішки швидко вигорають. Приблизно через 20 хв. металева ванна досягає складу, який відповідає м’якій вуглецевій сталі. Кисневий конвертор забезпечує економічний спосіб отримання сталі підвищеної міцності, а також нелегованих, цементованих і термічно покращених сортів сталі. Отримана таким чином сталь відрізняється низьким вмістом азоту, сірки і фосфору, великою чистотою і однорідністю. Доля киснево-конверторної сталі в загальному світовому виробництві сталі в 1957 році складала 1%, в 1963 році виросла до 12%, а в 80-ті роки перевищила 25%.

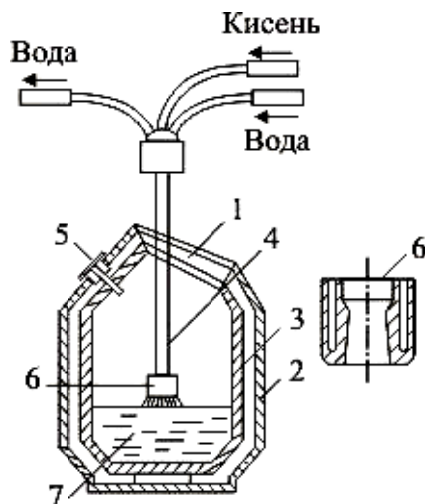
Киснево-конверторний процес заключається в продуванні рідкого чавуна в конверторі з основною футеровкою киснем зверху через фурму 4, яка охолоджується водою. Фурма опускається через горловину 1 (рис. 3.1). В кисневих конверторах виплавляють приблизно 30% всієї сталі.

Застосування для продування чистого кисню дозволяє отримувати в кисневих конверторах сталь з вмістом азоту не більше, ніж в мартенівській сталі, і приблизно такої ж якості. Киснево-конверторний процес дозволяє застосовувати конвертори ємністю до 350 т.

Кисневий конвертор має грушоподібну форму, зовнішня частина (кожух) якого виготовлена із зварних сталевих листів. Він складається із трьох частин: верхня, з формою зрізаного конуса, який закінчується горловиною 1; середня циліндрична і нижня, яка звужується з сферичним дном. Внутрішня частина сталевий кожуха 2 має вогнетривку основну футеровку 3 – смолодоломітову або магнетитохромову.

За допомогою цапф, які приєднані до опорного кільця або кожуху, конвертор опирається на підшипники кочення, які встановлюють в опорних станинах і може нахилитись. В верхній частині конвертора є канал 5 для

випускання сталі, який називається лютка. Фурма 4, яка охолоджується водою, необхідна для подачі кисню в конвертор, складається з трьох сталевих щільноз'єднаних труб, які входять одна в другу. В нижній частині фурми є мідний наконечник (сопло) 6, яке кріпиться до зовнішньої і внутрішньої труби зварюванням. Фурма встановлюється вертикально так, щоб її висоту над ванною можна було міняти по ходу плавлення за допомогою спеціального механізму, який заблокований з механізмом обертання конвертора. Конвертор неможливо повернути, поки не буде видалена фурма.



3.1. Схема кисневого конвертора:

1 - горловина; 2 - сталевий кожух; 3 - основна футуровка; 4 - фурма; 5 - лютка; 6-сопло; 7-рідкий чавун

В таких конверторах можуть перероблятися чавуни з різним хімічним складом. Крім чавуна в конвертор завантажують до 30% металевих брухтів, залізну руду і флюси (вапно, боксит і плавниковий шпат). Кисень (технічно чистий) під тиском 12 ат (1,2 МПа) подається зверху через фурму на дзеркало рідкого чавуна. За рахунок кисню і закису заліза проходить інтенсивне вигорання кремнію, марганцю і фосфору. Температура металу в зоні дії кисню досягає 3000°C і метал в конверторі сильно нагрівається. Така температура виникає у результаті виділення значної кількості тепла при окисленні домішок. Шлак утворюється за рахунок вапна і окислів домішок.

При продуванні киснем окислення всіх домішок чавуна протікає одночасно, тому що в цьому випадку забезпечується висока ступінь взаємодії кремнію, марганцю і вуглецю з киснем. Окислення кремнію і марганцю закінчується в перші 5...8 хв., а потім під час продування окислюється

вуглець і відходить в шлак фосфор і сірка. Вміст фосфору і сірки знижується за рахунок введення вапна і підвищення основності шлаків.

Для зниження температури металу вводяться охолоджувачі – металевий брут, руда і флюс. Контроль за вмістом вуглецю проводять спеціальним аналізом, тому що вуглець спочатку вигоряє повільно, а після нагріву металу вигорання його збільшується.

Момент закінчення продування визначають за результатами експрес-аналізу проби сталі. Момент, коли треба брати пробу, визначають по кількості кисню, який використали, по виду полум'я над горловиною. Для відбирання проби продування зупиняють, фурму піднімають і конвертор нахилиють. В цей же час виміряють і температуру металу.

На кінці плавлення метал доводиться до заданого складу, розкислюється і випускається через бічний отвір (льотку), а шлак – через горловину.

Розкислювач вводять в ківш на струмінь металу. Час продувки в кисневих конверторах місткістю 300 т складає приблизно 40 хв.

При виплавленні сталі в конверторах непотрібне паливо, тому що процес відбувається за рахунок тепла екзотермічних реакцій окислення вуглецю, кремнію і марганцю.

Собівартість конверторної сталі на 3,5% нижча, ніж мартенівської, а продуктивність праці в конверторних цехах на 45% вища. Питомі капітальні затрати на будівництво конверторних цехів на 35% нижчі, ніж на будівництво мартенівських. Тому цей спосіб отримання сталі можна вважати найбільш рентабельним і перспективним. Недолік цього способу – це високе вигорання металу і підвищена витрата вогнеупорів.

3.3. Плавлення сталі в електричних печах

Місткість електричних печей складає 0,5...200 т, а продуктивність основних середніх печей складає 12...15 т/добу. Вона підвищується за рахунок застосування кисню, який подається під тиском в 8...12 ат (0,8...1,2 МПа) залізними трубами через завалочне вікно прямо в метал або через склепіння печі фурмою, яка охолоджується водою, на поверхню шлаку. Плавлення можна інтенсифікувати, коли встановити під днищем печі статори для електромагнітного перемішування металу.

Високі температури і задовільна атмосфера електричних печей дозволяють виплавити в них сталі високої якості з низьким вмістом шкідливих домішок, шлакових включень і газів. Це жароміцні, високоякісні інструментальні, нержавіючі, жаростійкі, шарико- підшипникові тощо.

Для виплавлення сталі найчастіше застосовується електродугова піч, в якій електрична дуга збуджується між вугільними електродами і металевою шихтою (дуга прямої дії). Схема такої печі з трьома електродами наведена на рис. 3.2. Вона працює на трьохфазному змінному струмі, тому що постійний струм викликає явище електролізу в рідкій ванні. В печах місткістю більше 5

т завантаження шихти виконується зверху за допомогою бадді з дном, яке відкривається або грейфером. В печах місткістю до 5 т склепіння нероз'ємне і завантаження шихти виконується через робоче вікно 1.

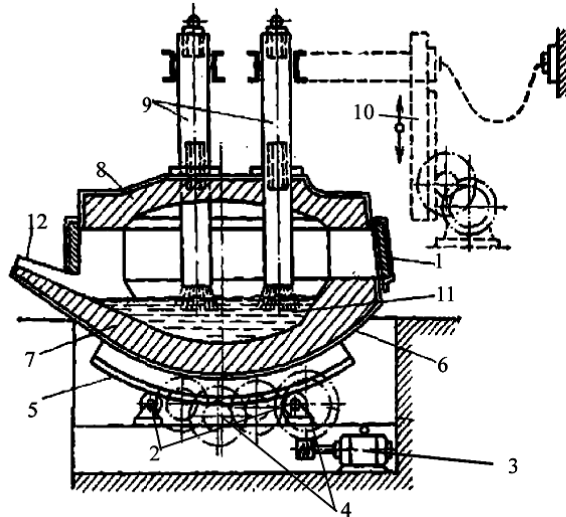


Рис 3.2. Схема дугової електропечі:

1 - робоче вікно; 2 - опорні ролики; 3 - електродвигун; 4 - приводні шестерні; 5 - зубчасті сегменти; 6 - сталевий кожух; 7 - вогнетривка цегла; 8 - склепіння; 9 - графітові електроди; 10 - механізм кріплення електродів; 11 - розплав металу; 12 - жолоб

Піч встановлюється на опорних роликах 2 і повертається для виливання розплаву приводом, який включає електродвигун 3, приводні шестерні 4, які взаємодіють з зубчастими сегментами 5. На цих сегментах розміщується сталевий кожух 6 з сферичним дном, яке викладено вогнетривкою цеглою 7. Зверху робочий простір печі перекритий склепінням 8, яке знімається. У ньому зроблені три отвори, через які пропущені графітові електроди 9. Електроди закріплені в спеціальних водоохолоджуючих електротримачах за допомогою спеціального механізму 10. За допомогою цього механізму електроди можуть підніматись таким чином, щоб витримувати між розплавом металу 11 в процесі роботи визначену відстань. При нахилі печі за допомогою приводу розплавлений метал виливається через жолоб 12. Нахил печі при опущених електродах неможливий, для цього передбачено спеціальний механізм, який блокує роботу приводу. Електричний струм подається до електродів по гнучкому кабелю від понижуючого трансформатора з напругою 130...300 В.

В тверду шихту печей вводять сталі брут, леговані відходи, чавун, феросплави, флюси (вапно, плавниковий шпат), залізн руду, легуючі добавки і розкислювачі. Плавлення шихти проходить за рахунок тепла електричних дуг, які утворюються між електродами і металом. Температура дуги – більша 3000°C.

Плавлення сталі в основних електродугових печах проходить з повним окисленням домішок, з частковим їх окисленням або зовсім без окислення – методом переплавлення.

При повному окисленні домішок плавлення в електропечі виконується по такій схемі: заправлення поду, завалювання шихти, плавлення, окислення, відновлення і випуск сталі. Застосування кисню скорочує процес плавлення на 10... 15%. Електричний струм подається після заправлення поду і завалювання шихти. В період плавлення майже повністю окислюється кремній, алюміній, титан і частково марганець, вуглець і фосфор. Шлак в кінці періоду плавлення включає близько 40% CaO, 20% SiO₂, 8% MnO, 12% FeO і до 1% P₂O₅. У період окислення виконується подальше окислення вуглецю, марганцю, хрому та інших, максимально видаляється фосфор і газ, метал значно нагрівається. Окислення виконується за рахунок введення в піч руди або подачі кисню.

Після розплавлення шихти в піч присаджують руду, вапно і видаляють отриманий шлак, який має фосфор. Для більш повного видалення фосфору наводять і видаляють другий шлак, при цьому вміст фосфору знижується до 0,01...0,012%.

В окислювальний період (в процесі кипіння) вміст вуглецю знижується, видаляється азот і водень, а також сірка. Окислювальний період закінчується видаленням окисленого шлаку. У відновлювальний період проходить розкислення металу, видалення сірки і кінцева доводка хімічного складу сталі, для чого в процесі плавки беруть проби металу і шлаку. Спочатку в ванну вводять феромарганець і кокс або електродний бій, доводять вміст марганцю і вуглецю до потрібного, наводять шлак підвищеної основності, для чого вводять в піч суміш, яка включає 70% вапна, 15% плавникового шпату і 15% шамотного бою і виконують дифузійне (через шлак) розкислення сталі під білим або карбідним шлаком.

Після доведення хімічного складу і розкислення метал випускають з печі.

Поряд з основними електродуговими печами працюють і кислі (футеровка печі має основну і кислу основу). В них виплавляються вуглецеві і низьколеговані сталі для виливок, при цьому продуктивність таких печей вища за рахунок скорочення часу плавлення, також на 30...40% є меншими витрати електроенергії і вогнеупорів. Але при кислому процесі плавлення коректування складу металу більш складне, збільшуються витрати феросплавів і ставляться підвищені вимоги до обмеження вмісту в шихті сірки і фосфору. Особливістю плавлення в кислій електродуговій печі є саме розкислення металу кремнієм, який перед цим в умовах високої температури

відновлюється залізом і вуглецем з кремнезема футеровки печі. При виплавленні високоякісних сталей необхідно застосовувати дифузійне розкислення металу (через шлак).

3.4. Виплавлення сталі в мартенівських печах

Приблизно 60% всієї сталі виплавляється в мартенівських печах. Місткість таких печей досягає 900 т, а основним показником роботи мартенівської печі є добове отримання сталі в тонах з 1 м^2 площі череня печі і витрати умовного палива на 1 т сталі, яка виплавляється. Величина добового отримання сталі може доходити до 12 т/м^2 , а витрати умовного палива складають 130...250 кг/т. Застосування кисню, який вводять в зону горіння палива (в факел) або прямо в метал через фурми, які охолоджуються водою, або обома способами одночасно приводить до збільшення отримання сталі в межах $20\text{...}30\text{ т/м}^2$, при цьому продуктивність мартенівських печей підвищується на 25...50%.

Також, зниження витрат палива і підвищення продуктивності печі при одночасному скороченні витрат вогнеупорів можна досягти автоматизацією управління тепловим режимом печі.

Будова мартенівської печі наведена на рис. 3.3 і включає в себе ванну (черінь) 1 розплаву металу 2, яка зверху обмежена склепінням 3, а з боків – стінками 4 і відкосами. В передній стінці є завалочні вікна 5 для завантаження сирих матеріалів. Черінь ванни має нахил в бік випускання сталі. В залежності від виду вогнетривких матеріалів, з яких виготовлена піч, вона поділяється на основну чи кислу.

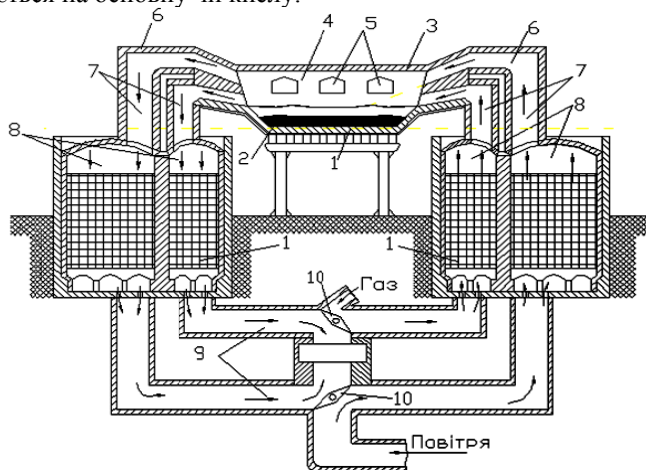


Рис 3.3. Будова мартенівської печі:

- 1 - ванна (черінь); 2 - розплав металу; 3 - склепіння; 4 - стінка; 5 - вікна;
6 - головки; 7, 9 - канали; 8 - регенератори; 10 - перекидні клапани

Зліва і справа від ванни розплаву розміщені головки печі 6, які необхідні для підводу горючого газу і нагрітого повітря по окремих каналах 7, для змішування і зпалювання газу на виході в робочий простір печі.

При роботі печей на мазуті вони мають тільки два регенератора 8 для підігріву повітря; головка має один канал для підводу нагрітого повітря і форсунку для спалювання палива. Отримання високих температур в зоні розплаву 1800...2000°C можливо тільки при використанні нагрітого повітря, а при роботі на газі – нагрітого газу (суміші доменного, коксுவального і генераторного). Нагрівання повітря і газу в регенераторах виконується за рахунок газів, які відходять. В момент, коли в лівій головці проходить змішування палива з повітрям і поступання продуктів горіння в плавильний простір, через праву головку і канали, які з'єднані з нею, відходять продукти горіння, нагріті до температури 1500... 1600°C. Гази, які відходять після очищення твердих частин в шлаковиках, поступають в регенератори. Для регулювання напрямку руху газу і повітря в піч, а продуктів горіння – до димової труби, в каналах 9 встановлені перекидні клапани 10.

Насадки нагріваються газами, які відходять з печі до температури 1250...1300°C, при цьому проходить автоматичне переключення перекидних клапанів, після чого газ і повітря починають поступати в піч через праві регенератори і головку, а через ліві - відводяться продукти горіння.

Повітряні і газові регенератори - це камери, які викладені вогнетривкою цеглою. Піч працює поперемінно правою і лівою частиною. В нижній частині регенератор з'єднаний з каналами по яких поступає газ і повітря і відходять продукти горіння.

В залежності від складу шихти, яка завантажується в піч, розрізняють три процеси: скрап-процес, скрап-рудний процес і рудний. Скрап-процес застосовують там, де немає доменних печей і багато металобрухту (скрапу), при цьому застосовується тверда шихта, яка складається з 65...75% сталюого брухту і 25...35% чавуну.

Скрап-рудний процес – це процес при якому в склад твердої шихти входить скрап і залізна руда, а основною масою є рідкий чавун. По скрап-рудному процесі працюють на металургійних заводах, де є доменні печі. В цьому випадку в шихту входить 30...35% скрапу (сталюого і чавунного брухту), 55...60% рідкого чавуну, крім цього додають 10... 20% залізної руди і 5...10% вапна.

Коли для виплавлення сталі застосовують рідкий чавун (без скрапу) і залізну руду, то такий процес називається рудним.

Процес плавлення включає наступні стадії:

- 1) заправлення печі (очищення череня і відкосів ванни від шлаку);
- 2) завалювання шихти (спочатку завантажується тверда шихта – сталюий скрап, залізна руда і вапно і після їх прогрівання, рідкий чавун);
- 3) плавлення;
- 4) кипіння металу, розкислення і легування (в цій стадії плавлення

проходить окислення домішок чавуну, при окисненні вуглецю виділяється велика кількість газів і цей процес називається кипінням металів. Потім іде розкислення і, якщо потрібно, легування);

5) випуск готової сталі в ківш.

3.5. Технологічний шлях від чавуну і брухту до сталі

Технологічний шлях від чавуну і брухту до сталі наведений на рис. 3.4.

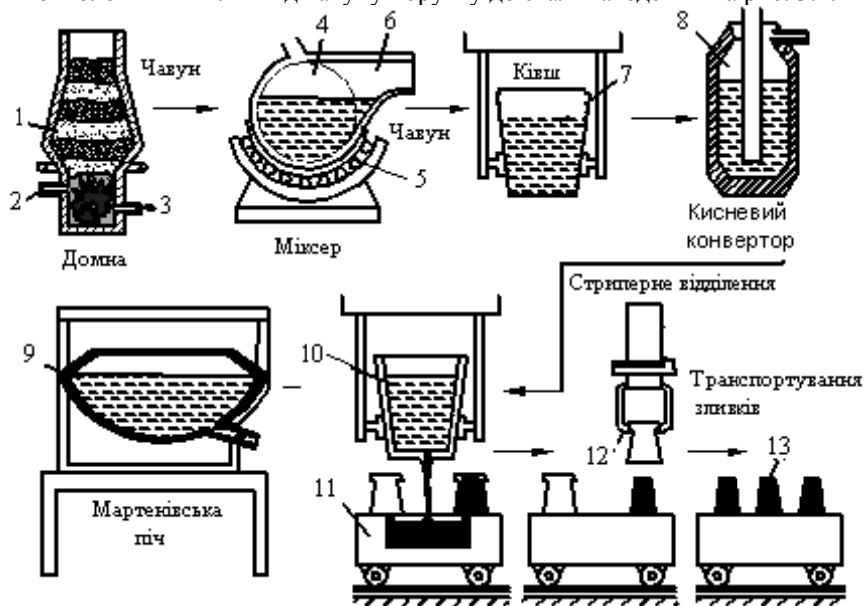


Рис. 3.4. Технологічний шлях від чавуну і брухту до сталі:

1 - домна; 2 - льотка для шлаку; 3 - льотка для чавуну; 4 - міксер; 5 - опори; 6 - горловина; 7, 10 - ківш; 8 - кисневий конвертор; 9 - мартенівська піч; 11 - сифонна розливка сталі; 12 - стриперний кран; 13 - стальний зливоч.

Продуктом домни 1 є чавун, який випускається через льотку 3 і подається в міксер (накопичувач) 4. Побічними продуктами доменного виробництва є шлак, який виходить з домни через льотку 2 і колошниковий газ.

Міксер 4 служить для накопичення чавуну в великих кількостях у розплавленому стані з подальшою подачею в кисневий конвертор 8 або мартенівську піч 9. Міксер має можливість нахилитись на опорах 5, при цьому розплав чавуну через горловину 6 виливається в ківш 7. Зовні ківш (рис. 3.5) має металевий кожух 1 з цапфами 2. З середини ківш футерований вогнетривкою шамотною цеглою.

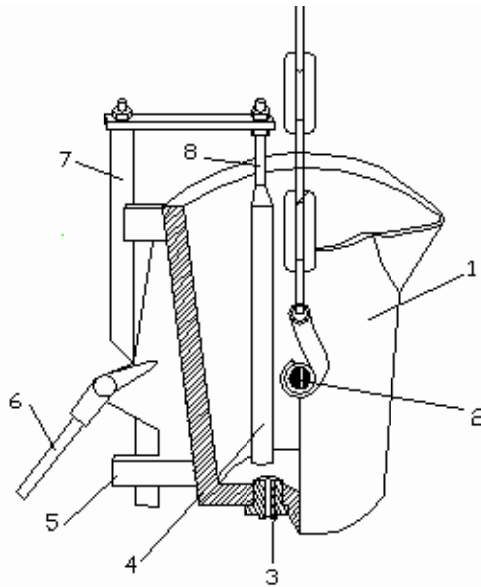


Рис.3.5. Сталерозливочний ківш:

1 - металевий кожух; 2 - цапфа; 3 - стаканчик; 4 - вогнетривкий корок; 5 - упор; 6 - важіль; 7 - шток; 8 – стержень.

Сталь з міксера поступає в ківш зверху. Місткість ківшів знаходиться в межах 0,5...375 т і більше. Сталь витримують в ківші протягом 5...15 хв для більш повного видалення газів, частинок шлаку і зниження температури металу. Випускання металу з ківша виконується через отвір в дні (стаканчик) 3. Цей отвір перекривається вогнетривким корком 4 за допомогою важеля 6, який приводить в рух стопорний пристрій. Стопорний пристрій включає в себе стержень 8 шток 7 і упор 5. При такому способі випускання сталі зменшується можливість попадання в неї шлаку, але є і недоліки. До недоліків слід віднести великий напір металу під час випускання і можливість застигання його в стопорному отворі.

Рідкий чавун в кисневому конверторі 8 за рахунок продування киснем перетворюється в сталь. Також сталь може бути отримана в мартенівській печі 9. З мартенівської печі і кисневого конвертора сталь ківшем 10 переміщується на дільницю розливання металу. Рідку сталь розливають у виливниці 3 (рис. 3.6), які можуть бути:

- 1) квадратні без дна;
- 2) квадратні з дном і утеплені додатковою надставкою 1;
- 3) восьмигранні з утепленою додатковою надставкою 2 для великих виливоч.

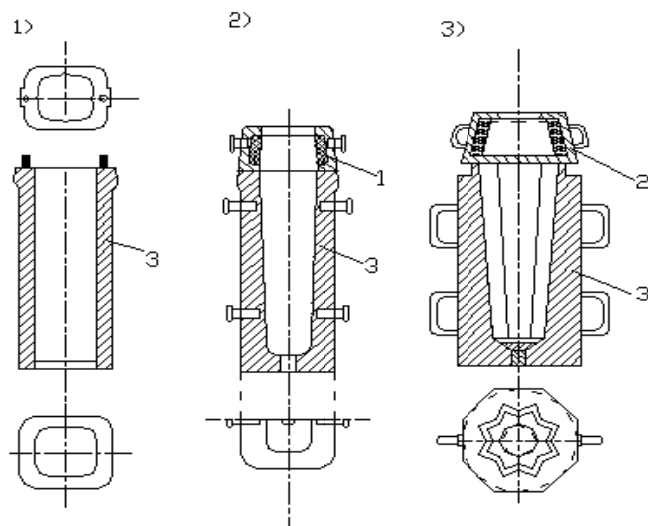


Рис 3.6. Види виливниць:

1 - квадратні без дна; 2 - квадратні з дном і утеплені додатковою надставкою; 3 - восьмигранні з утепленою додатковою надставкою для великих виливок

Виливниці виливають з чавуна, рідше з сталі. Квадратні виливниці застосовують для отримання виливок на прокат і поковок; шестигранні і восьмигранні – для поковок.

Для того, щоб через нижню частину виливниці не витікав метал, її встановлюють на масивний піддон, при цьому додаткові надставки є частиною виливниці і служать для формування виливка. Для зменшення швидкості охолодження додаткової частини надставки викладають в середині вогнетривкою цеглою. В основному вага виливок становить 6..8т, але можливі максимальні і мінімальні виливки вагою від 0,5 до 25т. Можливі два способи розливання сталі в виливниці – зверху і знизу (у вигляді сифону). При розливанні сталі зверху отримують великі виливки з спокійної (повністю розкисленої) сталі. При розливанні спокійної сталі зверху виливок отримують щільним, а в додатковій частині утворюється сконцентрована усадкова раковина, яка разом з додатком видаляється. Для зменшення розмірів відходу і додатків в виливках видаляють додаткові надставки; додаткову частину виливка підігрівають за рахунок засипання зверху на метал малотеплопровідних сумішей, або сумішей, які горять (FeSi), газовими пальниками, електричною дугою, пропусканням струму через шлак, індуктивним нагрівом; понижують температуру і швидкість заливання металу у виливниці; виготовляють виливниці ширші зверху. При розливанні зверху кількість неметалевих включень у виливці буде менша, ніж при сифонному розливанні.

На рис. 3.4 показана сифонна розливка сталі 11. Цим методом отримують виливки середньої і малої ваги із спокійної і киплячої (неповністю розкисленої) сталі. При цьому застосовуються виливниці розширені зверху або знизу (рис. 3.6).

Розливання сталі знизу (сифоном) показана на рис. 3.7. Виливниці 4 встановлюються на чавунний піддон 3, в якому проходять ливникові канали 2. Для запобігання руйнування ливникових каналів в піддоні застосовують вантаж 6. Метал поступає через центральний ливниковий канал 1 і одночасно може заповнювати від 2 до 50 виливниць. При розливанні сталі цим способом сильніше розігрівається нижня частина виливки і замість сконцентрованої раковини в сталі, яка кипить, отримується велика кількість газових пухирів і усадкових пор, які заварюються при її прокатуванні.

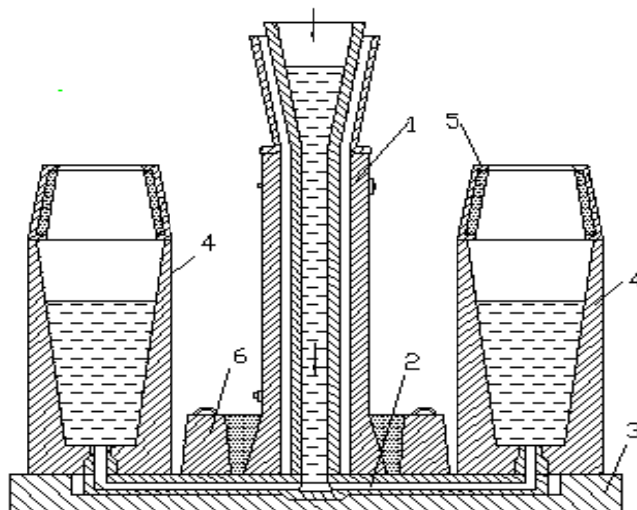


Рис 3.7. Розливка сталі знизу (сифоном):
1,2 - ливникові канали; 3 - чавунний піддон; 4 - виливниці; 5 - надставка;
6 - вантаж

Для збільшення виходу придатного металу застосовують більш прогресивний спосіб розливання сталі. Цей спосіб отримав назву безперервного розливання сталі, схема цього процесу наведена на (рис 3.8). Рідка сталь з ківша 1 попадає в додатковий накопичуючий пристрій 2, з якого надходить в мідний кристалізатор 3, який охолоджується водою. В кристалізаторі утворюється кірка 4 вилитої заготовки. Після подальшого охолодження водою, заготовка протягується роликками 5 і розрізається на мірні відрізки газовим різакром і подається на прокатування.

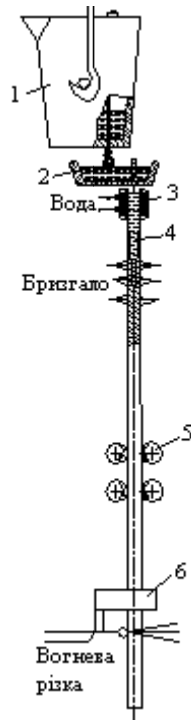


Рис 3.8. Схема неперервного способу розливання сталі:
 1 - ківш; 2 - накопичуючий пристрій; 3 - мідний кристалізатор; 4 - кірка
 вилитої заготовки; 5 - ролики; 6 - фіксатор

Мінімальний переріз заготовки 175x420 мм. Швидкість витягування заготовки складає 0,5...2,5 м/хв. На одноканальній установці при розливанні заготовок перерізом 165x1000 мм продуктивність досягає 70т/год. Кількість каналів в установці може бути більше 8 штук. Цей вид розливки сталі має високу продуктивність праці, малу собівартість і знижені експлуатаційні витрати сталі, підвищується вихід придатного металу. Для цього виду відпадає необхідність в великих обтискних станах типу блюмінгів, а також виливницях.

При розливанні сталі знизу (сифоном) виливниці видаляються в стріперному відділенні спеціальним стріперним краном 12 (рис. 3.4). В подальшому гарячі виливки транспортуються на візку до прокатного стану.

3.6. Пряме відновлення заліза з руд

Значне подорожчання коксу (на його долю приходить приблизно половини всіх затрат при виплавці чавуну) ставило перед вченими всіх країн

питання: чи можна отримати сталь із руд, виключивши проміжну стадію – отримання чавуну.

Проблемами безкоксової металургії займався ще основоположник сучасного матеріалознавства Д. К. Чернов. В кінці XIX століття він запропонував оригінальну конструкцію шахтної печі, яка б виплавляла не чавун, а залізо і сталь. Прихильником бездомного виробництва був і Д. І. Менделєєв. Він писав: “Я полагаю, что придет со временем опять пора искать способы прямого получения железа и стали из руд, минуя чугуны”.

Перша відносно вдала промислова установка для прямого отримання заліза була побудована в 1911 році в Швеції по проекту інженера Є. Сьєрина. Перевагою цієї технології було те, що відновлювачем, який відбирає у заліза кисень, служили відходи вугільного і коксового виробництва (кам'яновугільний пил і дрібні фракції коксу), а сама піч опалювалась дешевими сортами вугілля. Якість сталі була висока, але ця технологія не отримала широкого поширення, тому, що процес продовжувався декілька днів і конкурувати з добре відпрацьованими “дуетами” домна-мартен чи домна-конвертор шведська установка не могла.

Наступний крок в розвитку нової технології зробив шведський інженер М. Вибєрг в 1918 році, коли він запропонував вести процес відновлення в шахтній печі, використовуючи для цієї мети горючий газ, який включає окис вуглецю і водень. Цей спосіб дозволяв перетворювати руду в 95% залізо, але він мав суттєвий недолік – вихідним матеріалом для отримання відновлювального газу служив кокс, а для його газифікації потрібні були складні і дорогі пристрої - електрогазогенератори.

В кінці 50-х років металурги прийшли до висновку, що в ролі відновника в процесах прямого отримання заліза повинен виступати газ – шлях, який запропонував Вибєрг. Однією з пропозицій було використовувати газ електросталеплавильних цехів, який раніше викидали в атмосферу. Інші пропонували в шахтній печі, де проходить відновлення заліза, гарячий газ направляти в рекуператор і віддавати своє тепло газу-відновлювачу, який поступав туди. В 60-х роках замість утилізованого електропічного газу почали використовувати природний. Він коштував дорожче, але тепер установка для прямого отримання заліза не залежала від інших металургійних агрегатів і могла діяти самостійно в будь-якому місці, куди потрібно провести трубопровід для природного газу.

До отриманої руди з високим вмістом заліза (від 34 до 70%) добавляється глина, яка в барабанних окомкователях зліплює частинки концентрату в кульки діаметром 10...20 мм. Необхідна міцність окатишам надається відпалом у конвеєрній машині. Відпалені окатиші мають приблизно 67% заліза.

Відпалені окатиші поступають у 64-метрові циліндричні башти 1 з внутрішнім діаметром 5 метрів (рис. 3.9). Це установка металізації окатишів, де проходить пряме відновлення заліза. Окатиші поступають у приймальний

пристрій стрічковим конвеєром 2. Далі по трубах, які розміщені веєром, вони опускаються в шахту під дією власної ваги. Назустріч їм піднімається відновлювальний газ $\text{CO} + \text{H}_2$, який отримується в реформаторах.

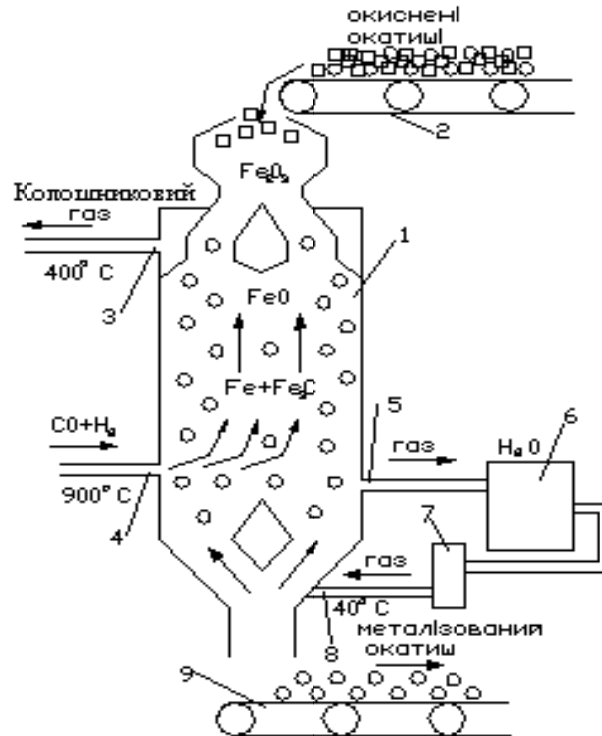


Рис 3.9. Установа металізації окатишів
1-циліндрична башта; 2, 9-стрічкові конвеєри; 3,4,5,8-трубопроводи;
6-скруббер; 7-компресор.

В реформаторах природний газ очищується від сірки (в ньому залишається не більше 5...10 молекул сірки на мільйон молекул газу) і піддається вуглекислотній конверсії: метан та інші вуглеводні перетворюються в окис вуглецю і водень. Ці сильні відновлювачі при $500\text{...}800^\circ\text{C}$ легко відбирають у заліза кисень і окиснені окатиші перетворюються в металізовані (в них більше 90% заліза).

Весь процес, включаючи підготовку газу і відновлення заліза, протікає в замкнутій системі: колошниковий газ через трубопровід 3 відходить з шахти при температурі 400°C і використовується для конверсії природного газу, який поступає в установку по трубопроводі 4 при температурі 900°C . В атмосферу викидається тільки дим із міжтрубного простору реформера після використання тепла.

Частина відновлювального газу відбирається через трубопровід при температурі 400°C охолоджується водою в скрубєрі 6 і компресором 7 через трубопровід 8 при температурі 40°C нагнітається в нижню частину установки 1.

Металізовані окатиші постійного хімічного складу – найкраща шихта для виплавки високоякісної сталі. Процес виплавки виконується в 150-ти тоннних дугових печах електросталеплавильних цехів, куди окатиші подаються з цеху металізації по стрічковому транспортеру 9.

Злита з електродугової печі в ківш сталь продувається аргоном і рафінується. Це додатково підвищує якість металу.

Звільнившись від газів та інших шкідливих домішок метал розливається на машині неперервного лиття в сортові заготовки.

Бездоменна металургія має ряд суттєвих переваг:

1) нова технологія дозволяє відмовитись від коксу, а значить від складного господарства коксохімічних, агломераційних і доменних цехів;

2) доменна плавка з потоками чавуну і шлаків замінюється більш простим в управлінні і обслуговуванні процесом металізації окатишів;

3) отримана електросталь включає значно менше сірки і фосфору (чистота сталі забезпечує високі механічні, фізичні і технологічні властивості). Сталь отримана таким способом має гарні показники ударної в'язкості, пластичності, магнітні характеристики, температурний поріг крихкості при низьких температурах.

Для бездоменної металургії характерні висока культура виробництва: відсутні такі атрибути традиційної технології, як пил, шум. Процеси, які базуються на прямому отриманні заліза легко піддаються механізації і автоматизації. Установки для металізації окатишів не наносять шкоди навколишньому середовищу, так як доменні і коксові печі, які викидають в атмосферу сірчані гази, феноли і ціаніди.

3.7. Вакуумно-дуговий переплав (ВДП)

Техніка завжди потребувала метал високої якості, але в даний час постало питання надійності металу. В нових умовах екстремальних температур, навантажень і перевантажень, агресивних середовищ і радіації працює метал. Справитись з такими питаннями класична металургія по своїй природі просто не може.

Надійність і якість сталі залежить від наявності в ній шкідливих домішок, газів, неметалевих включень, рівня їх концентрації, характеру розповсюдження і розподілення. Так виникло поняття “чиста сталь”. В лабораторних умовах отримати таку сталь неважко. Міцністі

характеристики цих сталей на порядок вищі ніж в реальних промислових умовах.

Ряд розвинутих країн Заходу пішли шляхом вакуумно-дугового переплаву (ВДП) електродів, що витрачаються (рис. 3.10).

Суть цього процесу заключається в тому, що в вакуумній камері (печі) 1 горить дуга між кінцем металеві заготовки (електрод, що витрачається) 5, який отриманий по звичайній технології в звичайному сталеплавильному агрегаті, і лункою рідкого металу 7. Цей метал утворюється в середині мідної виливниці 6 в результаті розплавлення заготовки. Виливниця охолоджується водою.

Плавлення електроду, як і при дуговому зварюванні носить крапельний характер. Вакуум в печі 1 створюється вакуум-насосом 3. Металева заготовка (електрод, що витрачається) закріплюється в електротримачі 2.

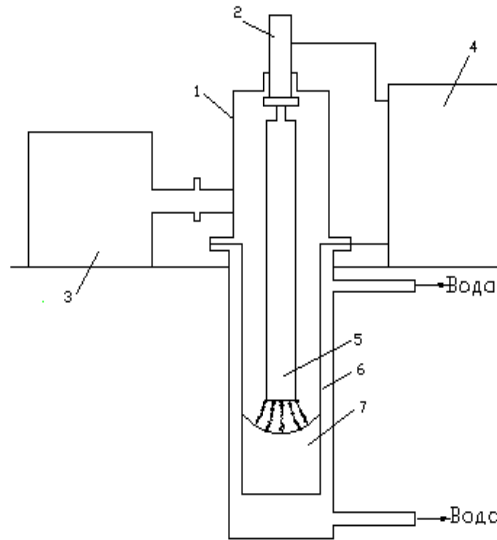


Рис 3.10. Схема вакуумно-дугової установки:

1 - вакуумна камера (печі); 2 - електротримач; 3 - вакуум-насос; 4 - пульт управління; 5 - електрод, що витрачається; 6 - мідна виливниця; 7 - лунка рідкого металу

Загальне управління виконується пультом 4. Інколи електрод, що витрачається, представляє собою шихту для вакуумно-дугової плавки, яка отримана спіканням брикетів або порошків відповідного складу.

По мірі розплавлення заготовки з відповідною швидкістю в виливниці 6 наплавляється вилівок переплавленого металу. В печі (ВДП) завдяки наявності вакууму проходить одночасно два процеси – видалення з кожної

каплі електродного металу газів, які розчинені в ньому – водню, кисню, азоту а також випаровування ряду домішок, в тому числі легкоплавких і тих які мають високу пружність пару. Деяка кількість газів і домішок продовжує видалятися і з ванни рідкого металу, який утворюється шляхом зливання капель електродного металу. Наплавлення виливка проходить відносно повільно. В сталому процесі зберігається квазірівноважний стан: об'єм металу, який кристалізується залишається постійним і в кожний момент часу він рівний об'єму розплавленого електродного металу. Кристалізація металічного розплаву в виливку ВДП носить чітко направлений осьовий або осьоворотаціональний характер на відміну від яскраво вираженої радіальної структури первинної кристалізації в звичайному виливку.

Печі працюють на постійному струмі напругою близько 80 В. Щільність струму, який застосовується, складає близько 500 А/см² перерізу виливка. Електрод, що витрачається (шихта), служить катодом, а отриманий в мідній виливниці виливок чистого металу – анодом. Між електродом і рідким металом в виливниці утворюється електрична дуга, тепло якої забезпечує безперервне розплавлення заготовки. З рідкого металу в умовах вакууму видаляються гази і домішки. Таким способом отримують виливки жароміцних сплавів, а також виливки таких, металів, як молібден, титан, цирконій тощо діаметром 300...600 мм і вагою 0,9...5,5 т.

Недолік вакуумного плавлення з електродом, що витрачається є складність обладнання і висока вартість металу, який виплавляється.

3.8. Електрошлаковий переплав сталі

Для таких металів як цирконій, ніобій і титан необхідний ВДП, а для жароміцних сплавів найбільш ефективним є електрошлаковий переплав сталі (ЕШП). Цей спосіб, розроблений Інститутом електрозварювання ім. Є.О. Патона, дозволяє рафінувати сталі без застосування вакууму. Перша піч ЕШП була побудована і введена в експлуатацію в 6-му сталеплавильному цеху заводу “Дніпроспецсталь” в травні 1958 року, вже через рік почали працювати електрошлакові печі і виник перший в світі цех ЕШП.

З цього моменту веде свій відлік історія нової галузі промисловості – “спеціальна металургія”, яка випускає метал особливо високої якості і особливої надійності. За допомогою цього процесу випускаються сьогодні сотні і тисячі тон відмінного металу у вигляді листа, сортового прокату, труб тощо із сталей і сплавів практично всіх класів і структурних груп.

Основна перевага ЕШП перед ВДП – більш високий вихід придатного металу, нижчі капітальні затрати і текучі витрати, більш висока технологічність при гарячому і холодному переділі (при практично рівній якості і надійності).

Спрощена схема електрошлакового переплаву сталі наведена на рис. 3.11.

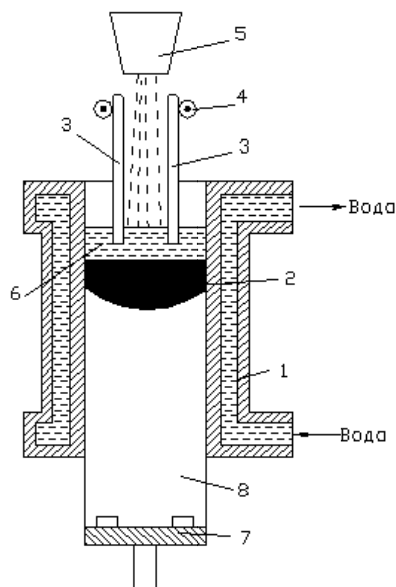


Рис 3.11. Схема електрошлакової переплавки сталі:
 1 - тигель; 2 - шар металу; 3 - електроди, які плавляться; 4 - подаючий пристрій; 5 - дозатор; 6 - шар шлаку; 7 - піддон; 8 - зливоч

Електроди з сталі, які плавляться 3 і які рафінуються на початку процесу наближуються до сухарів (виступів) піддона 7. При подачі напруги між електродами і сухарями виникає електрична дуга. За рахунок тепла дуг флюс розплавляється і утворює шар шлаку 6. Після того як шар шлаку досягне певної висоти, електроди занурюють у рідкий шлак, дуга гаситься процес переходить у бездуговий і протягом всього процесу переплаву тепло утворюється за рахунок проходження струму через шар шлаку, який має високий електричний опір. Шлак нагрівається при цьому до температури 2000°C. В перегрітому шлаці метал електродів розплавляється, очищується від домішок і утворює шар 2. Цей шар швидко кристалізується в тиглі 1, який охолоджується водою. При цьому утворюється зливоч 8.

По мірі розплавлення електродів вони пересуваються подаючим пристроєм 4 зверху вниз і разом з тим опускається і зливоч 8. Легуючі добавки вводяться із дозатора 5. Метал електродів після розплавлення взаємодіє з сильно перегрітим шлаком, при цьому проходить рафінування сталі. Вміст сірки знижується на 30...50%, інших шкідливих домішок в 2 - 3 рази.

Методом ЕШП виготовляється сталь спеціального призначення: інструментальна, шарикопідшипникова тощо. Ця сталь відрізняється

відсутністю грубих включень, високою щільністю, чистотою поверхні, відсутністю тріщин, пор, високими і однорідними механічними властивостями.

3.9. Застосування сталей та чавунів

3.9.1. Вуглецеві конструкційні сталі звичайної якості

Сталі звичайної якості містять підвищену кількість шкідливих домішок – сірки і фосфору. Сірка викликає в сталі явище червоноламкості, фосфор – холодноламкості. По ГОСТ 380-88 сталі звичайної якості діляться на групи А, Б, В. У марках киплячих сталей є індекс "кп", в напівспокійній - "пс" і в спокійній - "сп". Сталі групи А постачаються по механічним властивостям. Ці сталі маркуються буквами Ст. і цифрами 1, 2, 3, 4, 5, 6 (табл. 3.1).

Таблиця 3.1

*Призначення вуглецевої сталі звичайної якості
(ГОСТ 380-88, група А)*

Марка сталі	Область застосування
Ст0	Невідповідальні будівельні конструкції, огорожі, настили, сходові марші, арматура, прокладки, кожухи
Ст1сп Ст1пс Ст1кп	Деталі, які потребують високої в'язкості і низької твердості матеріалу: анкерні болти, заклепки, жорсткі зв'язки, зварні деталі
Ст2сп Ст2пс Ст2кп	Деталі металоконструкцій, малонавантажени кріпильні деталі, ланцюги, фланці; деталі, які цементуються: валики, осі, кулачки, зварні деталі
Ст3сп Ст3пс Ст3кп Ст3Гпс	Деталі металоконструкцій: балки, ферми, конструкції підйомних кранів, крюки кранів, деталі, які цементуються і ціануються: поршневі пальці, шестерні, черв'яки, валики
Ст4сп Ст4кп Ст4пс	Деталі металоконструкцій; деталі які мало навантажені: вали, осі, шестерні, ричаги, хомути; деталі, які цементуються і ціануються: поршневі пальці, валики, шестерні, черв'яки
Ст5сп Ст5пс Ст5Гпс	Арматура, крюки кранів, серги ресор, болти, гайки, зірочки, вали, осі, упори підшипників, клинці, штоки, тяги, шайби
Ст6сп	Деталі які мають підвищену міцність: вали, осі, колінчаті вали, пальці траків, тяги, клинці, фланці, стяжні кільця

Із збільшенням цифри межа міцності збільшується, а пластичність зменшується.

Сталь групи Б поставляється по хімічному складу.

Сталь групи В поставляється по механічним властивостям і хімічному складу. Механічні властивості сталей групи В при розтягуванні визначаються нормами для сталей групи А. В ГОСТ 380-88 включені вимоги до сталей цієї групи по ударній в'язкості. Наприклад, сталі марок ВСт3сп, ВСт3пс мають ударну в'язкість при температурі -20°C не менш 0,3 МПа, при +20°C – 0,7 МПа; ВСт3Гпс – відповідно 0,4 і 0,3 МПа і ВСт4пс при +20°C – не менше 0,7 МПа.

Хімічний склад сталі групи В визначається нормами для сталей групи В. Виключення – нижня межа вмісту вуглецю в сталі.

3.9.2. Вуглецеві інструментальні сталі

Ці сталі виплавляються у мартенівських і електричних печах, а також методом електрошлакового переплавлення і використовуються для виготовлення різальних, вимірювальних і штампових інструментів. Вуглецеві інструментальні сталі позначаються буквою У і цифрою, яка відповідає середньому вмісту вуглецю в десятих долях відсотку.

По ГОСТ 1435-90 вуглецеві сталі поділяються на:

- якісні: У7, У8, У9, У10, У11, У12, У13;
- високоякісні: У7А, У8А, У8ГА, У9А, У10А, У11А, У12А У13А.

Буква А вказує на понижений вміст в сталі шкідливих домішок: сірки – до 0,02% і фосфору – до 0,03%; буква Г вказує на підвищений вміст марганцю (до 0,35...0,60%).

Області застосування вуглецевих інструментальних сталей наведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2

*Призначення вуглецевої інструментальної сталі
(ГОСТ 1435-90)*

Марка сталі	Область застосування
У7 У8	Інструмент який працює з ударом: зубила, молотки, штампи, сокири, викрутки
У8; У8А У8Г; У8ГА	Інструмент який працює з ударом: пробійники, фрези, слюсарний інструмент, матриці, пуансони, пили, долота

3.9.3 Вуглецеві конструкційні якісні сталі

Ці сталі виплавляються в мартенівських і електричних печах, а також в основних конверторах з продуванням киснем зверху. Вони, згідно ГОСТ 1050-88, можуть бути таких марок: 05кп, 08кп, 08пс, 08, 10кп, 10пс, 10, 15кп,

15пс, 15, 20кп, 20пс, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 58 (55пп), 60, 65, 70, 75, 80, 85, 60Г, 65Г, 70Г.

Цифри в марках сталі позначають середній вміст вуглецю в сотих долях відсотку, буква Г вказує на вміст марганцю (біля 1 %). Вміст сірки в сталях всіх марок не перевищує 0,04%, фосфору -0,035%. Область застосування сталей наведена в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3

*Призначення вуглецевої конструкційної якісної сталі
(ГОСТ 1050-88)*

Марка сталі	Область застосування
08; 10	Деталі з високою пластичністю: прокладки, шайби, тяги, ковпачки; деталі, які цементуються і ціануються: валики, зубчаті колеса, втулки
15; 20; 25	Елементи трубних з'єднань, фланці, болти, труби; деталі які цементуються і ціануються: осі, шестерні, упори, зірочки, втулки, пальці задніх ресор, вкладиші
30	Осі, траверси, втулки, шпинделі, циліндри, маховики, фланці, деталі для кріплення, колінчаті вали, шатуни
40; 45	Арматура, осі, вали, штоки, зубчаті колеса, черв'яки, ротори турбін, диски
50; 55	Деталі високої міцності: зубчаті колеса, штоки, вали, осі, шатуни, шліцові вали
60	Ексцентрики, бандажі, зубчаті колеса
65; 70; 75; 80; 85	Пружини клапанів двигуна автомобіля, випускні клапани компресорів, ресори, пружини, валки для прокатування, кранові колеса, пружини амортизаторів, шпинделі, прокладки для регулювання
60Г; 65Г; 70Г	Зубчаті колеса, упорні кільця, пружинні шайби, гальмівні диски, плоскі і спіральні пружини, ресори, бандажі, фланці упорні розподільчого валу

3.9.4. Будівельні сталі

В якості будівельних сталей використовуються вуглецеві і низьколеговані сталі з невисоким вмістом вуглецю (табл. 3.4, табл. 3.5)

Таблиця 3.4

<i>Призначення будівельних сталей</i>	
Марка сталі	Область застосування
Ст0	Будівельні конструкції з листового і сортового прокату, арматура
Ст1	Анкерні болти, жорсткі зв'язки, заклепки
Ст2	Заклепки, листи, труби, невідповідальні топочні пристрої
Ст3кп	Листовий і сортовий прокат для будівельних конструкцій, болти
Ст3	Листовий і сортовий прокат для будівельних конструкцій і мостів, крюки, болти

Таблиця 3.5

<i>Призначення низьколегованих сталей</i>	
Марка сталі	Область застосування
14Г	Кутники, болти
14Г2	Труби високого тиску
16ГС	Корпуси апаратів, днища парових котлів і посудів
10ГС1 14ХГС	Будівельні ферми, конструкції мостів, осі, тяги
15ХСНП	Сталі для армування залізобетонних конструкцій
25Г2С 18Г2С	Арматура різного профілю і перерізу

3.9.5. Леговані конструкційні сталі

Леговані конструкційні сталі – це вуглецеві сталі, в склад яких вводяться легуючі елементи для підвищення механічних властивостей деталей у термічнообробленому стані. Основні легуючі елементи: хром, кремній, марганець, нікель, вольфрам, молібден, титан, ванадій, бор тощо. Хром, кремній, марганець впливають на властивості сталі при легуванні в об'ємах 0,8...1,8%, тоді як молібден, титан, бор, ванадій тощо вводяться в сталь в об'ємах десятих і сотих долях відсотка (від 0,02 до 0,3%). Легуючі елементи підвищують межу текучості, відносно видовження, ударну в'язкість, зменшують розмір зерна, збільшують прогартовуваність і дисперсність структур які отримуються. Ці якості особливо проявляються в деталях великого перерізу (більше 15...20 мм). Для забезпечення високої

прогартовуваності в сталь вводять марганець, хром, бор, молібден. Нікель підвищує прогартовуваність сталі, пластичність і жорсткість, знижує температурний поріг холодноламкості.

Легуючі елементи підвищують стійкість мартенситу проти відпуску і підвищують міцність сталі після покращення (загартування з високим відпуском).

Найбільш сильно підвищують міцність хром, молібден і кремній. Вольфрам знімає явище відпускової крихкості, що важливо для великогабаритних деталей.

Деякі області застосування цих сталей наведені в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6

Деякі призначення легованої конструкційної сталі

Марка сталі	Твердість HRC	Область застосування
1	2	3
60С2	42-48	Пружини рульових тяг
15Х	58-62	Розподільний вал двигуна ЗАЗ, кулачкові муфти, шпонки
18ХГТ	58-62	Вали рульової сошки, напрямні чавунних станин, зовнішні втулки, ходові гвинти пар ковзання
20ХГН4А	58-62	Конічні шестерні головної передачі
40ХГНМ	42-53	Ричаги рульового управління
50ХФА	42-50	Пружини клапанів автомобіля ЗАЗ
50ХТ	37-45	Листи передній і задній ресор
35ХМ	45-50	Зубчаті колеса коробок передач
ШХ15	48-58	Плунжерна пара, гайка передач гвинт-гайка кочення
ХВТ	56-62	Клапани для нагнітання двигунів внутрішнього згоряння
38ХМЮ А	58-62	Кільця поршневих двигунів, гільзи циліндрів, шпинделі високоточних верстатів (з числом обертів шпинделя більше 200)
20Х	58-62	Шпонки, втулки, направляючі чавунних станин, шпindel і черв'яки токарно-гвинторізного верстату, напрямні шліфувальних верстатів, палець передньої ресори
40Х	44-46	Вал карданний, колінчатий вал автомобільного двигуна, шпindel і шестерні редуктора токарно-гвинторізного верстату, шпindel фрезерного верстату, черв'яки, гайка зубчато-рейкового приводу токарно-гвинторізного верстату

1	2	3
40XHM	48-52	Колеса шестеренних насосів
9XC	45-50	Гайка для передач гвинт-гайка кочення
12X13A	48-52	Колеса зубчаті токарно-гвинторізного верстату
XBH	50-56	Ходові гвинти подачі різьбошліфувальних верстатів
18XНВА	56-60	Шестерні коробки швидкостей фрезерного верстату
30XГТ	56-62	Зубчаті колеса коробок передач вантажних автомобілів, зубчаті колеса заднього мосту автомобілів
15XГН2ТА	56-62	Вал ведучий коробок автомобіля ЗАЗ
12XН3А	48-62	Сателіти хрестовини диференціала, шпинделі прецизійних верстатів з ЧПУ, втулки шпинделів важких зуборізних верстатів
15XФ		Шворінь поворотного кулака
15XГНТА		Зубчасті колеса коробок передач
20X2Н4А		Кільця підшипників, кільця карданних підшипників
20XФ		Стакан роликового підшипника
20XГР		Хрестовина кардана
18X2Н4ВА		Колінчатий вал дизеля
30X3ВА		Ходові гвинти пар кочення і пар ковзання
1X13		Деталі турбін які отримують ерозійне зношення

3.9.6. Леговані інструментальні сталі

Леговані інструментальні сталі мають більш високі механічні властивості по зрівнянню з вуглецевими сталями, більш високу прогартовуваність. Інструменти із легованої сталі прогартовуються наскрізь, з меншою деформацією без утворення загартовочних тріщин.

В залежності від технологічних властивостей інструментальні сталі поділяються на групи:

1. Сталі для штампів холодного деформування і інструмента для різки металу без знімання стружки. Основні вимоги до сталей цього типу – висока твердість, в'язкість, прогартовуваність, незначна деформація при термообробці. Марки цих сталей: ХВСГ, Х12Н, Х12Ф1, 7ХГ2ВМ, 9Х5Ф, Х6ВФ (витяжні, вирубні, діропробивні штампви); ХВГ, Х6ВФ (ножі ножиць); 6ХС, 5ХВ2С, 37ХН3Н (пневматичний інструмент, зубила).

2. Сталі для штампів гарячого деформування. Для цих сталей основні вимоги – висока прогартовуваність, теплостійкість, опір термічній втомі. Марки цих сталей: 5ХНМ, 5ХНВ, 4ХМС, 5Х2МНФ, 4Х5МФС, 4Х3ВМФ, 3Х3М3Ф, 5Х2В5МФ.

3. Сталі для вимірювального інструменту. Основні вимоги – висока твердість (60-65 HRC), зносостійкість, відсутність зміни розмірів в процесі експлуатації. Марки цих сталей: 9ХС, ХВ5, 5ХНВ.

4. Сталі для різального інструменту. Основні вимоги – висока твердість і зносостійкість різальної кромки, висока червоність (здатність зберігати довгий час високу твердість і різальні властивості при високих температурах). Марки цих сталей: Р18, Р9Ф5, Р5М6, Р9К5, К5Ф2.

Деякі області застосування цих сталей наведені в таблиці 3.7.

Таблиця 3.7

Деякі призначення легованої інструментальної сталі

Марка сталі	Твердість HRC	Область застосування
1	2	3
ХВГ	52-64	Ножі листових ножиць НД3318, протяжки для обробки деталей невисокої твердості
9ХС	60-65	Свердла центрувальні і цекувальні, зенкери суцільні, розвертки, фрези циліндричні торцеві, фрези кінцеві циліндричні, фрези трьохсторонні з вставними ножами, фрези відрізні і шліцові, мітчики, плашки круглі, фрези дискові, зуборізні, різці для ремонтних і лекальних робіт
Р9	62-65	Зенкери складальні (різальна частина), фрези трьохсторонні з вставними ножами, гребінки круглі до гвинторізних головок, довб'яки зуборізні, різці для напівобдиральних і чистових робіт, різці пластинчаті

1	2	3
P18	62-65	Фрези трьохсторонні з вставними зубами, пили круглі сегментні для металу, фрези різьбові гребінчасті, гребінки круглі до гвинторізних головок, різці для напівобдиральних і чистових робіт
P6M5	61-65	Пили круглі сегментні для металу, довб'яки зуборізні, різці обтиральні, різці для напівчистових і чистових робіт, різці пластинчаті
9X	56-61	Мітчики
XГ	58-62	Плашки круглі, протяжки для обробки деталей невисокої твердості
X12M	58-60	Плашки різьбові, плоскі
X,X09	62-64	Різці для ремонтних і лекальних робіт
XB5	62-69	Різці для чистових робіт

3.9.7. Чавуни

Чавуни, як і сталь, є сплавом заліза з вуглецем, кремнієм, марганцем, сіркою і фосфором. Від вуглецевої сталі він відрізняється більшим вмістом вуглецю (від 2,14 до 6,67%) і іншими домішками.

В залежності від вмісту домішок, швидкості охолодження і подальшої обробки отримують білі, сірі, ковкі і високоміцні чавуни.

У білих чавунах більша частина вуглецю знаходиться в зв'язаному стані, і тому такий чавун дуже твердий і крихкий. Отримують білий чавун шляхом збільшення вмісту марганцю і швидкого охолодження. Білі чавуни – це переробний чавун з якого виготовляється сталь.

Сірий чавун (ГОСТ 1412-85) – це сплав заліза-вуглецю-кремнію і який, також, включає у вигляді домішок марганець, фосфор, сірку. Основна маса вуглецю в ньому знаходиться у вигляді пластинчастого графіту. Вміст вуглецю в сірих чавунах звичайно складає від 2,4 до 3,8%, а вміст кремнію знаходиться в межах 1,2...3,5% і чинить сильний вплив на структуру і властивості чавунів.

Сірий чавун маркується по слідуєчому принципу: букви "СЧ" позначають сірий чавун, число вказує величину межі міцності при розтягуванні (σ_g). Наприклад, марка чавуна СЧ21 означає, що це сірий чавун з межею міцності

при розтягуванні 21 Н/мм². Марки і призначення сірих чавунів наведені в таблиці 3.8.

Таблиця 3.8

Призначення сірого чавуна

Марка чавуна	Область застосування
СЧ10	Маловідповідальні деталі, які отримують невеликі навантаження в роботі: будівельні колони, фундаментні плити, малонавантажені деталі сільськогосподарських машин, верстатів, автомобілів і тракторів, арматура
СЧ21; СЧ24; СЧ25	Відповідальні деталі, які піддаються вібрації і перемінним навантаженням без ударів, працюють при температурі не вище 300°C, станини двигунів, зубчаті і черв'ячні колеса, маховики, поршні, циліндри, станини і стійки різних верстатів, салазки, столи
СЧ30	Відповідальні деталі; які піддаються високим напругам, стиранню, працюють при температурі 300°C і вище; циліндрові блоки двигунів, циліндри компресорів, гільзи двигунів, корпуси клапанів, корпуси форсунок і паливних насосів, зубчаті і черв'ячні колеса
СЧ35; СЧ40; СЧ45	Особливо відповідальні деталі, які піддаються високим напругам, вібрації і сильному зносу при значних швидкостях: шевронні шестерні, колінчаті вали, поршні, гальмівні барабани, шпинделі, гідроциліндри, корпуси гідронасосів, золотники високого тиску

Ковкий чавун (ГОСТ 1215-79) отримують довгим нагрівом при високих температурах виливок із білого чавуна. Ковкий чавун включає менше вуглецю і кремнію: 2,5...3,0% С і 0,7...1,5% Si. Зменшення вуглецю веде до підвищення пластичності, так як зменшується кількість графіту, який виділяється при відпалі.

Маркується ковкий чавун таким чином: букви "КЧ" означають ковкий чавун, перше число – межу міцності при розтягуванні, друге – відносне видовження. Наприклад, марка КЧ30-6 означає, що це ковкий чавун з межею міцності при розтягуванні 30 МПа і відносним видовженням 10%.

Марки і призначення ковких чавунів наведені в таблиці 3.9.

Високоміцний чавун (ГОСТ 7239-85) отримують присадкою в рідкий чавун невеликих добавок магнію. По вмісту інших елементів високоміцний чавун не відрізняється від сірого. Ці чавуни мають високі механічні властивості, які не уступають литій вуглецевій сталі. При цьому вони

зберігають властивості, які притаманні чавунам: добрі ливарні властивості, обробляемість різанням, здатність гасити вібрації.

Таблиця 3.9

Призначення ковкого чавуна

Марка чавуна	Область застосування
КЧ30-6	Деталі, які працюють при низьких навантаженнях: хомути, гайки, ніпелі, муфти
КЧ33-8	Деталі, які працюють при середніх навантаженнях: підшипники, кронштейни, башмаки, скоби, підкладки
КЧ35-10 КЧ37-12	Деталі, які працюють при високих навантаженнях (матеріал, який повинен мати підвищену міцність при високій пластичності): картери редуктора, задній міст, пальці, ступиці, крюки
КЧ45-6	Деталі, які працюють при високих і особливо високих навантаженнях чи в тяжких умовах зносу (матеріал, який повинен мати високу міцність і зносостійкість при можливо високій в'язкості): муфти, зірочки, ланки приводних ланцюгів, гальмівні колодки, колінчаті вали, втулки і ричаги

Маркується високоміцний чавун таким чином: букви "ВЧ" означають високоміцний чавун, перше число – межу міцності при розтягуванні (σ_T), друге – відносне видовження δ ,%. Марки і призначення високоміцних чавунів наведені в таблиці 3.10.

Таблиця 3.10

Призначення високоміцного чавуна

Марка чавуна	Область застосування
ВЧ45-5	Фланці, циліндри, шестерні
ВЧ38-17 ВЧ42-12	Деталі, які піддаються високим динамічним навантаженням: прокатні валки (до 12 т.), траверси пресів, шаботи кувальних молотів, корпуси парових турбін, кронштейни, колінчаті вали.
ВЧ50-2 ВЧ50-7 ВЧ60-2 ВЧ70-2 ВЧ80-2 ВЧ 100-2 ВЧ 120-2	Деталі, які піддаються високим навантаженням, а також, які працюють на зношення: циліндри, поршні, зубчаті колеса і черв'яки, картери, гальмівні диски, корпуса парових турбін

Виробництво кольорових металів

- 4.1. Виробництво міді.
- 4.2. Виробництво алюмінію.
- 4.3. Виробництво магнію.
- 4.4. Виробництво титану.
- 4.5. Виробництво нікелю.
- 4.6. Застосування кольорових металів та їх сплавів.

Всі метали діляться на чорні (залізо та його сплави) і кольорові (всі останні). Всі кольорові метали по вартості (починаючи з найдешевшого) можна розмістити в наступному порядку: цинк, алюміній, мідь, свинець, магній, нікель, олово, титан тощо.

4.1. Виробництво міді

Найчастіше мідь отримують із руд, які включають в себе сульфідні CuS , Cu_2S . Мідь у вигляді самородків зустрічається дуже рідко. Приблизно 80% міді отримують із сульфідних руд. Наприклад, мідний колчедан включає $CuS \cdot FeS$, мідний блиск – Cu_2S . Можуть зустрічатися кисневі з'єднання міді Cu_2O і рідше вуглекисні з'єднання міді $CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2$. Вміст міді в рудах складає 1...3%. Крім міді в цих рудах є невелика кількість цинку, свинцю, нікелю та інших металів. Також, ці руди включають велику кількість піриту FeS_2 і пустої породи у вигляді пісковика, вапняку, глини та інших сумішей.

Отримання міді із руд включає 4 етапи:

1. Відпал руд;
2. Отримання мідного штейна;
3. Отримання чорної міді;
4. Рафінування міді.

Перед цим виконується збагачення руд методом флотації. Руда подрібнюється і перемелюється до зерен розміром 0,05...0,5 мм. Для видалення частинок, які включають мідь застосовується метод змочування водою частинок, які не включають мідь. Частинки, які включають мідь погано змочуються водою. Через суміш подрібненої і перемеленої руди, реагентів, води і піноутворюючих речовин в флотаційних машинах продувають повітря. При цьому утворюються пухирі, до яких прилипають незмочені водою частинки багаті міддю. Останні разом з пухирями спливають на поверхню у вигляді піни. Пуста порода, змочена водою осідає на дно ванни. Збагачення руд дає можливість підняти вміст міді в рудах до 10...35%.

Відпал руди проводиться для максимально можливого зменшення в руді сірки і виконується він в киплячому шарі в спеціальних печах. На рис 4.1 наведена схема такої печі.

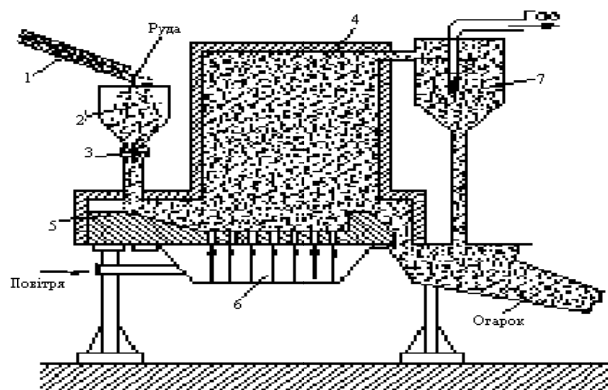


Рис. 4.1. Схема печі для відпалу руди в шарі, який кипить:
1 - транспортер; 2 - бункер; 3 - дозатор; 4 - камера; 5 - фурма (отвори);
6 - повітряна коробка; 7 - пилоуловлювач

Подрібнена руда підводиться транспортером 1 до бункера 2 і з нього через дозатор 3 поступає на фурму 5, яка має отвори. Під дією струменя повітря із повітряної коробки 6 частинки неперервно підкидаються вгору і в гарячій камері 4 підтримуються в підвищеному стані. Шар частин кипить і кожній частині забезпечується найкращий контакт з газами, при цьому окислюється (горить) сірка. Утворені сірчані гази із камери 4 поступають в пилоуловлювач 7 і звідти після очищення направляються для отримання сірчаної кислоти. В камері за рахунок тепла хімічних реакцій підтримується температура в 600...700 °С. Залізо і сірка окислюються. При відпалі сірчаних руд виводиться до 50% сірки. В результаті відпалу отримують відпалену руду яка називається огарком.

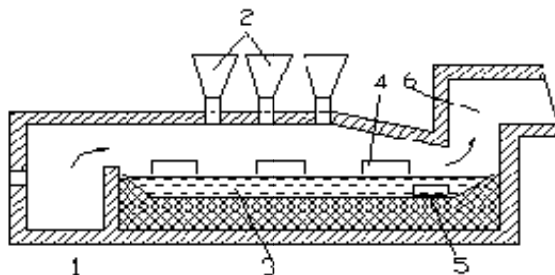


Рис. 4.2. Відбивна піч для виплавки мідного штейну
1 - камера згорання; 2 - воронки; 3 - ванна; 4 - отвори для виводу шлаку;
5 - лютка; 6 - димохід.

Для отримання мідного штейну огарок плавлять в спеціальних печах (рис. 4.2). Ці печі роблять довжиною 30...35 м, шириною 8...11 м і висотою 3,5...4,5 м. Стінки викладають із динасової цегли, а склепіння – із динаса чи магнезитової цегли. Піч набивають кварцевим піском, зерна якого при нагріванні до температури 1500...1600°C переходять в триміт і спікаються. В піч завантажуються більше 100 т огарку. Температура в зоні плавлення досягає 1450°C.

Із бункера, який розміщений на вагонетці, через воронки 2 в піч завантажуються руда і флюс на черинь ванни розплаву 3. Розплавлена маса розділяється в ванні на два шари: внизу-розплавлений шар – штейн, а зверху шар окислів – шлак. Печі опалюються кам'яновугільним пилом, мазутом і природним газом. Паливо спалюється в камері згорання 1, яка розміщена в одному кінці печі, а гази видаляються із печі через димохід 6, який розміщений в другому кінці печі. Шлак і штейн періодично випускаються із печі по мірі їх накопичення через спеціальні отвори, шлак через отвори 4, а штейн через лютку 5. Штейн включає 20...50% міді, 20...40% заліза, 22...25% сірки, близько 8% кисню і домішки нікелю, цинка, свинцю, золота і срібла.

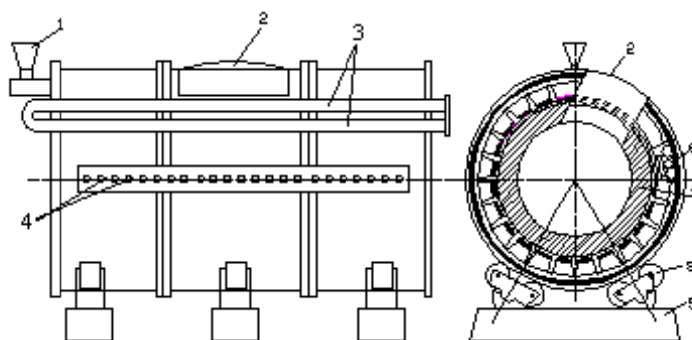


Рис 4.3. Горизонтальний конвертор для продувки мідних штейнів:

1 - отвір для подачі флюсу (молотого кварцу); 2 - горловина; 3 - канали для подачі повітря; 4 - фурми; 5 - фундамент; 6 - стальний кожух; 7 - вогнетривка кладка; 8 - ролики з приводом для повертання конвертора

Отримання чорної міді виконується в конверторах горизонтального типу з бічним дуттям (рис. 4.3). Цей конвертор має довжину 6...10 м і зовнішній діаметр 3...4 м. Футеровка виконана із магнезитної цегли. Ємність таких конверторів від 10 до 120 т.

Заливання штейну, завантаження кварцевого флюсу, який включає 75...80% SiO_2 , випуск чорної міді і видалення газів виконують через горловину конвертора, яка розміщена в середній частині корпусу. Фурми для

вдування повітря в кількості 46 – 52 шт. діаметром близько 50 мм розміщені по твірній поверхні конвертора. Дуття подається під тиском в 0,75...1,25 аті (75...125 кН/м²) від повітрярозподільчої труби. Конвертор на котках встановлений на фундаменті і може за допомогою приводу повертатись навколо горизонтальної осі. Тепло в конверторі утворюється без подачі палива за рахунок хімічних реакцій (реакцій окислення). Завдяки цим реакціям температура розплаву в конверторі підвищується з 1100...1200 °С (температура залитого штейну) до 1250...1350 °С.

Чорнову мідь виливають через горловину конвертора в ківші, а потім розливають в зливки, для чого використовують розливочні машини. Продуктивність конвертора за одну операцію становить 80...100 т.

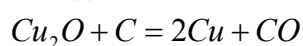
Чорнова мідь включає сірчані з'єднання, окисли, залізо, домішки золота, срібла, свинцю, сурми тощо (загальний вміст 0,5...1,5%) і тому не може бути використана в такому вигляді для технічних цілей.

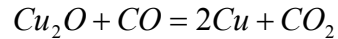
Отриману чорнову мідь розливають на чушки, а при наявності міксера в рідкому стані направляють на рафінування (очистку).

Вогняне рафінування виконується в полум'яних відбивних печах місткістю до 250 т. Ці печі опалюються мазутом або пиловидним паливом. Процес рафінування складається із розплавлення чушок чорнової міді, окислення домішок, видалення газів, які розчинені в металі і розкислення міді. Домішки окислюються продуванням розплавленої чорнової міді повітрям, яке подається через фурми під тиском до 2 ат. При цьому домішки окислюються в відповідності з їх тепловими ефектами в наступній послідовності: *Al, Si, Mn, Zn, Sn, Fe, Ni, As, Sb, Pb, Bi, Cu*.

Одна частина домішок (*Al₂O₃, SiO₂, Fe₂O₃* тощо) переходять в шлак, інша (*ZnO, PbO* тощо) видаляються з пічними газами, третя (*Au, Ag*) залишаються в розплаві. Відповідно закону діючих мас одночасно окислюються і частини міді.

Окислення домішок продовжується на протязі 3 годин. Після скачування шлаку виконується відновлення міді “дратуванням” на щільність. В метал вводять сирі, а потім сухі дерев'яні поліна і ними перемішують рідку мідь. При цьому проходить бурхливе виділення парів води і газів із дерева. При цьому відновлюється мідь і виділяється сірчаний газ, а утворені вуглеводні розкислюють мідь.





В результаті драгування вміст Cu_2O в міді знижується з 10...12 до 0,3...0,5%. Готову мідь з вмістом 99,5...99,7% Cu випускають із печі в ківші і розливають на анодні плати (для електролізу) чи на виливки (для виробництва сплавів).

В даний час до 95% чорної міді піддають електролітичному рафінуванню, що дозволяє отримувати мідь більш високої чистоти і дозволяють видобувати золото, срібло, селен, теллур та інші домішки.

Для електролізу виготовляють електролізні ванни (рис 4.4).

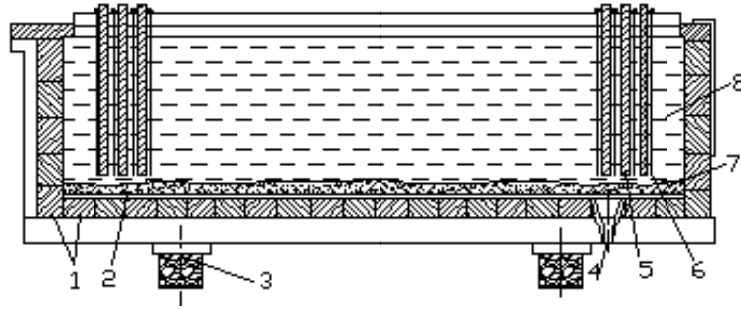


Рис 4.4. Електролізна ванна для рафінування міді:

- 1 - дерев'яний корпус ванни; 2 - листовий свинець; 3 - ізолятори;
4 - отвір для спускання осаду (шлаку); 5 - анод; 6 - катод; 7 - шлам; 8 - електроліт

Дерев'яний корпус ванни облицьований в середині листами свинцю, асфальтом, бакелітом чи вініпластом. В ванну в якості електроліта заливають 12...16 – відсотковий водний розчин мідного купоросу в сірчаній кислоті. Мідні катоди виготовляють із тонких листів (0,5...0,7 мм) чистої міді, а анодні плити – із міді після вогневого рафінування. Вага анодних плит 200...250 кг, товщина 40...50 мм. В процесі пропускання постійного струму силою 10000...15000 А при напрузі 0,3 В анодні пластини розчиняються і чиста мідь відкладається на катодних пластинах. До катода підводять струм від мінусового полюса, а до анодного – від плюсового. На протязі 10...12 днів на кожному катоді (їх в ванні більш 20 шт.) відкладається близько 100 кг міді. Витрата електроенергії складає 250...300 квт·г на 1 т (0,9...1,1

МДж/кг) міді. Цінні метали (золото, срібло тощо) осідають на дно разом із шламом. Шлам випускають через отвір, звідки вони видаляються за допомогою спеціальної обробки.

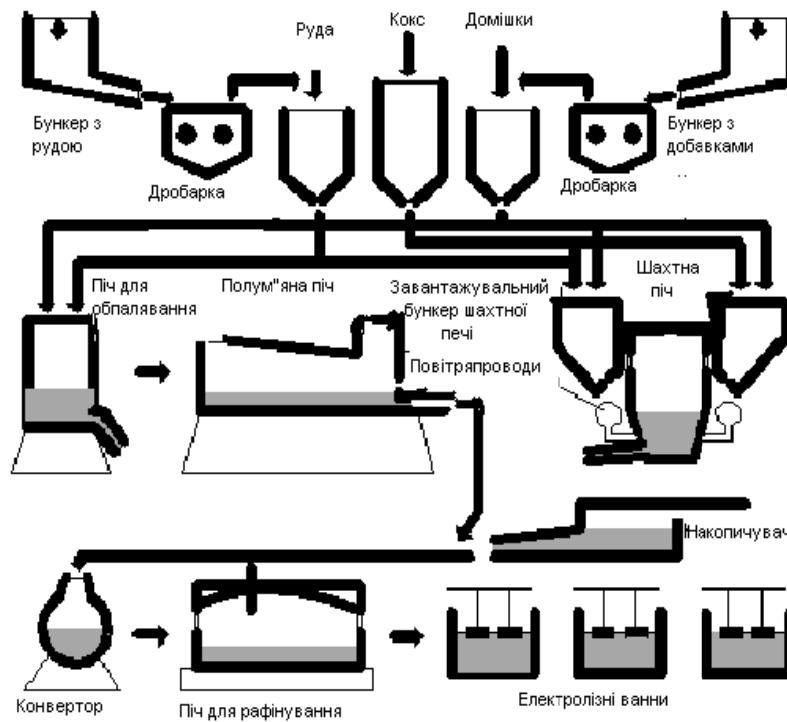


Рис 4.5. Технологічний шлях від руди до металу (міді)

Катодну мідь переплавляють і розливають на зливки. Мідь згідно ГОСТУ випускається шести марок: М00 (99,99% Cu), М0 (99,95% Cu), М1 (99,9% Cu), М2 (99,7% Cu), М3 (99,5% Cu), М4 (99% Cu).

Технологічний шлях від руди до металу (отримання міді із сульфідних руд) наведений на рис 4.5.

4.2. Виробництво алюмінію

Одна легенда розказує, що до римського імператора Тіберія (42 р. до н. е. – 37 р. н. е.) прийшла людина з металевою чашою, яка не билась. Матеріалом для цієї чаші служив глинозем (Al_2O_3) і, відповідно, повинен був

представляти собою алюміній. Боючись, що такий метал обезцінить золото і срібло, Тіберій на всякий випадок наказав відрубати цій людині голову. Цій легенді важко повірити: самородний алюміній в природі не зустрічається, і під час римської імперії не могло бути технічних засобів, які дозволили б отримати алюміній із його з'єднання. Окис алюмінію на відміну від окису заліза неможливо відновити за допомогою деревного вугілля. В 1825 р. датчанину Гансу Христіану Ерстеду, а в 1827 р. німцю Фридриху Велеру вдалося отримати в лабораторії перші зразки алюмінію. В 1855 р. на Парижській всесвітній виставці був показаний кусок алюмінію вагою в декілька кілограм. В той час в Франції Сен-Клер Девіль отримував алюміній в технічних масштабах (шляхом відновлення натрієм сплаву хлоридів), від якого пізніше відмовились. Наполеон III мав намір спорядити гвардійців алюмінієвими кирасами, але ціна їх була непомірно високою. Під час Парижської виставки 1 кг алюмінію коштував 1000 марок (в 5 раз дорожче срібла). В 1844 р. 1 кг алюмінію уже коштував 100 марок. Тільки після винаходу електролітичного процесу алюміній по своїй вартості зрівнявся з звичайними металами.

До цього винаходу в 1886 р. незалежно один від одного прийшли П. Еру в Франції і Ч. Холл в США.

Перша назва алюмінію – “срібло із глини”.

Алюміній отримують із сировини, яка включає в себе значну кількість глинозему, - боксити, каоліни, нефеліни і алуніти. Основною рудою є боксити, які включають 50...60% Al_2O_3 , 1...15% SiO_2 , 2...25% Fe_2O_3 , 2...4% TiO_2 , 10...30% H_2O .

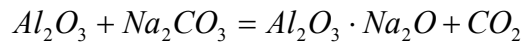
Технологічний процес отримання алюмінію складається із трьох основних стадій: 1 – отримання глинозему із руд; 2 – отримання алюмінію із глинозему; 3 – рафінування алюмінію.

Al_2O_3 - глинозем, окис високої стійкості і високої температури плавлення 2050 °С. В залежності від кількості і характеру домішок, які входять в склад сировини, для видалення глинозему використовують лужний, кислий, електротермічний або комбінований спосіб. Найбільш поширеним є лужний спосіб, який існує в двох варіантах – автоклавного (мокрого) і способу спікання (сухого).

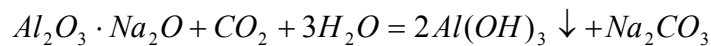
Автоклавний (мокрый) спосіб отримання глинозему із руд (спосіб Байєра) отримав найбільш широке застосування в промисловості. Цим способом

отримують 85...87% глинозему. Al_2O_3 вилуговуюють із руди в вигляді алюмінату натрію ($Al_2O_3 \cdot Na_2O$), який розчинений в воді. Для цього мілко подрібнену руду обробляють їдким натром ($NaOH$) чи содою (Na_2CO_3). Вилуговування виконується в спеціальних автоклавах при температурі 150...200 °C і тиску 12 ат. При цьому алюміній, який міститься в бокситах в вигляді гідратів окислів, взаємодіє з їдким натром і переходить в розчин, утворюючи алюмінат натрію. З алюмінату натрію отримують Al_2O_3 .

Сухий спосіб отримання Al_2O_3 дозволяє переробляти як бідні висококремністі боксити, так і нефеліни. По цьому способу бокситову муку змішують з содою, спікають при 800...1000 °C для отримання алюмінату натрію, який розчиняється в воді. Реакція отримання алюмінату натрію має наступний вигляд:



Отриманий алюмінат натрію вилуговуюють водою і продувають вуглецевою кислотою для отримання осаду гідроксиду алюмінію за реакцією:



Після промивання і підсушки осад пропікають, видаляють воду і отримують глинозем.

Другою стадією отримання алюмінію є отримання алюмінію із глинозему. При цьому глинозем змішують з криолітом Na_3AlF_6 , який плавиться при температурі 1000 °C. Сам глинозем досить тугоплавкий, а розчин глинозема в криоліті евтектичного складу (біля 15% Al_2O_3) плавиться при 940 °C. Електроліз розчинів, які включають 8...10% глинозему, виконується в спеціальних ваннах – електролізерах, схема якої наведена на рис. 4.6.

Ванна включає сталевий кожух, з середини який футерований теплоізоляційною шамотною цеглою 6, анод і стінки викладені вугільними блоками 4. В поді ванни змонтовані катодні шини, які подають струм до вугільних блоків. Зверху в ванну з розплавленим криолітом, який включає 8...10% глинозему і до 10% MgF_2 , CaF_2 і $NaCl$, опущений анод 3, який частково занурюється в електроліт.

Безперервний анод, який самообпалюється працює так. Всередину прямокутної алюмінієвої обечайки завантажують вугільну анодну масу (нафтовий або смоляний кокс чи кам'яновугільний пек). В верхніх шарах маса знаходиться при 100...140 °С в рідкому стані, нижче вона переходить при 360 °С в тістоподібний стан, при 400...950 °С спікається в тверду анодну масу. Підвід струму до анода виконується зверху від анодної лінії через сталі стержні 2, які забиті в анод. Переміщення анодів разом з стержнями

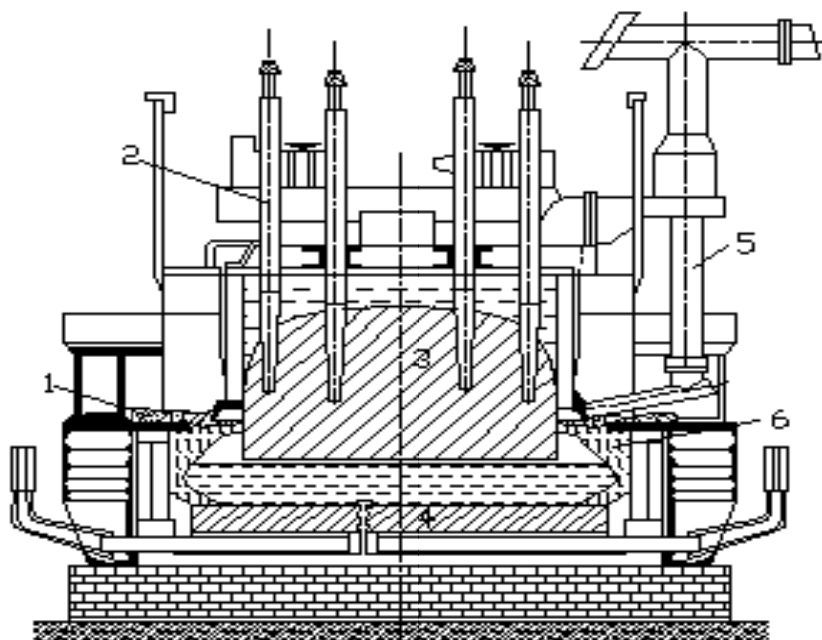


Рис 4.6. Ванна-електролізер для отримання алюмінію з глинозему:
 1 - глинозем; 2 - сталі стержні; 3 - анод; 4 - вугільні блоки;
 5 - вентиляційний пристрій; 6 - шамотна цегла

виконується за допомогою електродвигунів. Перед пуском в роботу електролізера проводять обпал анодів і підігрів ванни на протязі 6...8 діб, потім заливають рідкий електроліт і приступають до електролізу. Поступово аноди, які згорають опускаються в ванну, а зверху завантажують анодну масу. Електроліт періодично поповнюється новими порціями глинозему 1, забезпечуючи безперервність процесу на протязі 2...3 років.

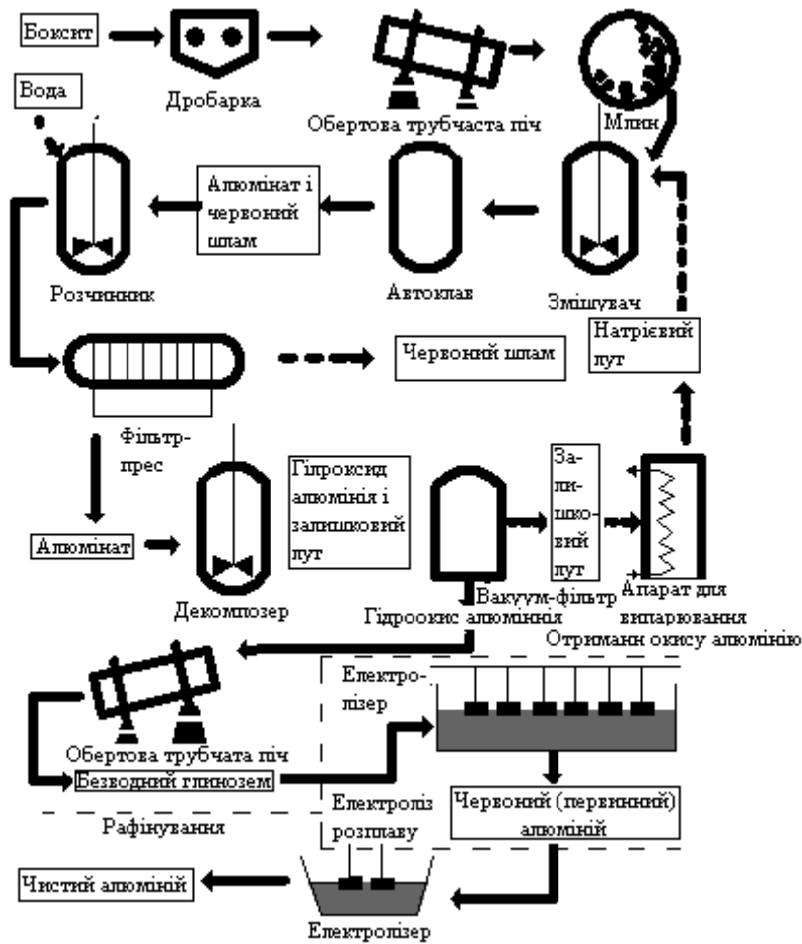


Рис. 4.7. Шлях алюмінію від боксита до металу

Електролізери живляться струмом силою 50000...155000 А, напругою 4...4,5 В. Струм використовується для забезпечення процесів електролізу глинозема і отримання тепла, яке необхідне для підтримання високої температури електроліту в 850...1000 °С. Розплавлений криоліт під дією електричного струму дисоціює на іони. Додатньо заряджені іони Al^{3+} переносяться електричним струмом до пода (катода), де проходить катодний процес (розряд іонів алюмінію і видалення металевого алюмінію в рідкому вигляді). Алюміній скопичується на дні ванни під шаром електроліту, звідки

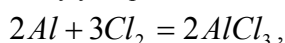
він видаляється за допомогою сифону або вичерпується ківшем через 3...4 доби.

Від'ємно заряджені аніони AlO_3^{3-} переносяться струмом до аноду (вугільному електроду). Кисень, який при цьому видаляється окислює вуглець анода з утворенням CO і CO_2 , які видаляються за допомогою вентиляційних пристроїв 5.

Технологічний шлях від бокситів до чистого алюмінію наведений на рис. 4.7.

На 1 т алюмінію витрачається 1,92...1,98 т глинозему, 0,08...0,09 т криоліту і 16500...18000 кВт·г (59,4...64,7 ГДж) електроенергії. На добу одна ванна дає 350 кг алюмінію. Електроенергія складає більш 30% вартості алюмінія, який отримується.

Третьою стадією отримання алюмінію є рафінування. Алюміній, який отриманий електролізом має ряд домішок: металевих (Si , Fe , Zn , тощо), неметалевих (Al_2O_3 , C тощо) і газоподібних (H , N , CO , CO_2 тощо). Ці домішки погіршують його властивості. Для отримання чистого алюмінію його піддають рафінуванню шляхом хлорування чи електричним способом. Метод хлорування заключається в продуванні алюмінія хлором в ківші місткістю біля 1,25 т чи спеціальній камері при температурі 750...770 °С на протязі 10...15 хв. При цьому утворюється газоподібний хлористий алюміній



який проходить через рідкий метал, сприяє спливанню неметалевих домішок і видаленню газів, які розчинені в алюмінію. Утворені хлористі з'єднання: $NaCl$, $MgCl_2$ і $CaCl_2$ також спливають на поверхню. При хлоруванні частина алюмінію втрачається (до 1,0%), а витрати хлору становлять біля 0,1% від маси металу. Після рафінування хлором алюміній розливають на чушки. Чистота отриманого алюмінію складає 99,5...99,85%.

Отримання алюмінію високої чистоти частіше досягається електролітичним рафінуванням. Анодом служить алюміній, який необхідно очистити, катодом – пластини чистого алюмінію. В якості електроліту використовують розплавлені хлористі і фтористі солі при 750 °С (температурою вище температури плавлення алюмінію). В розплавленому електроліті алюміній піддають анодному розчиненню і електролізу. Більш високі електрододатні властивості алюмінію по зрівнянні з Na , Ca і Mg

дозволяють осаджувати його на катоді. Електролітичним рафінуванням отримують алюміній чистотою 99,996% і вище.

Марка алюмінію, який випускається чистоти А-999 включають алюмінію не менше 99,999%. Цей алюміній називається особливо чистим і включає 0,001% домішок. Марки алюмінію А-995, А-99, А-97 і А95 включають 0,005%...0,05% домішок і називається алюміній високої чистоти. Марки алюмінію технічної чистоти А-85, А-8, А-7, А-6, А-5, А-0, АЕ і А включають більше 0,05% домішок.

4.3 Виробництво магнію

Магній легкий метал, який в земній корі серед інших металів займає третє місце після алюмінію і заліза.

В 1695 р. один алхімік випарував епсомську мінеральну воду (курортне місце Епсом поблизу Лондона) і отримав в осаді сіль. Цю саму сіль він виявив в воді інших мінеральних джерел і це був гідратований (включаючий воду в кристалах) сульфат магнію $MgSO_4 \cdot 7H_2O$.

Іншу магнієву сіль (основний карбонат магнію) знайшли на початку XVIII сторіччя і застосовували в медицині. Свою назву *magnesia alba* (біла магнезія) вона отримала від античного міста Магнезія (нині – Маніза в Турції). Англійський хімік Хемфрі Деві (1778-1829) передбачив, що це з'єднання є окисел металу, який він назвав магнієм. “Біла магнезія” виявилась не окислом, але це дійсно було з'єднання металу.

Х. Деві в 1808 р. приготував магнієву амальгаму (сплав магнію з ртуттю), але не відомо чи вдалось йому отримати магній із амальгами.

Перші грами чистого магнію вдалось отримати французькому хіміку Бюссі в 1829 р., а велика кількість нового металу – магнію була представлена на Лондонській всесвітній виставці 1862 р.

В XX сторіччі людство отримало можливість познайомитись з іншими властивостями цього металу. Магній і його сплави стали широко застосовуватись в запальних бомбах, і в роки другої світової війни мільйони таких бомб були скинуті на міста країн, які воювали. Потім з'явилися нові засоби масового знищення – напалмові бомби з оболонкою із магнієвих сплавів.

Магній отримують із сировини, яка включає хлористий магній або оксид магнію: карналіт $MgCl_2 \cdot KCl \cdot 6H_2O$ (включає 12...30% хлористого

магнію), магнезит $MgCO_3$ (більше 45% MgO), доломіт $CaCO_3 \cdot MgCO_3$ (14...22% MgO), бішофіт $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ (більше 46% $MgCl_2$). Магнезит включає 28,8% Mg , доломіт – 21,7% Mg , карналіт – 8,8% Mg і бішофіт – 12% Mg .

Для отримання металевого магнію застосовують два способи: електролітичний (електроліз хлоридів) і термічний (термічне відновлення із руд).

При отриманні магнію електролітичним способом із магнезиту чи доломіту отримують хлорид магнію. Для цього магнезит чи доломіт піддають відпалу при температурі 750...900 °С з метою видалення CO_2 і отримання MgO . Потім хлоруванням в присутності вуглецю отримують хлорид магнію: $MgO + Cl_2 + C = MgCl_2 + CO$.

Отриманий хлористий магній в розплавленому стані транспортують в ківші в цех електролізу.

Після витримки, яка необхідна для осідання на дно печі окису магнію, в розплаві залишається до 50% $MgCl_2$, біля 0,5% MgO і останнє $NaCl$ і KCl . Готовий розплав направляють в електролізний цех.

Отримання магнію ведуть в спеціальних електролізних ваннах, одна із секцій якої наведена на рис. 4.8. Ванна прямокутної форми, має вогнетривку футеровку.

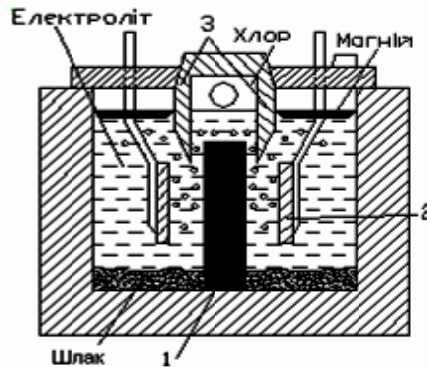


Рис 4.8. Схема ванни для електролізу хлоридів магнію:
1 - графітова пластина; 2 - сталеві пластини;
3 - перегородки із шамотної цегли

Анодом служить графітова пластина 1, катодами – сталльні пластини 2. Між анодом і катодом є перегородка 3 із шамотної цегли. В кожній ванні декілька секцій, які складаються із анодних блоків і двох катодних пластин. Сила струму в ваннах досягає 30000...50000 А при напрузі в 7 В. Електролітом при електролізі служить сплав солей: 8...16% $MgCl_2$, 25...35% $CaCl_2$, 25...35% $NaCl$ і 18...25% KCl . Електричний струм проходить через електроліт, нагріває його до 700...750 °С, при цьому $MgCl_2$ розкладається і в катодному просторі видаляється магній, а хлор виділяється на аноді, звідки він відсмоктується в хлоропровід і використовується для хлорування окису магнію.

Так як густина магнію менша, чим електроліту, він спливає і накопичується на поверхні ванни. Звідси його перекачують в вакуумний котел. На 1 т магнію отримують 2,9 т хлору. Оксид магнію, відновлене залізо та інші домішки осідають на дно ванни і по мірі накопичення періодично видаляються. При електролізі витрачається до 25 кг електродів і 15000...17000 кВт·г електроенергії на 1 т магнію.

Магній, який отримують електролізом, включає до 3% домішок (хлористі солі, оксид магнію та ін.), тому його рафінують шляхом переплавлення в стальних тигельних печах з флюсом чи возгонкою магнію.

При переплавленні флюс перемішується з рідким металом при температурі 720...750 °С і після чого дають йому вистоятись. В якості флюса виступає сплав хлористих і фтористих солей. Під час відстоювання домішки опускаються на дно тигля. Очищений магній розливають в виливниці за допомогою ківшів чайникового типу. Для запобігання окислення струменя металу його опилують мілким порошком сірки.

Рафінування магнію возгонкою оснований на більшій пружності його парів по зрівнянні з домішками (кремнію, заліза, міддю тощо). Це рафінування виконують в ретортах (рис. 4.9) в вакуумі (залишковий тиск 0,1...0,2 мм рт. ст.). Реторта включає: нагрівач 1; теплову ізоляцію 2; екран 4 і систему водяного охолодження і відкачування повітря. Магній 3 осідає на стінки реторти. Нижня частина реторти підігрівається до температури 600 °С нагрівачем 1. При цій температурі магній починає випаровуватись, а верхня частина реторти охолоджується приблизно до 450 °С для конденсації парів магнію, при цьому останній осідає на стінках реторти. Отриманий магній у вигляді чистих блискучих кристалів видаляється із стінок реторти, переплавляється і розливається на чушки. Рафінований метал включає

99,91...99,99% *Mg*. Для отримання магнію застосовують і більш простий термічний метод в основу якого покладено процеси відновлення окису магнію кремнієм, карбідом кальцію чи вуглецем.

Відновлення магнію кремнієм чи карбідом кальція ведеться в сталених ретортах (рис. 4.9) при глибокому вакуумі і температурі 1100...1200 °С. Вихідним матеріалом служить обпалений магнезит чи доломіт. При карбідотермічному способі магній відновлюється. При сілікотермічному і карбідотермічному способах відновлений магній випаровується і конденсується (кристалізується) на стінках кристалізатора.

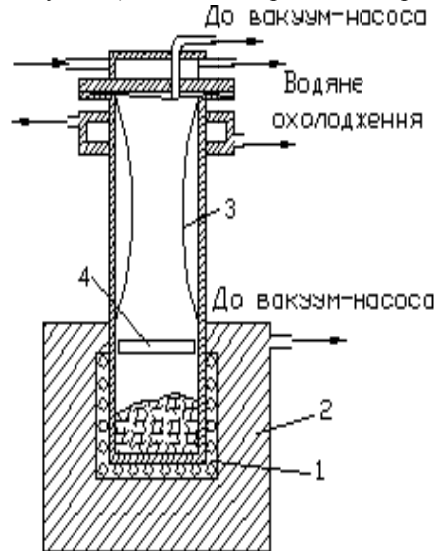
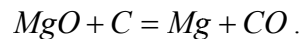


Рис 4.9. Схема реторти для рафінування магнію возгонкою:
1 - нагрівач; 2 - теплова ізоляція; 3-магній; 4 - екран

Відновлення магнію углетермічним способом ведеться в трьохфазній дуговій електропечі, яка футерована вугільними блоками, в атмосфері водню при температурі вище 2000 °С. При цьому магній відновлюється за реакцією



Відновлений магній випаровується і осідає в вигляді кристалів на стінках холодильника, який з'єднаний з піччю. Звідси його видаляють, переплавляють і розливають в чушки. Отриманий термічним шляхом магній включає 99,9 *Mg* .

Технічний магній в чушках випускають двох марок:

Mg1 (99,91% *Mg*), *Mg2* (99,85% *Mg*).

4.4. Виробництво титану

Грецькі міфі розказують про покоління титанів – дітей Ірана (неба) і Геї (землі). Десять років йшла жорстка боротьба між титанами і богами Олімпу. Боги, на чолі з Зевсом, отримали перемогу, і титани були скинуті в бездонну підземну прірву Тартар.

В 1795 р. німецький хімік М. Клапрот (1743-1817), вивчаючи мінерал рутил, виділив із нього невідомий метал, який назвав титаном. Він встановив, що це той же елемент, який чотири роки раніше англічанин В. Мак-Грегор знайшов в важкому піску поселення Менакан, яке розміщувалось на березі. При подальших дослідженнях виявилось, що титан присутній в багатьох мінералах. По поширенню в природі цей елемент займає серед металів четверте місце (після алюмінія, заліза і магнія), в земній корі він складає 0,6%-втрое більше, чим мідь, цинк, нікель, ванадій, хром і марганець взяті разом.

В 1910 р. американському хіміку М. Хантеру вдалося отримати декілька грамів металевого титану (який описаний Клапротом і “металевий осад” є окисел цього металу).

Виробляти чистий титан в компактному вигляді дуже важко, так як титанова губка схильна поглинати газу, з'єднується з азотом і вуглецем, а титан з домішками стає крихким і ломким. Тільки після того, як була розроблена промислова технологія отримання чистого титану, почали виявлятися його гарні якості, що дає можливість по деяких властивостях випереджати високолеговані сталі.

Титан отримують із мінералів: ільменіт $Fe \cdot TiO_2$ (включає до 61% TiO_2), рутил TiO_2 (до 90% TiO_2), перовскіт $TiO_2 \cdot CaO$, титатит тощо.

Титан має високу хімічну активність і спорідненість до кисню, азоту, водню та іншим елементам, тому відновити його із двоокису (TiO_2) неможливо. Двоокис титану спочатку переводять в тетрахлорид титану ($TiCl_4$), а потім із останнього отримують чистий метал. Основною вихідною сировиною для виробництва титану є рутилові і ільменитові концентрати, які отримують збагаченням титанових руд (титанові руди піддаються електромагнітному, електростатичному, флотаційному, гравітаційному та іншим видам збагачення, в результаті яких отримують концентрати, які

включають до 60% TiO_2 . Залізотитанові концентрати переробляються плавленням в електричних печах. Відновлювальним плавленням отримують чавун, легований титаном (0,6...2,0 Ti), і шлаки, які включають біля 80% TiO_2 і 1,5...3,0% FeO . Ці шлаки використовуються в якості сировини для отримання титану.

Отримання металевого титану із титанових концентратів або шлаків виконується в три етапи.

Перший етап, - це отримання тетрахлориду титану $TiCl_4$ (рідина, яка кипить при температурі 136 °С); другий етап – отримання титанової губки відновленням тетрахлорида титану; третій етап – отримання злитків компактного титану із титанової губки.

Отримання тетрахлорида титану із рутилу TiO_2 виконують відновленням вуглецем і хлоруванням при температурі 800...850 °С за реакцією: $TiO_2 + 2Cl_2 + 2C = TiCl_4 + 2CO$.

Для цього рутит змішують з коксом, дерев'яним вугіллям чи графітом або кам'яновугільним пеком. Цю суміш пресують в брикети, які потім прокалюють при температурі 800...900 °С в герметично закритих печах. Отримані пористі брикети піддають хлоруванню в спеціальних установках при температурі 800...850 °С. Схема цієї установки наведена на рис. 4.10. Футеровка печі 6 є циліндр, який викладений шамотною цеглою і встановлений на фундаменті. Пористі брикети із рутилу 7 завантажують на вугільну насадку 4 через завантажувальний корпус 10 з бункера 11 з завантажувальним пристроєм. В нижній частині установки розміщені графітові електроди 2 і фурми для подачі хлору 3. Хлор проходить по трубопроводу 5. Для видалення побічних продуктів служить льотка 1. В склепінні печі 8 розміщений отвір 9 для видалення паро-газової суміші. Ця суміш у вигляді парів тетрахлорида титану разом з іншими газоподібними продуктами хлорування поступає в пилоочисник, де підтримується температура 150...200 °С для запобігання концентрації парів $TiCl_4$. Очищену від пилу суміш хлоридів направляють для охолодження в конденсатори.

Тетрахлорид титану концентрується (накопичується) в конденсаторах головним чином в рідкому вигляді. Він включає домішки у вигляді хлористих з'єднань інших металів, від яких звільняються шляхом

відстоювання, фільтрації і фракційної перегонки. В результаті очищення отримують тетрахлорид титану в вигляді безколірної прозорої рідини.

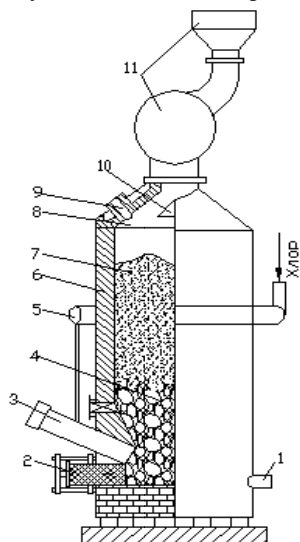


Рис 4.10.Схема установки для хлорування пористої маси титану (рутилу):

1 - льотка; 2 - графітові електроди; 3 - фурма; 4 - вугільна насадка; 5 - трубопровід; 6 - футеровка печі; 7 - брикети з рутилу; 8 - склепіння печі; 9 - отвір для видалення паро-газової суміші; 10 - завантажувальний корпус; 11 - бункер

Для відновлення титану із $TiCl_4$ - отримання титанової губки (другий етап) існують декілька способів. Найбільш широке застосування отримав магнійтермічний (відновлення титану із $TiCl_4$ виконується магнієм в спеціальних печах, які називаються реакторами).

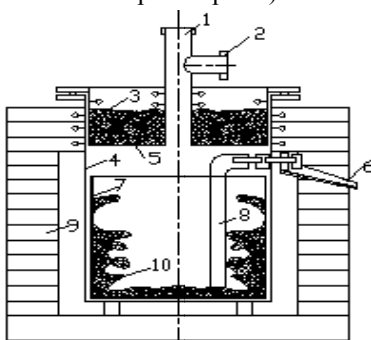


Рис 4.11. Схема печі відновлення титану магнійтермічним способом:

1, 2 - труба; 3 - теплоізоляція; 4 - реактор; 5 - кришка; 6 - лютка для зливу;
7 - стакан; 8 - трубопровід; 9 - піч; 10 - губчата маса

Отримання титанової губки відновленням тетрахлориду титана магнієм виконується за реакцією:

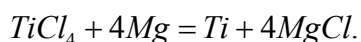


Схема реактора наведена на рис. 4.11. У сталений стакан 7 печі 9 завантажують магній високої чистоти у вигляді чушок. Потім реактор 4 щільно закривають кришкою 5, над якою знаходиться теплоізоляція 3. Із реактора відкачують повітря і заповнюють його аргоном через трубу 2 і подають туди $TiCl_4$ через трубу 1. Швидкість подачі тетрахлориду титана повинна бути такою, щоб температура всередині реактора підтримувалась в межах 800...850 °С, у іншому випадку матеріал реактора буде взаємодіяти з відновленим титаном.

Металевий титан випадає на дно і стінки сталюого стакану і спікається в щільну губчасту масу, яка включає чистий і хлористий магній. Рідний хлористий магній, який утворюється в результаті реакції, періодично видаляється через трубопровід 8 і лютку для зливу 6.

Після закінчення процесу і охолодження стакану із нього видаляють отриманий продукт у вигляді губчатої маси 10 (55...65% Ti , 25...30% Mg і 10...15% $MgCl_2$).

Для видалення металевого і хлористого магнію отриманий титан рафінують вакуумною сепарацією. Для цього стакан з реакційною масою 6 закривають кришкою, яка має отвір, повертають вверх дном, встановлюють в піч (рис. 4.12.).

Піч включає зовнішній конденсатор 2, внутрішній конденсатор 3, кожух 4 і контейнер 5. В печі створюється вакуум 10^{-3} мм рт. ст. і нагрівають стакан до температури 900...950 °С елементами 1. При цьому металевий і хлористий магній випаровується і проходить через отвір в кришці стакану, конденсується на конденсаторах, переходить із парів в рідкий, а потім в твердий стан, і збирається в нижній частині печі.

Отримання злиwkів компактного титану із титанової губки (третій етап) виконується переплавленням останньої в дугових вакуумних печах, або високочастотних печах. Схема дугової печі з електродом, який витрачається наведена на рис. 3.10. Плавлення ведеться в вакуумі або в середовищі інертних газів. Після плавлення отримують титан, який включає біля 0,2%

домішок, відрізняється високою пластичністю, добре піддається прокатуванню, куванню і штампуванню. Отриманий метал розливають в зливки масою до 5 кг і більше. Плавлення під вакуумом дозволяє додатково очистити титан від вологи, водню, металевого і хлористого магнію. Титанові зливки обробляють тиском і отримують різні профілі. Технічний титан високої чистоти має не більше 1% домішок.

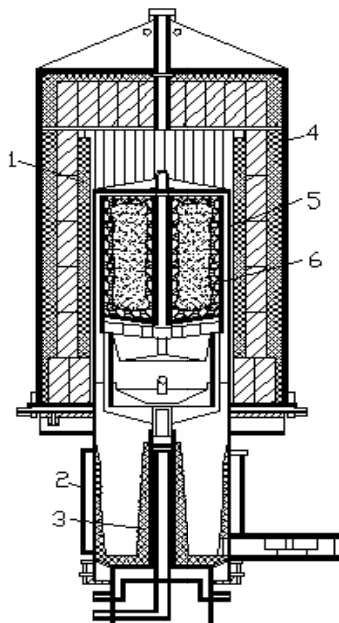


Рис 4.12. Схема печі для вакуумної сепарації губчастої маси титану:
 1 - елементи для нагрівача; 2 - зовнішній конденсатор; 3 - внутрішній конденсатор; 4 - кожух; 5 - контейнер; 6 - реакційна маса

Хлористий магній (побічний продукт при виробництві титану) можна використовувати для отримання магнію, а хлор (побічний продукт при електролізі магнію) і магній раціонально застосовувати при виробництві титану.

Найбільш чистий промисловий титан, який включає лише 0,1% домішок, отримують іодидним способом – розкладанням йодидів титана на поверхні вольфрамової нитки, яка нагріта до 1300... 1500 °С в вакуумі.

Особливо чистий титан може бути отриманий із технічного титану методом зонного плавлення. Метод оснований на явищі більшої розчинності домішок в рідкому металі по зрівнянню з розчинністю в твердому металі.

Титан випускають наступних марок: ТГО (99,65% Ti), ТГ1(99,21% Ti), ТГ2(99,18% Ti).

4.5. Виробництво нікелю

В середні віки саксонські гірники намагались отримати мідь із червоно-бурого гравію який вони рахували мідною рудою. Але всі їхні спроби були невдалі. Тоді вони вирішили, що їх дурить злий гірний дух по імені Нікель, і назвали цей мінерал “купфернікель”(злий дух міді). В пам'ять про цю стару історію шведський хімік і мінералог А.Кронштедт назвав нікелем метал, який відкрив в 1751р.

Нікель - в'язкий метал з сильним блиском. Плавиться при температурі 1455 °С, його можна кувати, прокатувати і витягувати в дріт (межа міцності нікелю при розтягування складає 400 ...700 н/мм²). Нікель можна легувати різними елементами. Він стійкий до корозії в воді, в тому числі в морській, в лужних розчинах, розчинах солей та інших органічних кислотах. По своїх властивостях він кращий за залізо, але в природі він зустрічається значно рідше (світове виробництво нікелю складає біля півмільйона тон на рік), майже в тисячу раз менше, чим виробництво сталі. Більша частина цієї кількості йде на легування сталей (в металургії він є одним із важливих легуючих елементів). Нікель підвищує в'язкість і міцність низьколегованих сталей і корозійну стійкість і жаростійкість високолегованих сталей.

Сплави заліза з нікелем застосовувались ще тоді, коли нікель не був відомим (метеоритне залізо, яке включало до 10% нікелю). Із мідно-нікелевих сплавів чеканили монети в II тисячолітті до н.е. Старовинний китайський метал “пафонг” був нічим іншим, як сплавом міді з цинком і нікелем. Тільки на початку XIX століття такий сплав почали застосовувати в Германії під назвою “нейзильбер”.

В даний час широко застосовуються сплави нікелю з міддю, який легко піддається гарячій і холодній обробці тиском, має достатню міцність, особливо при високих температурах, добре протистоїть зносу і корозії, має високий електроопір, який майже не змінюється із температурою.

Нікель та мідь повністю змішуються між собою, як в рідкому так і в твердому стані, утворюють неперервний (по складу) ряд твердих сплавів. Всі властивості мідно-нікелевих сплавів плавно змінюються в залежності від відносного вмісту в них цих металів.

Із чистого нікелю або його сплавів виготовляють внутрішні деталі електричних ламп. Сплав із 30...50% нікелю широко застосовується в електронних резисторах.

Нікель один із самих поширених металів для антикорозійних і декоративних покриттів. Частіше всього нікель наносять гальванічним шляхом (біля 20% світового виробництва нікелю йде на гальванічні нікеліровані вироби з інших металів). Жароміцні і корозієстійкі сплави, які включають більше 50% нікелю, відомі під назвою “монель-метал”. Колись так називали сплав, який безпосередньо виплавляли із деяких канадських руд.

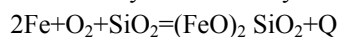
Ніхромі –сплави нікелям і хрому, нікеля –хрому –заліза, добре працюють як матеріали для нагрівальних елементів. Жароміцні сплави на основі нікелю мають властивості до дисперсійного зміцнення в результаті термічної обробки, межа міцності цих сплавів перевищує 1000 н/мм², висока їх жароміцність в температурному інтервалі 800...1000 °С. Такі сплави ідуть на виготовлення лопаток турбін реактивних двигунів.

Сировиною для отримання нікелю є окислені нікелеві або сульфідні мідно-нікелеві руди. В окислених рудах нікель знаходиться у вигляді силікатів $n\text{NiO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot m\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (у цих рудах міститься 1...7% нікелю). В сульфідних рудах нікель знаходиться в вигляді NiS (в цих рудах 0,3...5,5% Ni, до 2,5% Cu, зустрічається кобальт, платина та інші елементи платинові групи).

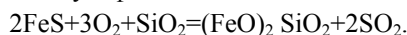
Окислені руди вміщують велику кількість вологи і глинистих речовин. Тому перед плавленням їх подрібнюють, сушать і окусковують шляхом брикетування на пресах або агломерацією на стрічкових машинах. Потім їх переплавляють в штейн.

Штейн виплавляють в печах шахтного типу з повітряним дуттям. Дуття проводиться через фурми у вигляді щілин. Шихта, яка завантажується у печі складається із брикетів руди, коксу, вапна CaCO_3 та інших матеріалів. Отриманий штейн (або роштейн) є сплав сульфідів нікелю і заліза (Ni_3S_2 і FeS), який включає 12...30% Ni, 45...60% Fe, 17...23% S і невелику кількість міді та кобальту.

Плавлення штейна виконують за рахунок продування розплавленого штейна повітрям в конверторах по типу подібних конверторів для виплавки чорнової міді. В першій період плавлення в конвертор заливають першу порцію розплавленого штейну (до 10Т), завантажують флюс, кварцевий пісок (SiO_2), який ошлаковує залізо і ведуть продування 15...20хв для окислення і видалення заліза. Окислення і ошлакування виконується за реакцією:

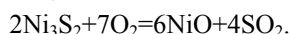


Шлак, який отримався зливають і заливають слідує порцію штейна, завантажують флюс і продовжують продування. Ці операції продовжуються декілька раз, при цьому тривалість продування збільшується до 40...45хв. Конвертор заповнюється штейном бідним на залізо. В другому періоді продування інтенсивно окислюється сульфід заліза:

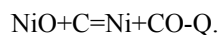


Отримуємо новий продукт – білий нікелевий штейн (файнштейн), який є сплавом сульфіда нікеля Ni_3S_2 і нікеля (75...78%Ni, 20...23% S), невелику кількість кобальту, міді та заліза.

Для видалення сірки із сплаву його подрібнюють до 0,5мм і обпалюють в багатоподових печах без затрат палива (за рахунок горіння сірки), а потім в трубчастих печах, які обертаються і опалюються мазутом або газом. Отримуємо новий продукт NiO за реакцією:



Слідує етапом отримання нікелю є відновлення останнього шляхом плавлення в дугових електричних печах, подібним до сталеплавильних вмістом 3,5...10т. Відновлювачем служить деревне вугілля або нафтовий кокс, чистий по сірці:



В процесі плавлення утворюється і розчиняється в рідкому нікелі карбід Ni_3C . Для зниження вуглецю до 0,1...0,3% в кінці плавлення проводять доводку присадками закису нікелю $\text{Ni}_3\text{C}+\text{NiO}=4\text{Ni}+\text{CO}$. Для видалення сірки в піч завантажують вапно. Отриманий чорновий нікель включає 99,2...99,6% Ni+CO, 0.3...0.8 % Fe, 0.04...0.4%Cu.

Для отримання чистого нікелю чорновий рафінують в бітонних ваннах, які футеровані керамічною плиткою (рис.4.13).

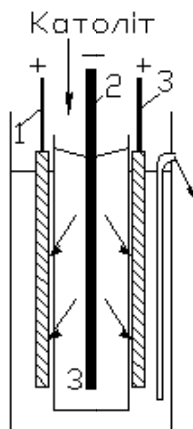


Рис 4.13. Схема вічка електролізної ванни:

1 - анод; 2 - катод; 3 - коробки-діафрагми

Анодом 1 служать литі пластини із чорного нікеля (масою 250...360 кг), катодом 2 – тонкі листи із рафінованого чистого нікелю. В ванні встановлюють 30...35 катодів і 31...36 анодів. Електролітом служить водний розчин сульфату нікелю $NiSO_4$. При електролізі на катоді може виділитись не тільки нікель, але і мідь, кобальт, залізо. Для запобігання цього, катоди розміщують у ванні в плоских коробках-діафрагмах 3 зі стінками із брезенту, хлорвінілових та інших тканин. Чистий електроліт (католіт), неперервно заливають в діафрагму; електроліт, який вміщує домішки (аноліт), неперервно видаляють і направляють на хімічне очищення від міді, заліза і кобальту.

Сульфідні мідно-нікелеві руди переробляють по технології аналогічній до переробки мідних руд. Бідні руди збагачують методом флотації і отримують мідно-нікелевий концентрат. Отриманий концентрат обпалюють, або піддають агломерації чи окатуванню. Штейн отримують в відбивальних полум'яних печах. Багаті руди в великих кусках і окускований концентрат (агломерат, окатиші) плавлять в електричних дугових печах.

Для виділення нікелю із мідно-нікелевих фінштейнів можливо застосувати карбонатний спосіб. Сплав подрібнюють і обробляють CO при тиску 7...20 МПа і температурі біля 200 °С. В результаті обробки утворюються рідкі карбоніли $Ni(CO)_4$, $Fe(CO)_5$ тощо. Ректифікацією видаляють карбоніли нікелю $Ni(CO)_4$, який потім розкладають при 300° С з виділенням порошкоподібного нікелю.

4.6. Застосування кольорових металів та їх сплавів

До кольорових металів відносяться метали крім заліза і сплавів на його основі. Найбільш поширені в техніці мідь, титан і їх сплави.

Латуні

Латунню називають сплав міді з цинком з вмістом цинку до 45%. За технологічною ознакою латуні діляться на ті, які деформуються, і на ливарні. Ті, які деформуються: латуні марок Л96, Л80, Л62, Л60 тощо.

Для отримання спеціальних властивостей латуні легують. Такі латуні називаються багатокомпонентними чи спеціальними (ЛАЖ60-1-1, ЛМп59-1-1).

Спеціальні латуні мають високі антикорозійні властивості і стійкість до морської води (ЛО70, ЛО62-1). Латунь ЛС59-1 застосовується для виготовлення деталей на верстатах – автоматах і поставляється в прутках.

Ливарні латуні мають велику кількість присадок, які покращують ливарні властивості. Основні марки: ЛК80-3Л, ЛКС80-3-3, ЛАЖМс66-6-3-2.

Бронзи

Бронзи – сплави міді з оловом чи іншими металами. В залежності від основного легуючого елементу бронзи діляться на олов'яні, алюмінієві і берилієві. В залежності від застосування – на ті, які деформуються, і на ливарні. Олов'яні бронзи застосовуються тільки в литому вигляді. Бронза з вмістом олова більше 10% є високоякісним сплавом.

Алюмінієві бронзи БрА3, БрАЖН9-2, БрАЖН1-4-4 включають 5 – 10% алюмінію. Ці бронзи мають високу рідкотекучість. Алюмінієві бронзи мають високі механічні властивості і застосовуються для виготовлення шестерень, втулок і мілких відповідальних деталей.

Алюмінієві сплави

Алюмінієві сплави – ливарні сплави алюмінія. Силумін – сплав алюмінія з кремнієм (5...14%). Силуміни мають високу рідкотекучість, добру корозійну стійкість. Найбільш поширені сплави марок АЛ2, АЛ4, АЛ5, АЛ6, АЛ8, АЛ9, АЛ11, АЛ12. Сплави АЛ2 не зміцнюються термічною обробкою, сплави АЛ4, АЛ9 зміцнюються термічною обробкою – загартуванням з подальшим старінням.

Алюмінієві сплави, які деформуються поділяються на 2 групи:

- незмінні термічною обробкою;
- ті що зміцнюються термічною обробкою.

Сплави, які не зміцнюються термічною обробкою – АМц, АМг, АМг3, АМг5, АМг7 застосовуються у вигляді листів для деталей, які штампуються в холодному стані. Сплави, які зміцнюються термічною обробкою - високоміцні сплави алюмінію з міддю, магнієм, цинком і іншими елементами типу дуралюміній марок Д1, Д16, Д20, В95; сплави для деталей, які виготовляються горячим пластичним деформуванням, марок АК5, АК6, АК8; жароміцних сплавів марок АК4, ВД17.

Загартовані сплави типу дуралюмінія піддаються звичайному старінню при температурі 20 °С 5 – 7 діб чи штучному старінню при температурі 180...200 °С 18 – 20 годин.

Сплави для поковок і штамповок типу АК5, АК6, АК8 піддаються загартуванню з штучним старінням.

Таблиця 4.1

Деталі із кольорових металів і сплавів, які застосовуються в машинобудуванні

Марка матеріала	Область застосування
БрАЖН10-4-4	Втулки випускних клапанів
ОЦС66-3	Підшипники металеві у яких верстатів при підвищеній температурі
БрАЖ9-4	Черв'ячні колеса металорізальних верстатів
ОЦС66-3	Відцентровальні вентиляторів компресорів картери,горячі
БрАЖ9-4	Гвинти вологи верстатів
БрОФ6,5-0,5	Прядильні двигунів внутрішнього згорання(поршні,
БрОЦС 4-4-2,5	Пресшпінки в підшипниках і втулках
БрОЗЦД7СНІ	Олов'яниста ливарна бронза для деталей які працюють в
В95	маДеталі двигунів, які працюють при підвищених
БрАЖ9-4	Сідла керування двигунів, втулки
БрОЦД16-2,5	Олов'яниста бронза для шпінделів підшипників і
Д16	втулок в валітнікх бауавтомобілів
Л70	Латунь для виготовлення радіаторних стрічок.
Л96	Радіаторні труби
Л68	Ущільнюючі кільця радіаторів
ДС56-1Л	Втулки шарикопідшипників
ЛАЖСМЦ66-6-3-1	Черв'ячні гвинти
ЛА67-2,5	Втулки, арматура, яка працює в агресивному середовищі (морська вода)
БрОЦСК37-5-1	Арматура, яка працює в морській воді під тиском до 25 ат/см ²
БрОЦС5-5-5	Вкладиші підшипників
БрО10-11	Шестерні, втулки, які працюють при великих питомих тисках
БрОФ6,5-0,15	Олов'яниста бронза для вкладишів підшипників і втулках.....
АО3-7,АО9-2	Алюмінієвий антифрикційний сплав для виливки вкладишів і втулок
АЛ6	Карбюраторні деталі
АВ	Ковані деталі
АД31	Деталі оздоблення кабін і салонів автомобілів
ОЦС6-63	Арматура двигунів
ОЦС5-7-12	Гайки ходових гвинтів
БрОФ10-1	Гайки ходових гвинтів зубонарізних верстатів
БрОЦ10-2	Підшипники шпинделів
БрС30	Підшипники ходових гвинтів токарно-гвинторізного верстата ІИ611П

Порошкова металургія

- 5.1. Отримання і підготовка порошків.
- 5.2. Формування порошків.
- 5.3. Спінання і обробка спечених виробів.
- 5.4. Пористі порошкові матеріали.
- 5.5. Конструкційні порошкові матеріали.

Порошкові сплави – це металевий порошок (залізний, із кольорових сплавів, в деяких випадках з добавкою графіту та інших домішок), спресований при високому тиску і спечений. Такий спосіб отримання порошкових сплавів називається порошкова металургія.

Порошкова металургія включає наступні етапи: виробництво порошків металів та інших матеріалів, формування заготовки із порошку пресуванням або прокаткою; спінання заготовки при температурі, яка є нижчою від температури плавлення основного компоненту; обробку спеченого виробу механічним шляхом.

Порошкова металургія має ряд суттєвих переваг перед іншими видами отримання деталей (литтям, обробкою тиском, термообробкою) тих чи інших структур, властивостей і складом. Перша перевага – це неможливість отримання такої деталі іншим шляхом (багатокомпонентні вироби), друга – суттєво менші витрати матеріалів, третя – точне витримання форми і розмірів, четверта – безвідходність виробництва.

Вперше методом порошкової металургії була отримана ковка платина спіканням платиного порошку в 1826 році російськими вченими П.Г.Соболевським і В.В.Любарським. Пізніше ця технологія не використовувалась. Тільки на початку ХХ століття, коли стало питання про виробництво вольфрамового дроту для ламп електронакалювання та мідно – графітових щіток для електричних машин ця технологія почала використовуватись. В кінці 20 років методом порошкової металургії почали виготовляти тверді сплави для металорізальних інструментів. В 50-ті роки – підшипники, фрикційні накладки, фільтри, високотемпературні матеріали.

Технологія порошкової металургії дозволяє отримувати вироби як із одного металу (такі вироби називаються однокомпонентними), а також із суміші порошків металів або металів з неметалами (багатокомпонентні вироби). По цій технології можливо отримати сплави із металів, які не змішуються в рідкому стані (залізо – свинець, вольфрам – мідь), а також із металів з неметалами (мідь – графіт, карбід вольфраму – кобальт), із деяких оксидів металів (Fe_3O_2 і MnO , Fe_2O_3 і NiO).

Вироби, які отримуються порошковою металургією, можуть бути м'якими і твердими, фрикційними і антифрикційними, з високою електричною провід-

ністю і високим електричним опором, жаростійкими і холодностійкими, магнітомякими і магніотвердими.

5.1. Отримання і підготовка порошків

Отримання порошків можливо двома шляхами: механічним і фізико – хімічним. Частинки порошків для різних виробів мають розміри від 0,01 до 1000мкм, форма частин залежить від способу виробництва порошків і може бути сферичною, тарільчатою, каплеподібною, губчатою, пористою тощо.

До механічних способів отримання порошків відносяться: подріблення і розмелювання в різних млинах; розпилення струменя розплавленого металу лопастями, які обертаються, або струменем стисненого газу; грануляція розплавленого металу при литті в рідину; обробка металів різанням з отриманням стружки надлому.

Розпиленням рідких сплавів отримують порошки алюмінію, цинку, міді, легованих сталей, чавунів. Метал розплавляють в електропечах. Для розпилення використовують повітря, азот, аргон; форма частинок при розпиленні сферична або каплеподібна.

Розмелювання крихких матеріалів (феросплавів, чавунів, мінералів) виконуються у шарових або молоткових млинах. Більш в'язкі метали (низьковуглецеві сталі, хром, нікель) розмелюються у вихрових млинах, швидкість обертання біл в яких до 3000 об/хв. При цьому форма частинок – тарільчата.

Після отримання порошки класифікують по фракціях ситовим методом.

Форма частин визначає їх поверхню і впливає на насипну щільність, текучість (швидкість висипання із воронки).

Механічні методи отримання порошків не дозволяють регулювати ні форму частинок порошку, ні його склад. Тому перевага при виробництві порошків надається фізико – хімічному методу. Це відновлення металів із оксидів та інших з'єднань, при цьому вихідною сировиною служить оксид, відновлювачем – газ (водень, дисоційований аміак, природний газ тощо), або твердий вуглець у вигляді коксу, сажі, може застосовуватись метал (алюміній, кальцій, магній, натрій).

Газоподібні і тверді вуглецеві відновлювачі застосовують для отримання порошку заліза. Газоподібні відновлювачі застосовують для виробництва порошків міді, нікелю, кобальту. Відновлення оксидів воднем дозволяє виготовляти порошки вольфрама і молібдена. Порошки титану, танталу, цирконію і ніобію отримують металотермічним способом – відновлення їх металами чи гідридом кальцію. Порошки легованих сталей і ніхромів отримують відновленням гідридом кальцію. Для цього суміш залізного порошку, закис нікелю, окис хрому і гідрид кальцію нагрівають до 1100...1200⁰С. Так можна отримати порошки легованих сталей будь-якої марки. Електролізом водних розчинів солей отримують порошки міді, нікелю, срібла; електролізом розплавів – порошки титану і танталу.

Порошок перед пресуванням повинен пройти відпал, просіювання на фракції і змішування.

При відпалі видаляються оксидні плівки, знімається наклеп, підвищується пластичність. Просіювання на фракції виконується для того щоб використовувати зерно заданого розміру. Зерна більші 50мкм розсіюються на фракції за допомогою набору сит, а більш мілкі – в повітряному сепараторі.

Змішування застосовується для рівномірного перемішування порошків. Для цього застосовуються різні змішувачі, а також шарові млини. Рівномірне перемішування буде краще, коли щільність компонентів буде ближче одна до одної.

5.2. Формування порошків

Формування порошків – це надання порошковому матеріалу форми, розмірів, щільності і міцності, які необхідні для виконання наступних операцій виготовлених виробів.

Пресовки отримують холодним пресуванням в пресформах (рис.5.1), гарячим пресуванням, поздовжнім, поперечним і поперечно – гвинтовим прокатуванням, методами, які застосовуються при формуванні полімерних матеріалів – екструзією (видишування порошку через мундштук з отвором, переріз якого визначає форму виробу), ливарним пресуванням (рис.5.2) і гідростатичним з ущільненням, коли порошок розміщують в герметичну оболонку(із гуми), яка деформується і ущільнюється при всебічному тиску рідкого середовища на цю оболонку. Тиск пресування знаходиться в межах від 300 до 1000МПа, тверді сплави пресують під тиском 100...150МПа тому, що частинки карбідів крихкі і при великому тиску подрібнюються.

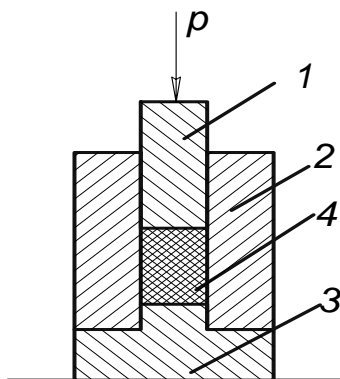


Рис.5.1. Пресформа для пресування порошків:

1 - пуансон; 2 - матриця; 3 - основа; 4 - порошок

Для зменшення тертя порошоків, як в середині так і по поверхні пресформи застосовують змащувальні речовини, які вводять в порошок або змащують стінки. В якості змащувальної речовини застосовують парафін, гліцерин, стеаринову кислоту та її солі, дисульфід молібдена. З збільшенням розмірів виробу збільшується кількість змащувальної речовини. В середньому кількість змащувальної речовини коливається в межах 0,1...1,5%.

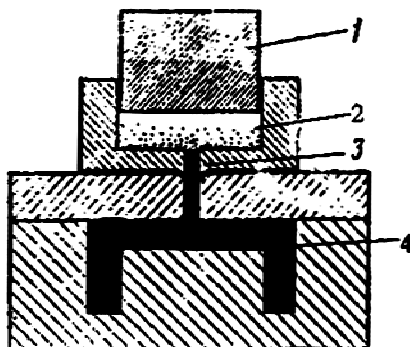


Рис.5.2. Схема ливарного пресування:

1- поршень; 2- завантажувальна камера; 3- ливник; 4- форма

Виготовлення пресових виробів доцільно в умовах крупносерійного і масового виробництва, так як пресформи досить дорогі. На рис. 5.3 наведені деталі, які отримані із металевих порошоків.

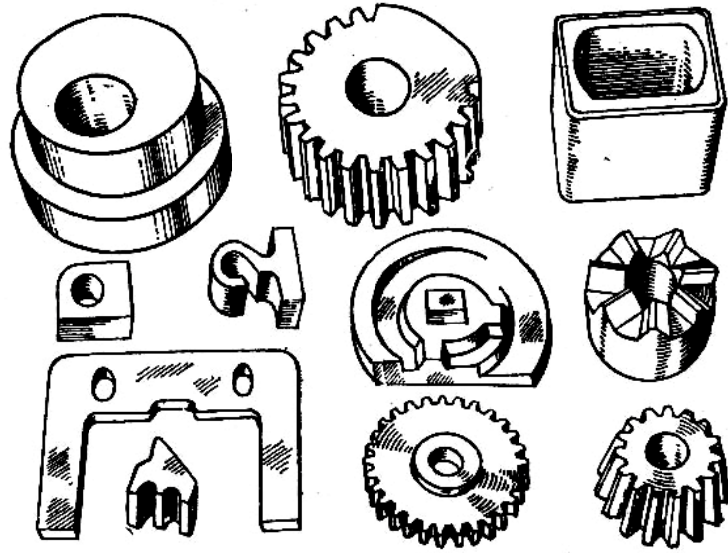


Рис.5.3. Приклад деталей, які отримані із металевих порошків.

Пресування металевих порошків включає дозування шихти, її засипки в пресформу, пресування на гідравлічних чи механічних пресах і видалення пресовки із пресформи.

Після пресування до пресовки необхідно прикласти зусилля, щоб видалити її із форми. Це зусилля (тиск виштовхування) складає 25...40% від тиску пресування.

Після видалення пресовки із форми, остання розбухає, що викликано дією внутрішніх напруг. Це явище називається пружним наслідком і складає 3...5% в напрямку пресування і 1...5% в перпендикулярному напрямку. Тому час між пресуванням і спіканням не повинен бути більше декількох годин.

Розміри і форма поверхні деталей пресформи (матриці, пуансонів, стержнів) повинна бути близькою до готової деталі. В виробі передбачається припуск на усадку і на механічну обробку, якщо це необхідно. Коефіцієнт використання металу при цьому складає 0,97...0,99. Залежність для визначення коефіцієнта використання металу має наступний вигляд:

$$K_{в.м} = \frac{M_d}{M_{прес}}$$

де M_d – маса обробленої деталі, $M_{прес}$ – маса пресовки. В деяких випадках коефіцієнт використання металу може бути рівний 0,91.

Високі вимоги ставляться до пресформ, вони повинні мати шорсткість поверхні $Ra=0,16...0,32\mu\text{m}$, матеріал виготовлення повинен мати високі механічні властивості. Для цих цілей застосовуються інструментальні сталі марок ХВГ, Х12М, 9ХС, У8, У10, Р9, Р18, Р6К5; тверді сплави ВК – 8, ВК –

15 та металокерамічні сплави. В середньому пресформа витримує до 100 тис. пресовок.

При пресуванні змінюється форма частинок порошку із сферичної перетворюється в подібну до багатогранника. Збільшується відносна густина пресовки, зменшується пористість. Збільшується поверхня контакту і щеплення частинок за рахунок їх взаємного тужавлення і дифузії по чистим поверхням. В місцях де руйнувалась оксидна плівка, і за рахунок електростатичних сил також проходило щеплення.

Ущільнення порошку в різних точках заготовки неоднакове. Найбільша щільність виробу під пресуючим пуансоном, найменша – на дні матриці. Нерівномірність ущільнення спостерігається і по площині, яка перпендикулярна дії сил: в верхній частині виробу краї щільніші, в нижній – центр щільніший.

Застосовуються як роз'ємні так і нероз'ємні матриці. Із роз'ємних матриць готові пресовки видаляються після розбирання останніх. Пластинки твердих сплавів для різальних інструментів отримують у глухих матрицях при односторонньому русі пуансона. Двухстороннє пресування дозволяє зменшити нерівномірність ущільнення, але при спіканні такої пресовки в середній її частині пройде найбільша усадка з утворенням “талі”. Тому конструкція пресформи і технологія пресування повинна забезпечити однакову щільність готових пресовок.

Одним із видів формування порошків є ізостатичне пресування. Порошок розмішують в гумову оболонку товщиною 0,1...0,15мм, ущільнюють вібруванням і вакуумують для видалення повітря із пор. Оболонку з порошком розмішують в робочу камеру, в яку нагнітають рідину або газ під великим тиском. Порошок в оболонці рівномірно обтискається з усіх сторін. Зовнішнє тертя порошка відсутнє, так як оболонка переміщується разом з порошком. При цьому тиск пресування набагато менший чим в першому випадку, а щільність пресовки отримується однаковою.

Цей вид пресування поділяється на гідростатичний і газостатичний. В першому випадку обтиснення виконується рідиною (масло, вода, гліцерин), в другому – газом. Гідростатичним пресуванням отримують циліндри, труби, тиглі, вироби складної форми, шари тощо. Маса пресовок може досягати 500кг. Оболонка із маси на основі натурального каучука витримує до 1000 циклів пресування. До недоліків ізостатичного пресування відносяться – низька продуктивність і невисока точність.

Вироби в вигляді стрічок формують прокатуванням порошків та їх сумішей між гладкими валками. Одночасне прокатування двох порошків різних металів або металевого листа з шаром порошку дозволяє отримати багатошаровий прокат. Але товщина прокатування невелика тому, що кут захвату не перевищує 13°. Широко застосовується прокатування в вакуумі або інертному газі порошків із активних металів (титану, танталу, цирконію).

Вироби в вигляді прутків, труб, кутників отримують за допомогою мундштукового пресування. Суть цього методу заключається в тому, що порошок

з пластифікатором розміщують в контейнер і видавлюють його пуансоном через отвір в мундштуку. Пластифікатором служить парафін, крохмаль, полівініловий спирт. Підігрітий порошок дає можливість обходитись без пластифікаторів. Алюміній та його сплави пресують при 400...600°C, нікель і сталь при 1050...1250°C, мідь при 800...900°C. Хімічно активні метали титан, цирконій, берилій пресують в захисному середовищі або захисних оболонках із скла, графіту або металевої фольги.

Вироби складної форми отримують шлікерним формуванням. При цьому в пористу форму шлікера заливають однорідну концентровану суспензію порошка в рідині. Кількість порошка складає 40...70%. Твердий шар створюється за рахунок того, що рідина входить в пори форми і частинки осідають на її стінках. Формування шару займає до 60хв в залежності від товщини стінки виробу. Потім виріб сушать при температурі 100...150°C.

5.3. Спінання і обробка спечених виробів.

Спінання є спеціальний відпал спресованих заготовок з метою підвищення його механічних властивостей. При формуванні поверхня контакту між частинами порошку складає невелику частину загальної поверхні. При спіканні ця поверхня значно збільшується, при цьому зростає щільність металу і його міцність.

При спіканні проходить відновлення окислів на металевих частинках і утворення міцного металевого контакту. При цьому спостерігаються явища знімання внутрішніх напруг і викривлення в кристалічній решітці, рекристалізація і дифузія.

В результаті спікання маломіцні механічні зв'язки між частинками порошку замінюються більш міцними міжатомними зв'язками.

Температура спікання в першу чергу залежить від величини частинок порошку, які спікаються. Тонкі порошки мають велику внутрішню і зовнішню поверхню тому температура спікання таких порошоків нижче чим порошоків більшій великої фракції того ж складу. Порошки мають внутрішню поверхню тому, що частинки пористі.

Спінання виконується в печах з захисною атмосферою. При цьому температура спікання заготовок, спресованих із порошку одного металу складає приблизно 75% від температури плавлення цього металу. Для заліза ця температура складає 1100...1200, для міді 800...900, для молібдену 2100...2300°C.

На першій стадії спікання знімається наклеп і залишкові напруги, що супроводжується послабленням фізичного контакту між частинками. Щільність при цьому практично не змінюється.

При температурі приблизно 50% від температури плавлення відновлюються оксиди і видаляються із пресовки газоподібні речовини. Підвищення, або пониження щільності на цій стадії залежить від кількості оксидів і характеру пороутворення, що впливає на видалення газів.

При температурі близькій до 75% від температури плавлення проходить дифузійна рекристалізація з повним розвитком металевих контактів і ущільнення матеріалу.

Спінання двох або багатокомпонентних пресовок виконується при температурі вищій точки плавлення найбільш низькоплавкого компоненту, який вводиться в суміш в якості зв'язки. При спінанні утворюється рідка фаза. Наприклад, температура спінання порошоків міді і олова 700...800⁰, заліза і міді 1100...1200⁰С.

В залежності від взаємної розчинності компонентів і здатності утворювати хімічні сполуки отриманий після спінання матеріал є однофазним або багатофазним.

Тривалість спінання складає до 3 годин. Доцільно проводити спінання в нейтральному або відновлювальному середовищі, такому як вакуум, водень, азот тощо. При цьому не буде окислення пресовок. Якщо на поверхні пресовок знаходяться оксиди, які не відновлюються воднем, то в шихту вводять вуглець в вигляді сажі, який відновлює при нагріві оксиди титану, магнію, хрому, ніобію, танталу.

Температури спінання виробів із порошоків на основі заліза складають 1100...1200⁰С, на основі міді-800...950⁰С. І для цих цілей застосовуються електричні печі. Для спінання порошоків при температурах 1100⁰С в електричних печах застосовуються опори з ніхромовими елементами, при температурі до 1500⁰С – з молібденовими елементами, до 2500⁰С – з вольфрамовими елементами. Для спінання при більш високих температурах через виріб пропускають електричний струм, або застосовують височастотний нагрів.

Пресування і спінання можна об'єднати в одну операцію (гаряче пресування). При цьому застосовуються більш низькі температури (на 10...30% нижче від температур спінання холоднопресових заготовок), а тиск складає 5...10% тиску звичайного пресування.

Обробка спечених виробів.

У деяких випадках виробництва спеціальних видів виробів застосовують просочування спресованного і спеченого каркасу із тугоплавкої речовини легкоплавким сплавом. Необхідною вимогою просочування є змочування тугоплавкої речовини розчином. Просочування виконують зануренням пористого каркасу в розчин або на пористий каркас кладуть кусочок легкоплавкого сплаву і розплавляють його в захисному середовищі. Мідь просочують свинцем, карбід титана – сталлю, вольфрамові волокна – міддю або мідно-нікелевими сплавами.

До додаткової обробки спечених виробів відносять: регулювання структури термообробкою, доводки виробу по розміру – калібрування або механічна обробка. Калібрування виконують в спеціальних калібровочних пресформах. Зусилля калібрування складає 10...25% від зусилля пресування. Калібруванням можна досягти 1...2 класу точності при 7...9 класах чистоти поверхні. Тому, що спечені вироби пористі то механічним шляхом їх обробляти важко.

А в процесі роботи спостерігаються вириви і досить важко отримати необхідну чистоту поверхні. Тому виконують механічну обробку на високих швидкостях твердосплавним інструментом з спеціально підібраними кутами різання.

5.4. Пористі порошкові матеріали

Пористі порошкові матеріали мають пори, які рівномірно розповсюджені по всьому об'єму пресовки. В залежності від відсотку цих пор в загальному об'єму пресовки останні поділяються на: антифрикційні пористі порошкові матеріали (пористість 15...35%), фрикційні пористі порошкові матеріали (пористість 10...13%), фільтри (пористість 25...50%), пористі і піноматеріали (пористість 95...98%).

Найбільш поширеною групою є антифрикційні пористі матеріали, які використовуються для підшипників ковзання. Основою цих підшипників є пористий матеріал, який заповнений змащувальним матеріалом, що виконує примусовий підвід останнього. Це особливо необхідно для чистих виробництв фармацевтичної та легкою галузі. Ці підшипники витримують більші навантаження чим литі, а при збільшенні швидкості обертання в них зменшується питомий тиск. В цих підшипниках вал майже не спрацьовується і шум зменшується в 3...4 рази чим в шарикових підшипниках.

Спочатку для пористих підшипників застосовували бронзу, яка в подальшому замінилась залізом, залізо – графітом з добавкою 5...7% міді. Виготовляють також мідно-графітові, бронзо-графітові підшипники, в яких графіт змішується з маслом і покращує умови змащування підшипника. Введення сірки в склад змащувальної рідини дозволяє підвищити робочу швидкість до 80м/с і підвищити допустиму робочу температуру.

Корінні та шатунні підшипники автомобільних двигунів виготовляють слідуючим чином: на стальну стрічку напиляють пористий шар суміші мідь – нікель – графіт і просочують зверху бабітом. Таким чином вкладиш підшипника буде трьохшарний і він має більш високі антифрикційні властивості і більш довговічний чим стальний з бабітовою заливкою.

Для роботи підшипників при температурах 500⁰С і в вакуумі розроблені пористі матеріали на основі з'єднань карбідів, боридів тугоплавких сполук.

В якості твердого мастила застосовуються сульфіді, селеніди і гексагональний тітрид бора.

При спіканні титану, бронзографіту, нержавіючої сталі з фторопластом Ф – 4Д або Ф – 4ДП отримують металопластмасові антифрикційні сталі, які мають високі корозієстійкі і зносостійкі властивості. Ці матеріали працюють вдвоє довше чим антифрикційні матеріали інших типів.

Технологічна схема виготовлення підшипникових втулок складається із пресування і спікання порошоків, просичення виробу маслом і калібрування пресуванням. Ці вироби не потребують механічної обробки.

Фрикційні порошкові матеріали.

Фрикційні спечені матеріали застосовують для прокладок в гальмівних дисках машин, колодок в тракторах, стрічках в гальмівних барабанах підйомно – транспортних машин і муфтах щеплення. В їх склад входить мідь, залізо, олово, графіт, кремній. Ці матеріали витримують тиск до 7МПа і температуру до 550⁰С . Найбільш широке застосування в промисловості знайшли фрикційні сплави, які складаються із 60...75% міді, 5...8% олова, 5...10% цинку, до 22% нікелю, до 22% заліза, 0.5% окису кварцу, 4...8% графіту, 0.3% азбесту. Фрикційні матеріали на основі азбесту (типу ферідо) і литі металеві (чавун, сталь, бронза) не можуть працювати в таких умовах, коли поверхні миттєво нагріваються до 1200⁰С. Для цих умов застосовується спеціальні багатокомпонентні матеріали.

По призначенню компоненти фрикційних матеріалів поділяються на:

- основі міді і її сплавів – для робочих температур до 500...650⁰С (приклад наведений вище);
- основі заліза, нікеля та сплавів на їх основі – для роботи при сухому терті і температурах до 1000...1200⁰С;
- тверді змащувальні матеріали – запобігають мікросхоплюванню при гальмуванні і запобігають їх зношуванню. В якості твердих змащувальних матеріалів використовується свинець, олово, графіт, вісмут, сульфати барія і заліза, нітриди бора;
- матеріали, які забезпечують високий коефіцієнт тертя (азбест, кварцовий пісок, карбіди кремнію, бора, хрому, титана, оксиди алюмінію і хрому.

Фільтри.

Фільтри, які отримують із спечених порошоків по зрівнянню з фільтрами виготовленими із паперу, фібри, фетра, металевих сіток, фторопластових і нейлонових пористих матеріалів мають більшу міцність, теплостійкість, стабільність форми і можливість очищення стисненим газом, рідиною або хімічною чи термічною очисткою. Особливо ефективні ці фільтри коли необхідна тонка фільтрація. Ці фільтри можуть працювати в інтервалі температур 300...900⁰С і бути корозієстійкими і жароміцними. Такі фільтри затримують частинки розміром до 1мкм. Тому їх доцільно використовувати для очищення рідин від твердих частинок, повітря і газів від пилу, а також для регулювання кількості рідини і газів.

Фільтри виготовляють із порошоків заліза, сталі, бронзи, титану, нікеля, срібла, латуні. Для металургії і хімічної галузі фільтри виготовляють на основі нікелевих сплавів, вольфраму, молібдена та тугоплавких сполук.

Фільтруючі елементи можуть мати вигляд стаканів, циліндрів, втулок, дисків, плит, труб, стрічок. Розміри їх знаходяться в інтервалі 1,5...1000мм.

Фільтри із спечених матеріалів дають великий економічний ефект, вони можуть працювати тисячі годин і піддаватись регенерації в процесі роботи. Застосовуються фільтри в декілька шарів з різною пористістю і діаметром пор. Перший шар затримує більш великі частинки, другий і наступні –мілкі. Це дає можливість фільтру не забиватись. Установка пористих матеріалів із нержавіючої сталі в холодильниках доменних печей дозволила перейти на випарувальне охолодження взамін водяного, що привело до значного зменшення витрат води і збільшило строк служби вогнеупорів.

Пористі і піноматеріали.

Такі матеріали застосовуються як заповнювачі і теплоізоляція в авіаційній техніці та інших галузях. Завдяки високій пористості вони мають досить низьку щільність. Наприклад, щільність вольфраму $19,3\text{г/см}^3$, а піновольфраму – 3г/см^3 .

5.5. Конструкційні порошкові матеріали

Конструкційні порошкові матеріали є найбільш поширеними матеріалами порошкової металургії. В більшості випадків вони не потребують механічної обробки і припуск на останню в них не передбачений.

Як правило міцність в них дещо нижча чим у кованих деталей і пористість складає 84...85% при холодному пресуванні. Високошвидкісне пресування дозволяє отримати щільність 94...95% і дещо більшу міцність.

Наявність пор в матеріалі виконує свої додатні функції: зменшує шум під час роботи, покращує притирання деталей, а заповнення пор маслом дозволяє зменшити тертя і зношення деталей. Рівень міцностних характеристик задовольняє потреби мало і середньо-навантажених виробів.

Найбільше поширення отримали порошкові конструкційні матеріали в автомобілебудуванні, де найбільш застосовуються деталі масового виробництва.

В маркуванні порошкових конструкційних сталей додатково вводяться буква "С," яка вказує на матеріал-сталь, і буква "П" - порошкова. Цифра після риски вказує на щільність сталі в відсотках. Наприклад, порошково-конструкційні СП10-1... СП10-4, СП30-1... СП30-4, СП30Д3-2, СП60Н2Д2-2, СП40Х-2, СП45Х3-2; мартенситно-старіючі СПН12К5М5Г4ТЮ, СПН12Х5М3Т; корозієстійкі СПХ17Н2, СПХ18Н15, СПХ23Н28.

Внаслідок більш низьких механічних властивостей такі сталі використовуються для виготовлення малонавантажених виробів, як правило складної форми. Зі спечених сталей можуть бути виготовлені кулачки, храповики, шарові вставки, корпуси підшипників, зірочки розподільчих валів, ролики. Ці деталі доцільно виготовляти із залізного порошку і графіта разовим пресу-

ванням і спіканням. Деталі складної конфігурації можна отримувати пресуванням і спіканням, з подальшим повторним спіканням їх при попередньому складанні.

Марки і характеристики міцності ряду спечених матеріалів на основі залізного порошку наведеного в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1.

Спечені матеріали на основі порошка заліза.

Марка	Тимчасовий опір, МПа	Відносне видовження, %	Марка	Тимчасовий опір, МПа	Відносне видовження, %
Ж10-60	120	2	Ж10Д3-66	260	4
Ж10-63	140	3	Ж10Д-70	340	7
Ж10-63	170	5	Ж50Д3-60	200	0,5
Ж10-70	210	9	Ж50Д3-63	250	1
Ж50-60	160	1	Ж50Д3-66	300	1,5
Ж50-63	190	1,5	Ж50Д3-70	360	3
Ж50-63	220	2,5	Ж10Н4Д2-66	250	5
Ж50-70	300	3,5	Ж10Н4Д2-70	340	6
Ж50-76	900	4	Ж50Н3Д2-66	320	3
Ж20-76	500	10	Ж50Н3Д2-70	440	4,5
Ж90-76	1000	1	Ж40Н3Д2Х-66	800	1
Ж10Д3-60	170	2	Ж20Н3Д5Х-60	500	1,5
Ж10Д3-63	210	2,5	Ж60Н3М-76	1150	2
Ж20Х2-76	850	4	ЖД20-78(Пр)	400	3
Ж40Г2-76	900	4	ЖЛ20-78(Пр)	400	5
Ж30Н3М-76	1100	2			

Для виготовлення цієї групи використовується суміші: залізо – графіт; залізо – мідь – графіт; залізо – чавун; залізо – графіт – легуючі елементи. Введення графіту в залізний порошок проходить під час спікання. Наведені в таблиці 5.1 спечені матеріали розшифровуються слідуючим чином: цифри після букви Ж – вказують вміст вуглецю в сотих долях відсотку, далі – вміст легуючих елементів і їх кількість, як і в марках сталі, і після риски щільність виробу помножена на десять в г/см^3 . Наприклад, марка Ж20Д5Н3Х-60. Матеріал на основі заліза з 0,20% вуглецю, 5% міді, 3% нікелю, 1% хрому при щільності $6,0\text{г/см}^3$. Малонавантажені деталі виготовляють із матеріалів з тимчасовим опором до 250МПа,

середньонавантажени – 300...500МПа, сильнонавантажени – 500...800МПа і більше.

Матеріал ЖД20-78(Пр), ЖЛ20-78(Пр) отримані просоченням спеченого залізного каркасу міддю і латунню відповідно. Матеріали з щільністю 7,6г/см³ отримані динамічним гарячим пресуванням.

Шестерні для потреб машинобудування виготовляють із порошків заліза і графіта або із заліза, графіта з міддю з легуючими елементами. При цьому собівартість шестерень складає 30...80% від собівартості шестерень виготовлених із прокату, трудозатрати при цьому скорочуються на 50%. Для більшої точності шестерні після спікання калібрують і доводять, а просочування пор маслом дає можливість знизити зношування і зменшити шум при роботі.

Для виготовлення поршневих кілець застосовується залізний порошок, в який додають 1,1% графіту, 2% міді і 4% сульфіда цинка. Кільця роблять з двох шарів. В зовнішній шар вводять 6% хрому і збільшують вміст графіту до 3,5%. Це приводить до збільшення зносостійкості кілець, відповідно збільшується пробіг автомобіля, витрати масла скорочуються в 1,5 рази.

Застосування порошкової металургії знижує собівартість кілець на 30...40%, зменшуються витрати металу. Ці кільця міцніші за чавунні в 1,5...2 рази, по зносостійкості в 1,5...3 рази, по пружності в 1,2...1,5 рази (пружність зберігається при температурі до 350...400⁰С.)

Поруч з чорними металами в якості основи, застосовуються і кольорові. Спечені сплави із порошків на основі алюмінію СПАК-4, СПАК-4В, які замінюють сплав АК4-1, дозволять підвищити жароміцність і корозієстійкість при виготовленні порошків важконавантажених двигунів внутрішнього згоряння та інших виробів, які працюють при високих температурах.

Застосовуються порошкові матеріали на основі міді (бронзо-графітні шестерні). Їх властивості кращі чим у литих шестернях із-за більшої однорідності хімічного складу і відсутності включень.

Для роботи при температурі 200...400⁰С розроблені порошкові матеріали: які включають 1,4% хрому, 1% цирконію, на основі алюмінієвого порошку; або 6...9% магнію, 1% хрому. Ці матеріали мають високу межу текучості і корозійної стійкості. Тимчасовий опір останнього сплаву складає 320...360МПа, відносне видовження 18%, що дає можливість з успіхом замінити прокат і поковки із сплавів АМ_г6 і АК-8.

Спечений порошковий титановий каркас з магнієм (магнію від 10 до 80%) дає можливість виготовляти листи, прутки, труби.

Наряду з машинобудуванням сплави на основі кольорових металів знайшли широке впровадження в приладобудуванні та електронній техніці. Найбільш поширені це АЛП-2, АЛПД-2-4, АЛПЖ12-4, БрПБ-2, БрПО10Ц3-3, ЛП15Г2-2, БрПО10-2 тощо. Перші букви вказують на клас матеріалу: "АЛ"- алюміній; "Б"- берилій; "Бр"- бронза; "Л"- латунь. Буква "П"-

порошковий сплав, число після риски – щільність матеріалу в відсотках. Буква “Д”- мідь, “Ж”- залізо, “Г”- марганець тощо. Цифри в маркуванні вказують склад сплаву в відсотках.

Економічна ефективність при використанні порошкової металургії досягається завдяки скороченню або повному виключенню механічної обробки. Внаслідок високої вартості пресформ виготовлення деталей машин методом порошкової металургії ефективно тільки в масовому виробництві.

Застосування порошкових матеріалів доцільно при виготовленні деталей простої симетричної форми – циліндричної, зубчастої, конічної; малої маси і розмірів. Конструкція і форма повинні дозволяти рівномірно заповнювати порожнини пресформ порошками, їх ущільнення, розподілення напруг і температури при пресуванні і видаленні виробу із пресформ. Форми не повинні мати отворів під кутом до осі заготовки, внутрішніх порожнин, виступів і виямок.

Основи технології ливарного виробництва

- 6.1. Історія розвитку ливарного виробництва.
- 6.2. Загальні поняття ливарного виробництва.
- 6.3. Ефективність використання металу при литті порівняно з іншими видами обробки металів.
- 6.4. Усадка ливарних сплавів та припуски на механічну обробку.
- 6.5. Дефекти виливок.
- 6.6. Плавильні агрегати.

6.1. Історія розвитку ливарного виробництва

Ливарне виробництво як і металургія зародилася в перших великих культурних центрах – в долинах Тигра і Євфрата, а також Ніла. Народність шумери, які жили на межі III – IV тисячоліття до нашої ери по річках Тигр і Євфрат, виливали із золота вироби, які і сьогодні залишились такими ж чистими і блискучими, якими були в ті давні часи.

Золото, срібло, а потім мідь і бронзу плавили в тиглях на вогнищі і розливали в форми. Форми, як правило, виготовляли із глини (для отримання виливки необхідно ливарний сплав, форма і модель). Модель – це копія майбутньої виливки. В той час моделлю служила воскова фігура, яка обмашувалася глиною. В глині робився отвір для заливання металу і виходу газів. Після прокалювання форми віск виплавляється і вона набуває міцності. Після цього в неї заливають метал. Потім форма руйнується і з неї отримуємо виливку.

В Давній Русі ливарне виробництво досягло розквіту на рубежі XII – XIII сторіччя. Форми в той час виготовляли із твердого каменю. З'явилися двохсторонні форми з розгалуженою ливниковою системою. Після каменю

формування поширилось на глину. В основному виготовлялися мідні та бронзові вироби (прикраси, зброя в вигляді наконечників стріл та списів, сокири, предмети домашнього вжитку – казани, миски тощо). В руських літописах за 1067 рік згадується про вилитих дзвонах, які встановлювалися у храмах Новгород. В XIV сторіччі руські майстри – ливарники освоїли виготовлення бронзових гармат, що мало велике значення для захисту держави.

В XV сторіччі з'явився новий метал – чавун, з якого ливарники почали виливати труби, дзвони, вагові гирі тощо. Поява на Русі чавунних труб датується 1445 роком.

В XVI сторіччі з'являється нове в технології виготовлення форм. Зокрема глину змішували із шерстю і кварцовим піском для підвищення технологічних властивостей останньої.

Слідуючим кроком в розвитку ливарного виробництва було застосування замість глини більш міцнішого матеріалу – гіпсу. Після виготовлення гіпсової моделі майстер виготовляв гіпсову форму, яка складалася із декількох частин, які можна було зняти із моделі. Зовні гіпсові куски покривались зовнішнім шаром гіпсу, який затвердівав і утворював як би раковину для кусків гіпсу. Таким чином, форма складається із двох шарів: внутрішнього (окремих кусків) і зовнішнього (кусків раковини). Внутрішню поверхню гіпсової форми покривали восковим шаром такої товщини, яку повинна мати виливка. Потім встановлювали металевий каркас – основу стержня. Навколо неї знову складали гіпсову двохшарову форму. Заливали всередину спеціальний стержневий склад на основі алібаstra. Після його затвердіння форму розбирали, шар воску при цьому залишали на стержні. Модель обробляли, зачищали, припаювали в основі ливникові канали. Кісточкою наносили особливий формувальний склад, який висихав і утворював облицювальний шар форми. Утворену форму обклали цеглою товщиною 150...200 мм, стягували металевими обручами. Сушку виконували на місці. Після виплавки воску форму нагрівали до 900...950С і заливали розплавлену бронзу. Після охолодження форма руйнувалася, виливка очищувалася і при необхідності на останній наносилася чеканка.

Дзвони виготовляли в наступній послідовності (рис.6.1). Виготовлявся низ форми 2, який називався „болваном”. „Болван” виготовлявся із цегляної кладки 4 і обмашувався глиною. Внутрішню порожнину заповнювали глиною 1. Для виготовлення великих дзвонів форму встановлювали в ямі. Плавили метал в печах, які розміщували неподалік форми. Потім виготовляли тіло дзвонів 5, яке формували із декількох шарів глини за допомогою шаблонів. Після кожного нанесення шару глини шаблон урізували. Для запобігання утворення тріщин в глину вводили лляні волокна, які розтягували по колу форми. Після формування контура тіла на нього наносили орнамент із воскової маси.

В останню чергу виготовляли кожух 3, який і є верхньою опокою. Його виготовляли також із глини, яка змішувалась разом із порубленою шерстю тварин і льна. Шар товщиною 5...7 мм сушили на протязі 10...16 годин, потім наносили наступний. Для зміцнення верхньої опоки 3, в останню вводили залізні армуючі полоси 6. Після сушіння кожух знімали і ремонтували. Простір між формою і стінками ями засипали піском і щільно утрамбовували. Таку ж технологію виготовлення виливок застосовували при литті гармат.

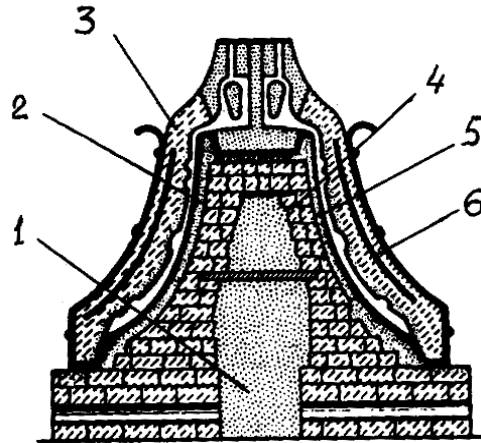


Рис.6.1. Форма для виготовлення дзвонів:

1 - глина; 2 - низ форми; 3 - кожух; 4 - цегляна кладка; 5 - тіло дзвонів;
6 - армуючі полоси

В середині XIX сторіччі з'явився новий метал для лиття – сталь. Виготовлення виливок складної форми привело до виготовлення стержневих форм, які застосовуються і в наш час. Особливо для виливок складної форми – станин верстатів, молотів тощо. Основні навички виготовлення форм, які удосконалювалися на протязі сторіч застосовуються і в даний час.

Основоположниками наукового підходу до ливарного виробництва є російські вчені – металурги П.П. Аносов, Д. К. Чернов, А. С. Лавров та інші.

6.2. Загальні поняття ливарного виробництва

Основними способами виготовлення металевих заготовок є обробка металів різанням, обробка тиском і лиття. Деталі складної конфігурації також можна отримувати зварюванням, пайкою і склеюванням, які отримані попередньо литтям і обробкою тиском. А також отримання заготовок і деталей машин та механізмів за допомогою методів порошкової металургії.

Лиття – універсальний і один із самих поширених процесів отримання заготовок, або деталей, які максимально наближені по конфігурації і

розміром до готової деталі. Ливарним виробництвом називають процес отримання деталей або заготовок шляхом заливки розплавленого металу в форму, порожнини яких відповідають конфігурації і розмірам останньої.

Після затвердіння металу форми руйнуються або розкриваються і виймаються вилиті деталі, які називаються виливками. Кінцеві розміри деталей, як правило, отримують після механічної обробки.

Литтям отримують різні конфігурації виливок масою від декількох грамів до 300 т, довжиною від декількох см до 20 м, товщиною стінки 0,5...500мм. При литті практично відсутні обмеження по складності конфігурації виливок. В багатьох випадках лиття є єдиним способом виготовлення необхідних деталей. Особливо це відноситься до деталей великих розмірів, маси і складної конфігурації, а також до малопластичних сплавів (чавун), які не піддаються обробці тиском (кування, штампування).

Доля деталей, які виготовляються литтям складає в середньому 40...50%

Більша частина виливок виготовляється литтям в пісчано – глинисті разові форми. Але в деяких випадках ці виливки не задовольняють вимогам, які до них ставляться (низька чистота поверхні, неможливість отримання тонкої стінки тощо). Тому застосовують спеціальні види лиття: лиття в оболонкові (коркові) форми, лиття за виплавленими моделями, лиття в кокіль, лиття під тиском, відцентрове лиття тощо. Кожен із перерахованих видів лиття має свої недоліки і переваги.

6.3. Ефективність використання металу при литті по зрівнянню з іншими видами обробки металів

Ефективність використання металу при литті порівняно з іншими видами обробки металів визначаються двома коефіцієнтами: коефіцієнтом виходу готових виливок (Кв.в); коефіцієнтам використання металу (Кв.м).

Витрати металу оцінюються по коефіцієнту виходу готових виливок, які вимірюються в відсотках.

$$K_{в.в} = \frac{M_{в.ч}}{M_{ш}} \cdot 100\%,$$

де $M_{в.ч}$ – маса виливок чистова; $M_{ш}$ – маса металеві шихти (маса виливки, маса елементів ливникової системи, маса витрат металу – угар).

Збільшення цього коефіцієнта зменшує витрати металу, формувальних і модельних матеріалів, електроенергії, підвищує продуктивність праці і знижує собівартість виготовлення виливок.

Ефективність вибраного методу лиття характеризується коефіцієнтом використання металу.

$$K_{в.м} = \frac{M_{д}}{M_{в.ч}},$$

де $M_{д}$ – маса обробленої деталі

Коефіцієнт використання металу при литті в разові пісчано – глинисті форми становить 0,75...0,95, при спеціальних видах лиття 0,9...0,95.

Спеціальні види лиття мають наступні значення коефіцієнтів виходу готових виливок і коефіцієнтів використання металу: при литті в оболонкові форми $K_{в.в} \approx 80\%$, $K_{в.м} = 0,9$; при литті за виплавленими моделями $K_{в.в} \approx 80\%$, $K_{в.м} \approx 0,8$; при литті в кокіль $K_{в.в} = 75...80\%$; при литті під тиском $K_{в.в} = 90\%$, $K_{в.м} \approx 0,99$; при відцентровому литті $K_{в.в} = 100\%$, $K_{в.м} = 0,8$.

6.4. Усадка ливарних сплавів та припуск на механічну обробку

Розрізняють лінійну та об'ємну усадку. Під лінійною усадкою розуміють зменшення розмірів виливки порівняно з розмірами форми, яке проходить в процесі затвердіння і охолодження металу. Цю усадку визначають у відсотках за формулою:

$$E_{\text{лінійна}} = \frac{(l_{\phi} - l_{\text{вил}}) \cdot 100}{l_{\text{вил}}},$$

де l_{ϕ} і $l_{\text{вил}}$ – розміри порожнини форми і виливки при температурі $t = 20^{\circ}\text{C}$

Розміри моделі повинні бути більші розмірів виливки на величину лінійної усадки. На лінійну усадку впливає склад сплаву і температура його заливання. Сірий чавун зменшує усадку із збільшенням вмісту вуглецю і кремнію. Усадку алюмінієвих сплавів зменшує підвищений вміст кремнію. Усадку виливок зменшує зниження температури заливання металу. Збільшення швидкості відводу тепла від залитого в форму сплаву приводить до збільшення усадки виливки. Середнє значення ливарної усадки для сірого чавуну становить 1..1,3%, для сталі – 2...2,5%, для бронзи – 1,4...2,5%, для алюмінієвих сплавів – 0,9...1,2%, для високолегованих сталей – 2,5%, для латуні – 1,3...1,8%, для цинкових сплавів – 0,9...1,2%, для магнієвих сплавів – 1,0...1,6%, для титану та його сплавів – 1,5...2,3%.

Об'ємна усадка. Під об'ємною усадкою розуміють зменшення об'єму сплаву при його охолодженні в ливарній формі при формуванні виливки. Об'ємну усадку визначають у відсотках із співвідношення:

$$E_{\text{об'ємна}} = \frac{(V_{\phi} - V_{\text{вил}}) \cdot 100}{V_{\text{вил}}},$$

де V_{ϕ} і $V_{\text{вил}}$ – об'єм порожнини форми та об'єм виливки при температурі $t = 20^{\circ}\text{C}$

Співвідношення між лінійною та об'ємною усадкою наступне:

$$E_{\text{об}} \approx 3E_{\text{лінійна}}$$

Усадка у виливках проявляється у вигляді дефектів виливок (раковин, пористостей, тріщин та короблення).

Припуск на механічну обробку.

Під припуском на механічну обробку розуміють шар металу, який необхідно зняти щоб перейти від виливки до деталі, розміри якої вказані на кресленні. Величина припусків на механічну обробку після лиття залежить від розмірів і точності виготовлення виливки, чистоти механічної обробки, розміщення частини виливки, яка обробляється у формі, а також від складу сплаву із якого відливається заготовка. Для виливок із сірого чавуна припуски на обробку знаходяться у межах від 2 до 24 мм, для сталевих виливок від 3 до 33 мм на сторону.

6.5. Дефекти виливок

Основною причиною дефектів виливок є ливарна усадка металу. До основних дефектів відносяться усадкові раковини, усадкова пористість, тріщини (холодні і гарячі), короблення, газові раковини і газова пористість.

Усадкові раковини

Під усадковими раковинами розуміють відкриті або закриті порожнини в більш масивних місцях тіла виливки, які затвердівають в останню чергу. Порожнини мають велику шорсткість поверхні з грубокристалічною будовою. Процес затвердіння проходить слідуєчим чином. Спочатку біля стінок ливарної форми утворюється кірка твердого металу. Внаслідок того, що усадка розплаву металу при переході із рідкого стану в твердий перевищує усадку кірки, рівень металу в рідкій частині виливки понижується, а на кірці наростає новий твердий шар і рівень рідини знов понижується. Так проходить до тих пір, поки не закінчиться процес затвердіння.

Зниження рівня розплаву металу при затвердінні приводить до утворення усадочної раковини. Найбільш інтенсивно усадкові раковини утворюються при виготовленні виливок із чистих металів, сплавів алюмінію, сплавів із вузьким інтервалом кристалізації (низьковуглецеві сталі, безолов'янісні бронзи), при заливанні форми сильно нагрітим металом і невідповідності хімічного складу металу.

На величину, форму і розміщення усадкових раковин впливає ступінь усадки даного металу, розміри виливок, способи лиття, температура металу і швидкість його охолодження в формі.

Усадкова пористість.

Під усадковою пористістю розуміють накопичення порожнин у виливці у великій зоні в результаті усадки у масивних місцях виливки, які затвердівають останніми без доступу до них розплавленого металу. Близько температури солідуса кристали зростаються один з другим. Це приводить до

роз'єднання вічок, які заключають у собі залишки рідкої фази. Затвердіння невеликого об'єму металу в таких вічках проходить без доступу розплаву металу від сусідніх вічок. В кожному вічку в результаті усадки утворюється невелика усадкова раковина. Множина таких мікроусадкових раковин утворюють пористість. Ця пористість розміщується по границях зерен металу.

Появу усадкових раковин і пористості можна запобігти, якщо застосовувати спеціальні „додатки” (надставки над масивними стінками виливки) і постійно доливати рідкий метал. Завдяки цьому усадкову раковину і пористість можна перевести в зону додатку і видалити при обрубці. Також запобігти утворенню усадкових раковин і пористості дозволяє установка у ливарну форму холодильників.

Холодильники виготовляють із того ж сплаву, що і вилівку і встановлюють з внутрішнього боку масивних частин виливки або всередині порожнини форми. Завдяки цьому їх можна розділити на зовнішні та внутрішні. Внаслідок високої теплопровідності і великої теплоємності холодильників відвід тепла від масивної частини виливки проходить більш інтенсивно, чим від тонкої. Це сприяє вирівнюванню швидкостей затвердіння масивної і тонкої частини і усунення усадкових раковин і пористості.

Внутрішні холодильники частково розплавляються і зварюються з основним металом при заповненні форми сплавом.

Усадкові раковини і пористість виливок можна виявити простим оглядом обробленої поверхні і при гідравлічному іспиті виливок (під водяним тиском).

Тріщини

Поширеним дефектом виливок є тріщини. Причиною виникнення тріщин є внутрішні напруги, які виникають за рахунок нерівномірного затвердіння товстих і тонких частин виливки і усадки сплаву. Ці напруги тим вищі, чим менша піддатливість форми і стержнів. Якщо величина внутрішніх напруг більша межі міцності ливарного сплаву в даній частині виливки, то в її тілі утворюються тріщини.

Тріщини поділяються на холодні і гарячі.

Холодні тріщини – це наскрізні і ненаскрізні розриви в стінках виливок, невеликої ширини і значної довжини. Вони утворюються при низьких температурах і мають неокислену поверхню. Виникають вони в області пружних деформацій, коли сплав повністю затвердів. Утворення внутрішніх напруг викликано тим, що тонкі частини виливки охолоджуються і скорочуються швидше чим товсті. Холодні тріщини частіше всього утворюються в тонкостінних виливках складної конфігурації. Тріщини будуть більшими чим вищі пружні властивості сплаву, чим значніше його усадка при понижених температурах і чим нижче його теплопровідність. Ймовірність утворення холодних тріщин в виливках збільшується при наявності в сплаві шкідливих домішок (фосфору, сірки).

Також холодні тріщини з світлою поверхнею злому можуть з'являтися внаслідок механічних пошкоджень охолоджених виливок при одрубуванні, зачищенні і падінні на землю.

Для запобігання утворення у виливках холодних тріщин необхідно забезпечити рівномірне охолодження виливок по всіх перерізах шляхом використання холодильників, застосовувати сплави для виливок з високою пластичністю і проводити відпал виливок з метою знімання внутрішніх напруг.

Гарячі тріщини – це розриви в стінках виливок, які мають значну ширину і невелику довжину. Вони утворюються при високій температурі (близькій до температури солідуса) в процесі кристалізації і усадки металу при переході із рідкого стану в твердий. Гарячі тріщини проходять по межах кристалів і мають окислену поверхню. Нахил до утворення гарячих тріщин збільшується при наявності неметалевих включень, газів (водень, кисень), сірки та інших домішок. Тріщини можуть виникати в випадку недостатньої піддатливості стержнів і окремих частин форми, ранньої вибивки виливки із форми, неправильної конструкції виливки і підвищеної усадки металу. Висока температура заливки металу сприяє збільшенню зерна металевої структури і збільшенню перепаду температур в окремих частинах виливки, що збільшує ймовірність утворення тріщин.

Для запобігання виникненню гарячих тріщин в виливках необхідно створити умови, які сприяють формуванню мілкозернистої структури, забезпечити одночасне охолодження тонких і товстих частин виливок (застосування холодильників), збільшити піддатливість ливарних форм і по можливості знизити температуру заливки сплаву.

Короблення

Короблення – це зміна розмірів і конфігурації виливки під впливом внутрішніх напруг, які виникають при нерівномірному охолодженні окремих її частин. Короблення збільшується при складній конфігурації виливки, підвищення швидкості охолодження окремих частин виливки і різку усадку.

Для запобігання короблення необхідно добитися меншої різностінності виливки, для охолодження масивних її частин застосовувати холодильники, збільшувати піддатливість форми і створити раціональну конструкцію виливки.

Газові раковини і пористість

Газові раковини і пористість – це порожнини в тілі виливки, утворені повітрям або газами, які виділяються із розплавленого металу при його затвердінні або із матеріалів форми. Газові раковини можуть бути відкриті або закриті (внутрішні). Вони мають різну величину, форму і місцезнаходження в виливці. В рідкому стані метали і сплави активно поглинають значну кількість водню, кисню, азоту та інших газів із оксидів і вологи вихідних шихтових матеріалів при їх плавленні. В рідких металах і

сплавах розчинність газів збільшується із підвищенням температури. Газові пухирі утворюються внаслідок того, що розчинені в розплавленому металі газу (водень, азот, кисень, окис вуглецю тощо) при охолодженні сплаву виділяються і намагаються піднятися доверху, але в сплаві, який охолоджується вони всплоти не можуть і залишаються в виливці у вигляді раковини. Газові раковини, пористість знижують механічні властивості і герметичність виливок. При заливці розплавленого металу розплав може захоплювати повітря у ливникову систему, засмоктувати його через стінки каналів ливникової системи. Крім того, газу можуть проникати в метал із форми при випаровуванні вологи, яка знаходиться у формувальній суміші. Як правило газові раковини мають чисту і гладку поверхню.

Таким чином, причиною утворення газових раковин є підвищена газоутворююча здатність формувальної суміші недостатня її газопроникливість, погана вентиляція стержнів та форм, заливка форми недостатньо розкисленим металом, підвищена вологість формувальних та стержневих сумішей.

Для зменшення газових раковин і пористості у виливках плавлення металу слід вести під шаром флюсу, у середовищі захисних газів з використанням добре просушених шихтових матеріалів. Перед заливанням розплавленого металу у форму його необхідно дегазувати продуванням інертним газом.

Додавання в рідкий сплав спеціальних розкислювачів, наприклад, феросиліція, фероалюмінія, сілікокальція сприяє видаленню газів.

Також зменшити число газових раковин і пористості можна за рахунок збільшення числа випорів, правильного підбору температури при заливанні сплаву у форму, і правильного розміщення ливникових каналів.

Пісчані раковини, заливи, недоливи, перекося і різностінність.

До неосновних дефектів виливок можна віднести пісчані раковини, заливи, недоливи, перекося і різностінність.

Пісчані раковини – це різні по формі порожнини в тілі виливки, частково або повністю заповненні формувальною сумішшю. Причинами утворення пісчанних раковин є руйнування окремих частин форми, змивання формувальної суміші розплавом металу при неправильному його підводі. Пісчані раковини можуть утворюватися від вогнеупорів печей і ківшів в результаті недостатньої їх міцності, а також в результаті недостатньої очистки рідкого сплаву від частинок шлаку при заливанні форми.

Заливи – це тонкі різні по величині і формі виступи на виливці, які не передбачені кресленням і утворюються вони по площині роз'ємну форми при наявності збільшеного зазору між півформами.

Недоливи – це неповні заповнення форми розплавом, що спостерігається при недостатній його рідкотекучості, при скупченні газів, які протидіють заповненню форми при недостатніх розмірах живильників ливникової системи.

При складному контурі в виливках інколи спостерігаються перекоси і різностінність. Причинами цих недоліків можуть бути неправильне збирання опок зміщення стержнів і викривлення форми.

Перекосяк – це невідповідність конфігурації виливки кресленню із – за зміщення однієї частини виливки відносно іншої. Це відбувається внаслідок неправильного центрування опок при великому зносі стержнів.

Різностінність виникає в результаті неправильної установки або зміщення стержнів при заливанні форми в випадку неміцного їх кріплення у формі. При великій швидкості охолодження зовнішнього шару у чавунних виливках спостерігається відбіл (поява відбіленої кірки). Це пояснюється тим, що у чавуні цементит не розпався як це проходить в виливках в умовах повільного охолодження. При механічній обробці чавунних виливок з відбіленою кіркою виникають труднощі, так як ця кірка має досить високу твердість. Зняти відбіл можна відпалом чавунних виливок.

Якщо необхідно отримати тверду кірку на поверхні, то заливку чавуна виконують в металеву форму – кокіль. Стінки кокіля швидко забирають тепло від поверхні виливки, що запобігає графітизації чавуна. Відбілювання поверхневого шару можна уникнути якщо заливати чавун у підігріті кокілі.

Деякі виявлені дефекти можна виправити. Для цього широко практикується заварка дефектів лиття (раковин, тріщин та ін) газовою або електродуговою зваркою. Присадочний пруток чи електрод повинен мати той же хімічний склад, що і основний метал. Для того щоб не було тріщин в процесі заварювання чи після її виливку необхідно нагріти до температури 200...250 °С.

Мілкі тріщини і неглибокі раковини виправляються металізацією (нанесенням шару металу за допомогою спеціальних апаратів).

Також застосовують просочування виливок різними розчинами. Так пористі виливки, які працюють під невеликим тиском просочують водняним розчином хлористого амонію. Він проникає між кристалами металу, утворює оксиди і при цьому закупорює пори виливки.

Пористість чавунних, бронзових і алюмінієвих литих деталей, які працюють під значним тиском, усувається шляхом запресування у пори бакелітового лаку. Просочену виливку сушать при кімнатній температурі біля 50 годин, або в печі при температурі 130 °С.

6.6. Плавильні агрегати

Плавлення ливарних металів та сплавів виконують в вагранках, тигельних і електричних печах, в конверторах, в полумєневих тигельних горнах. Для плавлення кольорових сплавів застосовуються дугові і індукційні печі та печі опору.

В вагранках в основному плавлять чавун. Вони прості за конструкцією, високопродуктивні і економічні.

Загальний вигляд вагранки наведений на рис. 6.2. Вагранка - це піч круглого перерізу шахтного типу, яка викладена шамотною цеглою 10 і заключена в металевий кожух 8. Шахта опирається на піддонну плиту 19, яка підпирається стальними колонами 20. Стальні колони встановлені на фундаментній плиті 24. Нижній отвір шахти закрито відкидним дном 21, яке опирається на домкрат 25. На піддону плиту набивається подіна 17 із тощої формувальної суміші. На подіну завантажується кокс 15, верхній рівень якого повинен бути на 500...700 мм вище рівня розміщення фурм 14, через які вентилятором 16 подається повітря (окислювальне дуття). Від вентилятора воно проходить через стальну коробку 12, яка оперізує вагранку по периметру.

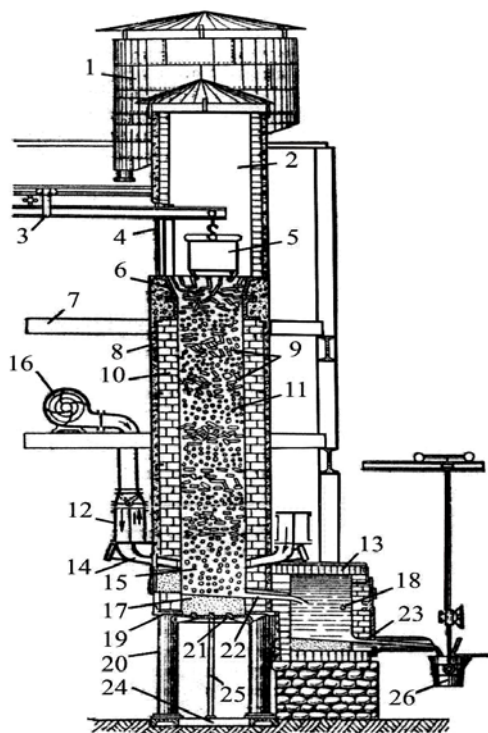


Рис.6.2. Вагранка

В якості палива застосовується кокс, природний газ або суміші. Для підвищення продуктивності і економічності коксу в вагранку подають повітря, яке насичене (до 20%) киснем і підігрітим до температури 500...600 °С. Частина вагранки від верхнього ряду фурм до завантажувального вікна 4 називається шахтою. Вище шахти знаходяться димова труба 2 з

іскрогастником 1. Нижню частину від подіни до фурм називають горном. Подін (лещадь) нахилена в бік копильника 13.

В верхній частині шахти є завальне вікно 4, через яке порціями (колошами) завантажуються паливо 11, металева шихта 9 і флюси до рівня завального вікна. Верхня частина холостої колоші, де проходить горіння коксу і створюється висока температура, є зоною плавлення чавуну і називається плавильним поясом вагранки. Шихту завантажують бадьєю 5 з конусним, який опускається або відкидним дном. Бадья переміщується по опорній рейці 3. Для запобігання руйнування верхньої частини шахти під час завантаження шихти вона укріплена відкритим металевим кожухом 6. На його рівні розміщена колошнікова площадка 7.

Шихта, яка завантажуються в вагранку складається із чушкового чавуна (ливарного або передільного ПЛ1 і ПЛ2), повернення власного виробництва, сталю брукту, феросплавів, ливарного коксу і флюсів (вапняк, плавиковий шлат, боксити). При плавленні в вагранці вигоряє кремнію (10...15%), марганцю (17...22%), заліза (0.4...1.5%).

Масовий вміст фосфору залишається без змін, вуглець в деякій мірі вигоряє, але його втрата урівноважується навуглецьовуванням від палива. Оксиди які утворилися разом із золою, домішками попавшої формувальної суміші, зношеної футерівки вагранки шлакуються флюсами.

Розплавлений чавун стікає між розпеченими кусками коксу холостої колоші на подіну вагранки, яка має нахил до вихідного отвору, і через неї по мірі накопичення витікає по жолобу в ківш. Шлак який плаває на поверхні рідкого чавуну випускається із вагранки через спеціальний отвір – шлакову льотку. Продукти горіння піднімаються вгору по шахті, підігріваючи при цьому шари шихти, яка лежить вище і відходить в трубу.

Для накопичення великої кількості рідкого чавуна вагранка має накопичувач 13. В цих вагранках рідкий чавун безперервно перетікає з подіни через перехідну льотку 22 в копильник. Копильник – це циліндричний посуд, який викладений шамотною цеглою і має льотку 23 з жолобом для випуску чавуна в ківш 26 і спеціальну льотку 18 для випускання шлаку. Наявність накопичувача дає можливість накопичувати чавун для заливання великих форм і отримувати метал більш рівномірного хімічного складу.

Розміри вагранки залежать від необхідної продуктивності. Висота вагранки досягає 9...10 м, діаметр до 3 м. Продуктивність вагранки вимірюється кількістю чавуна, який переплавляється за один час. В залежності від діаметра вагранка за час може дати від 1 до 25 т і більше металу.

Вагранки більш досконалої конструкції – з шахтою конусного профілю, водоохолоджуючою плавильною зоною без футерівки, розділення чавуна і шлаку за допомогою спеціальних сифонів, заміна холодного дуття гарячим з насиченням повітря киснем дає можливість інтенсифікувати процес плавлення чавуна, підвищити продуктивність вагранок до 80...100 т за

годину. Це також приводить до зниження витрат дорогого і дефіцитного коксу.

При добавленні у шихту карбідів кремнію у вигляді спеціальних брикетів значно підвищується чистота чавуна по неметалевим включенням, оксидам, розчиненим газам.

Після поточного ремонту вагранки, копильника і набивання подіни розпалюють вагранку дровами, які завантажують на подіну. Потім завантажуються холоста колоша коксу. Після заповнення вагранки шихтою до рівня завалочного вікна подається дуття для ведення плавки в плавильному поясі. В кінці плавлення зупиняють завалку колош, дають проплавитись тим колошам, які були завантажені раніше. Потім проводять вибивання вагранки, для чого відкривають його днище. Після вибивки і охолодження вагранки проводять її ремонт, після чого днище закривають, набивають нову подіну, проводять розпалювання і приступають до нового плавлення. Тривалість плавлення в вагранці 6...15 годин.

Тигельні печі.

У тигельних печах плавлять сталь, чавун, кольорові метали і сплави. В залежності від виду металу, який плавиться і конструкції печі застосовується паливо (кокс, нафта і газ)

Тигельна піч – це неглибока шахта 3 (рис. 6.3) круглого перерізу. В середині знаходиться тигель 1, який встановлюється через шахту. Отвір шахти закривається кришкою 4. Продукти горіння відводяться через димохід 2.

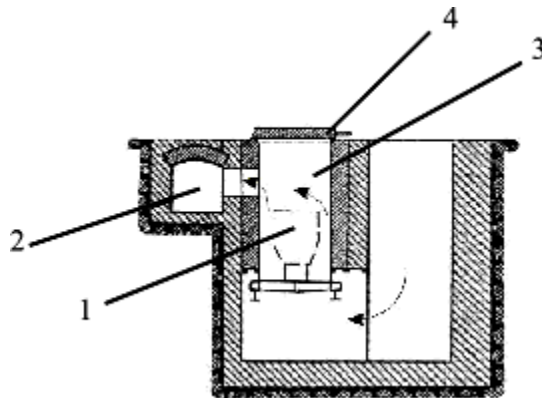


Рис.6.3. Тигельна піч:
1-тигель; 2-димохід; 3-шахта; 4-кришка.

Для плавлення легкоплавких металів застосовують чавунні тиглі, для плавлення інших металів застосовують графітові або шамотні. До переваг роботи таких печей слід віднести незначні зміни хімічного складу

розплавленого металу під час плавлення, що пояснюється ізолюваністю металу від атмосферного повітря, палива і продуктів горіння. Недоліком цих печей є їх низька продуктивність і мала стійкість тиглів. Найчастіше в тиглях плавлять мідні і алюмінієві сплави.

Електричні печі.

У ливарних цехах електричні печі застосовують для плавлення вуглецевих і легованих сталей, сплавів кольорових металів, ковкого чавуна і спеціальних марок сірого чавуна. Вони мають ряд переваг перед іншими печами: можливість отримувати високоякісні метали; досягати максимальної температури і легко її регулювати; можливість очистки металу від шкідливих домішок; мінімальний угар металу; незначні зміни хімічного складу металу і зручність обслуговування.

Ці печі поділяються на електричні дугові, індукційні і печі опору. Будова електричної дугової печі для виплавки бронз наведено на рис. 6.4.

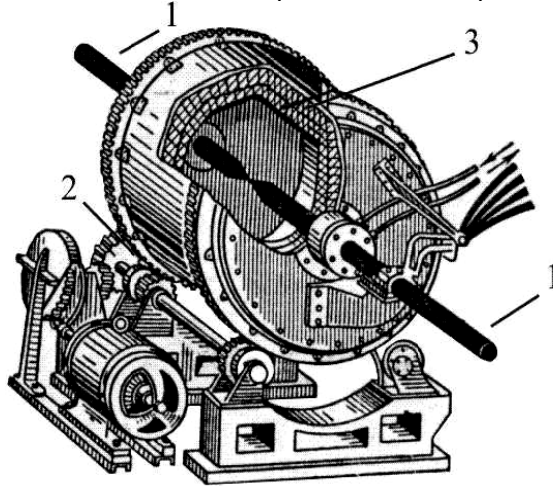


Рис. 6.4. Електрична дугова піч:
1-електроди; 2-поворотний механізм; 3-футеровка.

В цій печі зварний кожух із листової сталі в середині футерований вогнетривкою шамотною цеглою 3.

Дуга запалюється між двома графітними електродами 1. В стінці корпуса є вікно для завантаження шихти і під яким знаходиться зливна лютка для випускання розплаву. Розплавлення шихти проходить за рахунок тепла від дуги. Для прискорення розплавлення шихти і для забезпечення однорідності складу металу печі покачують за допомогою поворотного механізму 2. Цей же механізм нахиляє печі при зливанні готового металу. Під час роботи печі вікно закрито заслінкою. Під час завантаження печі графітові електроди

виймаються. Внаслідок згорання електродів атмосфера в печі є відновлювальною, що зменшує угар і окислення розплаву. Ємність печей від 250 до 500 кг, вони працюють на однофазному струмі. Витрати електроенергії при виплавленні бронз становить 990 – 1540 МДж на тону розплаву. Для виплавлення латунів ці печі не застосовуються із – за загрози перегріву і великого випаровування цинку.

Індукційні печі

Для виплавлення бронз, латуней, алюмінієвих сплавів широко застосовуються індукційні печі з залізним осередком (рис 6.5)

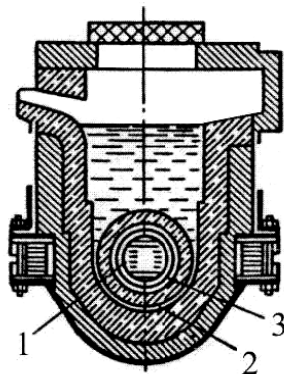


Рис.6.5. Індукційна піч з стальним осередком:

1-стальне осереддя; 2-кільце із рідкого металу; 3-первинна котушка.

Ці печі застосовують для неперервного масового плавлення металу однієї марки тому, що піч працює тільки при наявності кільця 2 із рідкого металу, який по електричній схемі є „виток” вторинної обмотки трансформатора і оточує первинну котушку 3 яка знаходиться під футеровкою.

Осереддя з первинною обмоткою захищене вогнетривкою футеровкою. Рідкий метал заливається попередньо, і утворює цей короткозамкнутий вторинний „виток” і в ньому індукується струм великої сили, який нагріває метал до високої температури. За рахунок його циркуляції проходить швидкий нагрів і плавлення шихти, яка завантажується зверху.

Розплавлений метал виливають із печі частинами, знову завантажуючи кожний раз свіжий, щоб швидко розплавити від контакту з перегрітим рідким металом.

Електричні печі опору

Велике поширення отримали електричні печі опору (рис.6.6.).

Нагрівальні елементи із ніхрому розмішені в склепінні печі. Шихту завантажують через вікна в форкамери 4 де проходить плавлення. Рідкий сплав стікає в металонакопичувач 5. Після накопичення достатньої кількості металу 6, піч за допомогою механізму нахилу 1, нахиляється в бік випускної

льотки 2. Піч з середини футерована вогнетривкою цеглою 3. Перевагою цих печей є зниження угару, високий к.к.д., легше регулювання температури і зниження окислення і газонасичення.

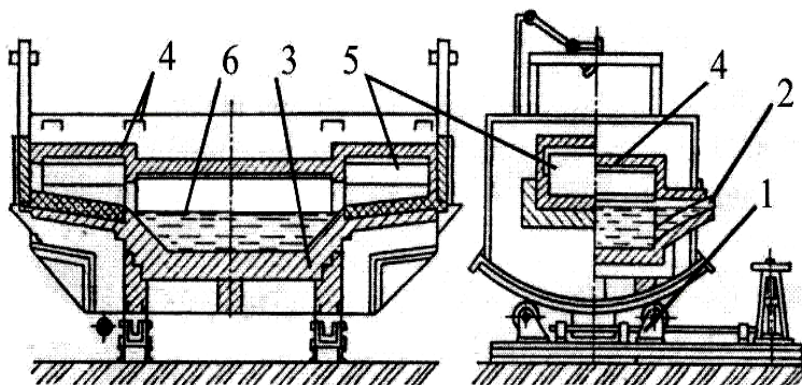


Рис 6.6. Електрична піч опору:

1-механізм нахилу; 2-випускна льотка; 3-футеровка; 4-форкамера;
5-металонакопичувач; 6-метал.

В таких печах найбільшого поширення отримало плавлення алюмінієвих і магнієвих сплавів.

Полуменевий тигельний горн

Полуменевий тигельний горн (рис.6.7.) включає в себе сталевий тигель 1, вогнетривкий корпус 5, механізм повертання 6, підведення палива по трубі 3, витяжний пристрій 4.

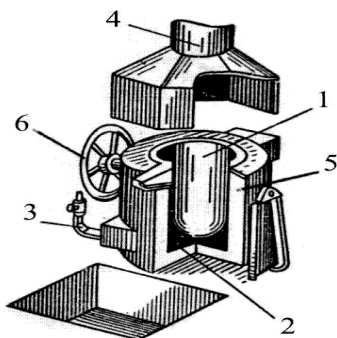


Рис. 6.7. Полуменевий тигельний горн

Паливо (мазут) підводиться по трубі і згоряє в просторі 2. Продукти горіння відводяться через витяжний ковпак труби 4.

Конвертор з бічним дуттям.

Конвертори застосовуються в цехах для отримання сталі процесом малого бесімерування. Чавун попередньо розплавляють у вагранці і крановим ківшем переливають в конвертор з бічним дуттям. В цьому конверторі повітря підводиться не через днище, а через бічну стінку. Емкість конвертора як правило рівна 1,5...2,5 т.

Ливарні властивості сплавів та їх застосування для виготовлення виплинок

- 7.1. Ливарні властивості сплавів.
- 7.2. Виготовлення виплинок із чавунів.
- 7.3. Виробництво виплинок із сталі.
- 7.4. Виробництво виплинок із мідних сплавів.
- 7.5. Виробництво виплинок із алюмінієвих сплавів.
- 7.6. Виробництво виплинок із магнієвих, титанових і цинкових сплавів.

7.1. Ливарні властивості сплавів.

Можливість використовувати сплави для отримання виплинок визначається їхніми ливарними властивостями. До добрих ливарних властивостей відноситься висока рідкотекучість, мала усадка при затвердінні і подальшому охолодженні, незначна ліквіація і низька здатність поглинати газу при плавленні і заливанні.

Рідкотекучість – це здатність розплаву вільно текти в ливарній формі, заповнюючи порожнини і точно відтворювати її контури. Рідкотекучість залежить від хімічного складу, температури при заливанні, наявності домішок та інших факторів. При достатній рідкотекучості розплавлений метал легко розтікається і добре заповнює самі вузькі місця форми. Деякі метали, такі як мідь в розплавленому стані густі і погано заповнюють форму, тому для фасонного лиття вони мало придатні. Більш високу рідкотекучість мають сплави, які твердіють з утворенням евтектики. Такі сплави як бронза, латунь, сірий чавун, алюмінієві висококремністі сплави (силуміни) і цинкові сплави мають високу рідкотекучість.

Для визначення рідкотекучості користуються спіральною пробєю постійного трапецевидного поперечного перерізу площею 0,56 см² (рис. 7.1.). Метал заливається в ливникову чашу 1, через фільтр 2 і стояк 3 він проходить в металопримильник 4 і тече по спіральному каналу 5. Відстань між виступами в спіралі дорівнює 50 мм. По довжині, яка отримується в однакових умовах відкритої спіралі, роблять висновок про рідкотекучість. Чим більша довжина спіралі, тим більша рідкотекучість сплаву. 3

підвищенням температури рідкотекучість одного і того ж сплаву підвищується, а із збільшенням окисленості і газонасиченості зменшується. Для порівняння рідкотекучості різних сплавів необхідно проводити їх заливання при температурі на 100°C вище температури ліквідус, тоді рідкотекучість буде залежати тільки від природних властивостей самого сплаву. Усадка – це властивість металів і сплавів зменшуватися в ливарних розмірах і об'ємі при охолодженні від температури заливки до кімнатної. Усадка є причиною утворення у виливках таких дефектів як усадкові раковини, пористість, короблення і тріщини. Короблення і тріщини зв'язані з появою внутрішніх напруг при затвердінні виливки. Визначення лінійної і об'ємної усадки розглянуто в пункті 6.4.

Ліквация – це утворення хімічної неоднорідності сплаву в різних частинах виливки після затвердіння. На процес ліквации впливає хімічний склад сплаву, конфігурація виливки, швидкість охолодження та інші технологічні фактори.

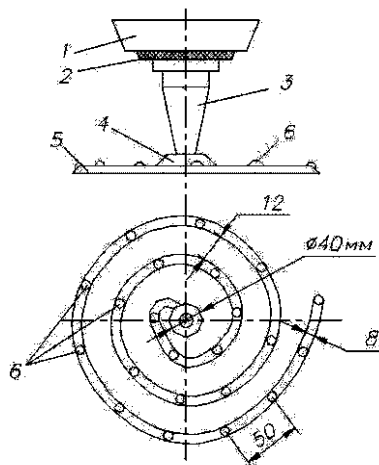


Рис 7.1. Спіральна проба для визначення рідкотекучості металів і сплавів:
1-ливникова чаша; 2-фільтр; 3-стояк; 4-металоприймальник; 5-спіральний канал; 6-відмітки відстані.

Розрізняють три види ліквации: зональну, по густині і дендритну (внутрішньокристалічну).

Зональна спостерігається в об'ємі зливка. По мірі кристалізації метал все більше насичується різними домішками, тому його хімічний склад у різних зонах буде різним. В сталі і чавуні ліквірує сірка, фосфор, вуглець, неметалеві включення, які розміщуються головним чином у верхній і осьовій частинах виливки, в тих місцях, які затвердівають останніми.

Ліквация по густині (питомій вазі) спотерігається при сплавленні металів, які суттєво відрізняються по густині. Наприклад, в сплавах свинець-сурма верхня частина зливку буде насичена сурмою, а нижча – свинцем. Ці частини відрізняються від середнього складу сплаву. Зональна ліквация може бути зменшена перемішуванням сплаву перед його заливанням у форму і наступним його швидким охолодженням.

Дендридна ліквация – це внутрішньокристалічна ліквация, коли склад кристалів неоднорідний. Чим більший температурний інтервал між початком і кінцем кристалізації, тим більше будуть відрізнятися по складу окремі ділянки зерен. В дендридах осі першого порядку насичені більш тугоплавкими компонентами, і в них вміст домішок буває найбільш низьким. Міждендридні проміжки, які кристалізуються в кінці, мають найбільшу кількість легкоплавких компонентів і домішок.

Здатність до поглинання газів. Метали і сплави мають здатність поглинати різні гази – водень, азот, кисень та інші. В розплавленому металі завжди є газ. Підвищення температури рідкого металу призводить до збільшення вмісту газів, при цьому ливарні і механічні властивості погіршуються. Наряду з температурою на розчинність газів впливає хімічний склад сплаву.

При затвердінні і послідовному охолодженні розчинність газів зменшується, і в результаті їх видалення у виливках можуть утворитися газові раковини і пори.

Для зменшення газонасиченості сплавів застосовують плавлення у вакуумі або в середовищі інертних газів, дегазацию вакумуванням в спеціальних камерах.

7.2. Виготовлення виливок із чавунів.

Найбільше фасонних виливок виготовляють із чавуна тому, що він порівняно дешевий, має високі ливарні антифрикційні і антикорозійні властивості, високу міцність.

Виливки із чавунів становлять більше 70 % всіх виливок. Найбільше виливок отримують із сірого чавуна, незначну кількість із легованого і ковкого, і зовсім мізерну частину із високоміцного.

Механічні властивості чавунів у виливках залежать не тільки від вмісту в них різних елементів, але і від ряду інших факторів – швидкості охолодження, товщини стінки виливки тощо.

Сірий чавун. Виливки із сірого чавуна дешевші від виливок із кольорових сплавів. Сірий чавун має хороші ливарні властивості, відносно невисоку температуру плавлення (1100...1200⁰С), хорошу рідкотекучість, малу усадку (біля 1%), низьку ліквацию.

Єдиним недоліком сірого чавуна є його крихкість, але велика множина деталей машин і механізмів працюють без великих ударних навантажень, тому і виготовляються вони із сірого чавуна.

Сірий чавун включає 2,2...3,7% С, 0,2...1,0% Мп, до 0,3% Р, до 0,15% S.

При модифікації сірий чавун з пластинчастим графітом переходить в структуру з мілкими включеннями графіту завихреної форми і застосовується для отримання чавунів марок СЧ25...СЧ45 з перлітною основою. Модифікація виконується невеликими добавками 75% феросиліція, сілікокальція та інших модифікаторів в кількості 0,3...0,6% від маси чавуна. Перегрів чавуна перед модифікацією повинен бути тим вище, чим вища марка чавуна.

Модифіковані сірі чавуни застосовуються для відливки дизельних циліндрів, блоків автомобільних циліндрів тощо.

Легований чавун. В якості легуючих елементів застосовують Ni, Cr, Mo, Mn, Al, Cu, Ti. Ці елементи підвищують механічні властивості, корозійну стійкість, зносостійкість, жароміцність тощо. За найбільшим включенням легуючого елемента леговані чавуни поділяються на хромисті, нікелеві тощо. Також ці чавуни можна розділити на низьколеговані – до 3% легуючих елементів і високолеговані з особливими фізичними властивостями. Наприклад, кислотостійкі – 26...36% Cr, немагнітні – до 12% Mn, до 2% Cu.

Ковкий чавун. Цей чавун з пластинчастим графітом отримують тривалим відпалом вилівок із білого чавуна. Білий чавун включає 2,2...3,2% С, 0,7...1,4% Si, до 1% Mn, до 0,2% Р, до 0,2% S. Білий чавун має низькі ливарні властивості: низьку рідкотекучість і значно більшу усадку чим у сірого чавуна (до 2%). Виливки із білого чавуна можуть бути отримані порівняно невеликої товщини. Але білий чавун має високу твердість, крихкість і застосовується для виготовлення вилівок з високою зносостійкістю. Ковкий чавун включає 2,3...2,7% С, 0,8...1,2% Si, 0,3...0,5% Mn, 0,05...0,07% Cr, 0,1...0,2% Р і 0,1% S. Щоб запобігти утворенню вільного графіту в процесі лиття, вміст кремнію не повинен перевищувати 1,2%. Підвищена рідкотекучість чавуна досягається при наявності фосфора до 0,2%. Марганець протидіє розпаданню карбідів заліза (Fe_3C) при відпалі, тому його вміст не повинен перевищувати 0,5%. Механічні властивості ковкого чавуна залежать головним чином від його металевої основи. Перлітні чавуни КЧ45-7 та інші мають більш високу міцність при пониженої пластичності. Феритні і ковкі чавуни, наприклад КЧ37-12, мають меншу міцність, але більшу пластичність.

З ковкого чавуна отримують виливки з товщиною стінки до 30..40 мм і масою до декількох кілограмів. Виливки із ковкого чавуна застосовують для виготовлення деталей автомобілів, тракторів та інших машин, які приймають на себе в процесі роботи складні напруги і ударні навантаження.

Високоміцний чавун з кулястою формою графіту отримують у витяжній камері занурюванням в рідкий (перегрітий до $1600^{\circ}C$) стаканчика з отворами

на його бічній твірній. Стаканчик заповнюють модифікатором (стружка магнію з феросиліцієм). Ківш з рідким чавуном закритий масивною кришкою з отвором у який вводять стаканчик за допомогою довгої штанги. Відбувається дуже бурхлива реакція окислення магнію, окисли якого витяжною видаляють в атмосферу. Після модифікування чавун розливають у ливарні форми. Після кристалізації у структурі чавуна графіт буде кулястої форми. Замість магнію іноді використовують церій без бурхливої реакції.

Властивості чавуна визначаються його металеву основою: перлітом, перлітом і феритом, феритом. Тому вони можуть бути значно покращені термічною обробкою. В деяких марках високоміцного чавуна $\sigma_b=800\text{...}1200$ МПа.

Із високоміцного чавуна отримують відповідальні деталі машин і механізмів: зубчаті колеса, колінчаті і кулачкові вали, штампи, деталі турбін тощо.

Плавлять чавун у вагранках.

Для виробництва модифікованого, високоміцного та інших якісних чавунів використовуються електричні, індукційні і дугові печі.

Для отримання чавуну високої якості широко використовується подвійний процес (дулекс – процес), при якому чавун плавлять у вагранці, а доводять, рафінують і перегрівають в індукційній печі. Застосовують також комбіновану плавку: дугова піч – індукційна тигельна піч. Індукційна тигельна піч забезпечує отримання точного хімічного складу чавуну, його рафінування і високий перегрів.

Заливання чавуна у форми. Сірий чавун має температуру плавлення $1200\text{...}1400^{\circ}\text{C}$, а при перегріві температура досягає 1500°C . Тому суміші і добавки, які використовуються при виготовленні форм повинні мати підвищену термохімічну стійкість. Цей чавун має низьку усадку і добру рідкотекучість, тому при виготовленні простих виливок використовують тільки один живильник. При великих і складних виливках застосовуються ливникові системи з декількома живильниками.

Білий чавун має низьку рідкотекучість, тому перед заливкою його перегрівають до $1450\text{...}1500^{\circ}\text{C}$. При такій високій температурі формувальна суміш повинна мати високу непригарність. Білий чавун має велику усадку, тому суміш повинна бути піддатливою і при виготовленні форм встановлюються великі додатки.

Високоміцний чавун при перегріві має температуру до 1500°C , тому формувальні і стержневі суміші повинні мати підвищену термохімічну стійкість. Низька усадка і велика рідкотекучість дозволяють використовувати мінімальну кількість живильників при виготовленні виливок складної конструкції.

Невеликі форми заливаються розплавленим металом із ручних ківшів ємністю $15\text{...}50$ кг. Для заливання більших форм застосовуються поворотні ківші, які викладені шамотною цеглою. Для зменшення тепловтрат

застосовують барабанні або ківші з кришкою (рис.7.2.). В таких ківшах зручно модифікувати чавун і менша ймовірність виплеску. В таких ківшах чавун охолоджується більш повільно, чим в ківшах з відкритою поверхнею. Для запобігання попадання шлаку в ківшах передбачені шлакозатримуючі перегородки. Кожух ківшів роблять із листової сталі, в середині футуриують вогнетривкою шамотною масою, а ківші ємністю до 5 т – шамотною цеглою. Перед заливанням ківша металом його футеровку сушать і прогрівають до температури 600...800⁰С для запобігання охолодження сплаву.

Виливки із форм вибивають за допомогою струшуючих решіток, вібраторів. Стержні, вибивають вручну на пневматичних машинах або в гідрокамерах струменем води під тиском 30...100 ат.

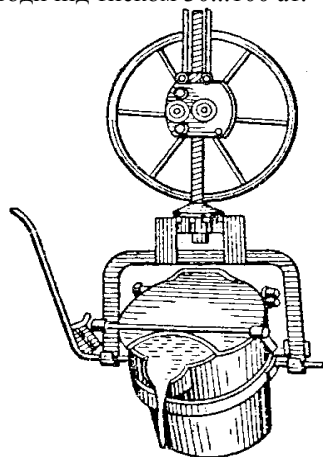


Рис.7.2. Ківш з кришкою.

Додатки, ливники і випори видаляють пилами, зубилами і кувалдами. Чистять виливки від залишків формувальних і стержневих сумішей окатуванням в барабанах, або піскоструйними, дробоструйними і дробометними апаратами. Застосовують піско – гідравлічну очистку, при якій струмінь води під тиском до 70 ат направляють на виливку.

Для зачистки задирок використовують обдирально – шліфувальні верстати з крупнозернистими абразивними кругами.

7.3. Виробництво виливок із сталі.

Ливарні властивості сталей нижчі чим у чавунів. Усадка сталей, особливо легованих, становить 2...3%, що приводить до утворення усадкових раковин, тріщин. Для запобігання утворення раковин застосовують додатки, які живлять рідким металом масивні частини виливки. Сталь має рідкотекучість в два рази меншу як чавун. Температура плавлення сталі 1400...1540⁰С, а при

виготовленні тонкостінних виливок сталь заливають у форми при температурі 1520...1600⁰С.

Близько 60% сталних виливок виготовляють із вуглецевої сталі 15Л...55Л, близько 15% - із легованої і приблизно 20% - із високолегованої, наприклад, сталь 11ОГ13Л. Вуглецева сталь має слідуєчий склад, %: 0,1...0,6 С; 0,5...0,8 Мп; 0,13...0,3 Si. Виливки, які отримані із такої сталі мають межу міцності при розтягуванні 40...60 кгс/мм², межу текучості 20...30 кгс/мм² і відносне видовження 10...28%.

Із сталі марок 15Л і 25Л виготовляють виливки автомобільного машинобудування. Сталі марок 35Л і 45Л застосовуються для виготовлення станин, шестерень, черв'яків тощо. Ці сталі мають підвищену міцність і зносостійкість. Коли потрібна висока твердість застосовується сталь марки 55Л.

Леговані сталі, такі як 25ГСЛ, 30ХГСЛ, нержавіючі – 10Х13Л, 10Х18Н9ТЛ застосовують, коли необхідно отримати виливки спеціального призначення (корозійостійкі, зносостійкі, жаростійкі).

Рідкотекучість сталі можна підвищити за рахунок повноти розкислення. Підвищений вміст вуглецю також підвищує рідкотекучість. Сірка і підвищений вміст тугоплавких неметалевих включень приводить до пониження рідкотекучості.

Для запобігання утворення тріщин необхідно створити умови зменшення внутрішніх напруг. Для цього підвищується піддатливість формувальних сумішей. Для вирівнювання швидкостей охолодження товстих і тонких перерізів виливки застосовують холодильники, як внутрішні так і зовнішні. Також запобігти тріщинам можна раціональною конструкцією виливок – розмір гантелей, наявність плавних переходів від товстих до тонких перерізів, ребер жорсткості тощо. Ливникова система повинна забезпечити заповнення форми з урахуванням пониженої рідкотекучості сталі. Довжина каналів ливникової системи повинна бути по можливості меншою. Переріз живильників роблять в 1,5...3 рази більшими чим для чавунного лиття. Ливникову систему і розміщення виливки в формі роблять так, щоб порожнина, яка утворена моделлю, заповнювалася металом спокійно, а затвердіння виливки було направлено знизу вгору.

В деяких високолегованих сталях можлива хімічна взаємодія з матеріалами форми, тому доцільно їх виготовляти із сумішей на основі хромомagneзита та інших матеріалів, які мають більшу хімічну стійкість чим кварцевий пісок.

Для підвищення вогнетривких властивостей формувальних сумішей до них вводять хромистий кварц, залізняк та інші. Для підвищення міцності вводять рідке скло.

Нержавіючі сталі в розплавленому стані мають значну в'язкість, що створює можливість утворення газових раковин. Для запобігання окислення і покращення якості поверхні виливок застосовують формувальні фарби, які

створюють відновлювальну атмосферу або припилюють протипригарними порошками.

Виплавку сталі в ливарних цехах виконують в мартенівських печах, електродугових і індукційних печах, малих бесімерівських конверторах. Великі, масивні виливки отримують після плавлення сталі в мартенівських печах. Відповідальні виливки отримують після плавлення сталі в електричних дугових печах, а найбільш якісні сталі плавлять в індукційних печах. Невідповідальні виливки отримують після плавлення сталі в малих бесімерівських конверторах (рис.7.3).

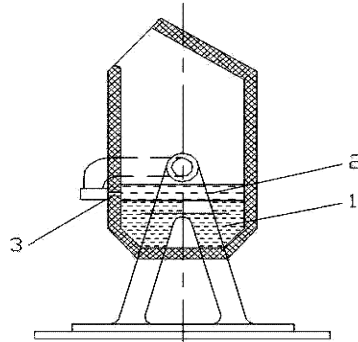


Рис.7.3. Малий бесімерівських конвертор:
1-розплав сталі; 2-шлак; 3-фурма.

При виготовленні виливок невеликої ваги, форми заливають із звичайних ливникових ківшів місткістю 500...800 кг через носок. При виготовленні середніх і тяжких виливок, а також виключення попадання шлаку в виливку, заливку ведуть із стопорних ківшів. Ємкість таких ківшів знаходиться в межах 1...90 т. Заливку особливо великих форм ведуть одночасно із двох ківшів.

При заливанні форми із стопорного ківша струмінь металу може зруйнувати ливникову чашу, тому застосовуються шамотні воронки. У великих виливках ливникові стояки і живильники роблять із шамота або іншого вогнетривкого матеріалу. При цьому тривалість заливання металу повинна бути мінімальна, для запобігання охолодження сталі і зменшення рідкотекучості. Особливо, це стосується тонкостінних виливок.

Після охолодження виливок виконується вибивка і видалення газовою різкою стояків, випарів, живильників і додатків.

Для знімання внутрішніх напруг, зм'якшення зерна і підвищення механічних властивостей виливок їх піддають термічній обробці – відпалу при температурі 700...900⁰С в залежності від вмісту вуглецю. Для підвищення механічних властивостей застосовують також нормалізацію. При

нормалізації змільчуються зерна завдяки швидкому охолодженню. Великі і масивні виливки піддають відпалу, а малі і тонкостінні нормалізації.

7.4. Виробництво вливок із мідних сплавів.

Із мідних сплавів найбільш широко застосовуються виливки із бронзи і латуні. Вони мають хорошу зносостійкість, корозієстійкість в атмосфері, технічній і морській воді, і високі антифрикційні властивості.

Застосовуються бронзи олов'яністі і спеціальні. Олов'яністі бронзи включають 2...14% Sn, 4...5% Zn, 4...20% Pb, 1...5% Ni, до 1% P, наприклад БрОЦС 5-5-5, БрОЦС 6-6-3, БрО10, БрОФ10-1 та інші.

В цих бронзах олово підвищує механічні і антифрикційні властивості, корозійну стійкість. Цинк покращує зварювання і пайку, зменшує інтервал кристалізації. Свинець покращує рідкотекучість, обробку різанням, антифрикційні і механічні властивості. Нікель підвищує механічні і антифрикційні властивості. Фосфор підвищує рідкотекучість і зносостійкість.

Із олов'янистих бронз отримують виливки арматури, зубчатих коліс, вкладишів підшипників ковзання, втулок тощо. Тому що олово є дорогим металом, то там де це можливо олов'яністі бронзи замінюють спеціальними, наприклад БрАЖ9-4, БрАЖС7-1,7-1,5, БрАЖМЦ 10-3-1,5 та інші. Назва цих бронз дається по основному легуючому компоненту: алюмінію, кремнію, марганцю тощо. Відповідно бронза буде алюмінієва, кремниста, марганцевиста тощо. Ці бронзи застосовуються для фасонного лиття деталей як шестерні, втулки, сідла клапанів, вкладишів підшипників тощо.

Їх механічні властивості вищі чим олов'яністі і вони мають достатньо високі антифрикційні і корозійні властивості. Найбільш широко використовуються алюмінієві бронзи. Вони добре працюють в солоній морській воді, агресивних середовищах, добре чинять опір удару. З них виготовляють гребні гвинти, важконавантажені шестерні і зубчасті колеса, корпуси насосів. Механічні, технологічні і експлуатаційні властивості алюмінієвих бронз покращуються при легуванні їх Fe, Mn, Ni.

Свинцевиста бронза має досить високу зносостійкість при терті в умовах великих питомих навантажень і швидкостей ковзання. Прикладом свинцевистої бронзи може бути БрС30.

Якщо в склад бронзи входить 5...14% Sn, то такі бронзи називаються високоолов'янистими. Вони мають хороші ливарні властивості. Але з причини високої вартості олова, застосовуються тільки для вливок відповідального призначення. Недоліком цих бронз є можливість утворення мілкої, розсіяної пористості.

Для виготовлення вливок крім бронз застосовують спеціальні латуні, які в залежності від легуючого елемента (Al, Mn, Si, Fe, Pb) поділяються на алюмінієві, кремністі, свинцевисті, марганцевисті та інші. Наприклад, ЛК80-3, ЛС59-1 та інші.

Латуні нараховують більш як 15 сплавів, які застосовуються для виготовлення вкладишів підшипників, втулок, шестерень, санітарно – технічної апаратури та інших деталей для приладів і машинобудування.

Легуючі елементи, які входять в склад латуні покращують як механічні так і ливарні властивості сплавів. Ливарна усадка олов'янистих бронз біля 1%, тому виливки можуть бути отримані без додатків, що зменшує ливарні відходи. Шкідливі домішки Bi і Sb значно знижують механічні властивості виливок і збільшують їх пористість.

Латуні мають більш високі ливарні властивості, чим бронзи. Вони мають малу схильність до утворення газової пористості, тому, що добре дегазуються при виплавленні в результаті утворення парів цинка. Тому із латунів легше отримати щільні і герметичні виливки. Більшість латунів мають невелику лінійну усадку – 1,6...1,7%.

У кременістих латунях і алюмінієвих бронз усадка складає 1,5...2,5%, і вони легко окислюються, тому при заливанні повинно бути забезпечено плавне заповнення форми, а також добре живлення виливки об'ємними додатками.

Часто в одній опоці набивають декілька форм, які з'єднанні живильниками з загальним стояком. Вага ливникової системи і додатків інколи складає до 150% від ваги готової виливки.

Латуні мають більш низьку температуру плавлення і кращі ливарні властивості, чим бронзи. Це дозволяє отримувати із них виливки різними способами: в пісчані форми, кокіль, литтям під тиском тощо.

Маркування бронз і латунів слідує: бронза БрОЗЦ7С5Н1 включає в себе біля 3% олова, 7% цинку, 5% свинцю, 1% нікелю, все останнє – мідь; латунь ЛЦ30А3 включає 30% цинку, 2...3% алюмінію, все останнє – мідь.

Мідні сплави для лиття розплавляють в дугових електропечах, індукційних печах із сталевим осердям і без осердя, в полуменевих печах і тигельних печах.

Дугові печі (рис.6.4.) служать для плавлення бронз, а індукційні (рис.6.5.) – для плавлення латуней.

Полуменеві печі застосовують рідше, так як пічні гази окислюють мідні сплави, і в цих печах витрачається багато палива. Але коли за одне плавлення необхідно отримати велику кількість сплаву для заливання великих форм, застосовують полуменеві відбивні печі ємністю до 10 т і більше. Опалюють ці печі мазутом, або газоподібним паливом. Інколи бронзи і латуні виплавляють в закритих графітових тиглях (рис 6.3.). Таке плавлення забезпечує високу якість розплаву, але цей спосіб є мало- продуктивним і неекономним.

В якості шихти при виплавленні бронзи і латунів використовують чисту мідь (99,99%Cu) і легуючі елементи (Al, Mn, Si, Fe, Pb та інші); мідні сплави – лом бронзових і латунієвих виробів, додатки, живильники, стояки та інші відходи ливарного виробництва. Легуючі елементи в першому випадку

вводять у вигляді лігатур. Так, при легуванні залізом (Fe) з температурою плавлення $t_{пл}=1539^{\circ}\text{C}$ використовують лігатуру 90%Cu+10%Fe з $t_{пл}=900^{\circ}\text{C}$. При легуванні алюмінієм (Al) застосовують лігатуру 50%Cu+50%Al з $t_{пл}=575^{\circ}\text{C}$.

Для зихисту металу від окислення плавлення проводять під шаром деревного вугілля або флюса різного складу. Готовий сплав перед розливанням в форми розкисляють фосфористою міддю.

Для формувальних сумішей застосовують мілкозернистий пісок, що запезпечує отримання чистої і гладкої поверхні. В якості протипригарної добавки у фомувальну суміш вводять мазут.

7.5. Виробництво вливок із алюмінієвих сплавів

Алюмінієві ливарні сплави мають хороші технологічні і механічні властивості, які змінюються в залежності від складу сплаву, методу лиття і термічної обробки. Сплави на основі алюмінію мають високу міцність при нормальній температурі, високі ливарні властивості, добре протистоять корозії. Висока рідкотекучість забезпечує виготовлення вливок із тонкою стінкою і складної конфігурації. Сплави мають невисоку температуру плавлення ($t_{пл}=550\text{...}650^{\circ}\text{C}$) і ливарну усадку (1,0...1,25%).

Ливарні алюмінієві сплави поділяються на 5 груп.

Перша група на основі Al – Si (силуміни АЛ2, АЛ4, АЛ9). Вони включають 6...13% Si, мають високу рідкотекучість, малу усадку, високу пластичність при охолодженні, достатню міцність, не утворюють гарячих тріщин.

Застосовуються ці сплави в усіх галузях народного господарства, особливо в авіаційній і автомобільній.

Друга група на основі Al – Mg (АЛ8, АЛ13). Вони включають 4,5...11,5% Mg, мають високу міцність, корозієстійкість і є найбільш легкими. Їх застосовують для сильно навантажених деталей, але вони погано працюють при підвищених температурах.

Третя група на основі Al-Cu (АЛ7, АЛ12, АЛ19). Вони включають 3...11% Cu, мають хорошу зносостійкість, але понижені ливарні і корозієстійкі властивості і недостатню пластичність. Добре обробляються різанням, тепломіцні.

Четверта група на основі Al – Cu – Si (АЛ3, АЛ3В, АЛ6, АКМ4, АЛ10В та інші). Вони включають 3...6% Si і 1...8% Cu, мають високу рідкотекучість, корозійну стійкість, добре зварюються. Ці сплави застосовуються в промисловості для виготовлення деталей достатньої твердості і міцності, які зберігають постійність розмірів в процесі експлуатації, і мають високу чистоту обробленої поверхні.

П'ята група на основі Al – Si – Zn – Cu (АЛ1, АЛ16В, АЛ17В,Ю АЛ11, АЛ21 та інші). Вони включають 3...5% Si, 4...7% Zn, 2...4% Cu, мають

підвищену міцність і жаростійкість. До недоліків слід віднести низьку рідкотекучість і велику усадку. Використовуються сплави цієї групи при виготовленні виливок, які працюють при підвищених температурах і тиску (АЛ1), з підвищеною стабільністю розмірів і для виготовлення зварних конструкцій і деталей. Сплави АЛ11, АЛ21 добре обробляються різанням.

Плавлення алюмінієвих сплавів виконують в тигельних, полуменевих, індукційних і електричних печах. Найбільш частіше застосовується електрична піч опору (рис.6.6.). Розроблена ефективна технологія застосування флюсів, способів дегазації і рафінування для вилівки алюмінієвих сплавів в полуменевих печах ємкістю 30т і більше. При невеликих розмірах вилівки, плавлення сплавів ведуть в тигельних печах.

Основою для отримання алюмінієвих сплавів є чушковий первинний алюміній. Застосовують також переплавлену стружку, ливники, додатки, живильники тощо. Для легування в основному застосовують алюмінієвокремністу лігатуру. При плавленні алюмінієві сплави інтенсивно поглинають гази, особливо водень і легко окислюються. Водень виділяється при затвердінні і охолодженні сплавів в формі, при цьому можливі утворення газових пористостей. Включення Al_2O_3 суттєво знижує механічні властивості сплаву.

Для захисту розплаву його плавлення ведуть під шаром флюсу: 50% NaCl, 35% KCl, 15% Na_3AlF_6 або 50% NaCl, 50% KCl.

Алюмінієвий сплав продувають хлором або азотом для видалення газів, неметалевих включень. Пухирці хлору або азоту виносять неметалеві включення і водень на поверхню сплаву. Дегазація і рафінування також може використовуватись хлоридами марганцю ($MnCl_2$) і цинку ($ZnCl_2$). При їх введенні в розплав утворюється хлористий алюміній $AlCl_3$, він перетворюється у пар і у вигляді пухирців видаляється із металу, виносячи неметалеві включення і водень. Хлорування проводять на протязі 10...15 хв, в ківші і в спеціальних камерах при температурі розплаву $750...770^{\circ}C$. Для змільчення зерна і отримання більш щільної вилівки, алюмінієві сплави (силуміни) піддають модифікуванню. В якості модифікаторів застосовують чистий натрій або його солі: 33% NaCl, 67% NaF, або 62,5% NaCl, 25% NaF і 12,5% KCl.

Розплавлені, рафіновані і дегазовані алюмінієві сплави заливають у форми при температурі $720...750^{\circ}C$. При отриманні невеликих деталей застосовують лиття під тиском, лиття в металеві форми (кокіль). Для отримання великих і середніх виливок застосовують лиття в пісчано-глинисті форми, при цьому для отримання рівної поверхні необхідно застосувати мілкозернисті формувальні суміші. Швидке охолодження алюмінієвого сплаву в металевих формах створює умови отримання мілкозернистої структури металу, відповідно підвищення механічних властивостей. Для алюмінієвих сплавів виготовляють ливникову систему, яка розширюється, тим самим забезпечується відокремлення неметалевих частин.

Після охолодження, вибивки і обрубки виливок із алюмінієвих сплавів їх піддають термічній обробці, після якої, міцність в деяких випадках, збільшується вдвоє.

7.6. Виробництво виливок із магнієвих, титанових і цинкових сплавів.

Магнієві сплави мають низькі механічні і ливарні властивості, але мають меншу питому вагу і вищу питому міцність, чим алюмінієві сплави. Ці сплави застосовують в авіаційній та приладобудівній галузях. Для підвищення механічних властивостей, магнієві сплави загартовують.

Магнієві сплави можна розділити на три групи.

Перша група на основі Mg – Si (МЛ1). Сплав МЛ1 має низькі ливарні властивості і використовується для виготовлення виливок простої форми. Цей сплав має добру герметичність і зварюваність.

Друга група на основі Mg – Mn (МЛ2). Цей сплав має приблизно такі ж властивості як МЛ1.

Третя група на основі Mg – Al – Zn (МЛ3, МЛ4, МЛ5 і МЛ6). Ці сплави мають кращі ливарні властивості і їх застосовують в авіаційній, автомобільній і радіотехнічній галузі.

Магнієві сплави при температурі плавлення інтенсивно окислюються і загораються, поглинають водень і азот з яким утворюють нітриди. Тому плавлення цих сплавів необхідно вести під шаром флюсу, а в формувальну суміш додають 4...8% фтористих присадок(фтористих солей); в стержневу суміш – 0,25...1% борної кислоти і сірки. При взаємодії з магнієм на поверхні виливок утворюються щільні захисні плівки, а утворені газоподібні речовини утворюють прошарок між виливкою і формою.

Для покращення механічних властивостей магнієві сплави перегрівають в тиглі до температури 850...900⁰С і витримують 15...20 хв до розчинення тугоплавких сполук заліза, або модифікують. При модифікуванні використовують крейду або хлористе залізо. Для сплавів, які не включають алюміній покращення властивостей (змільчення зерна) досягається невеликими присадками цирконію.

Плавлення сплавів ведуть в сталевих тиглях (так як магній не розчиняє залізо) тигельних печах, індукційних тигельних печах і електричних печах опору.

Виливки магнієвих сплавів отримуються при литті під тиском, литті в пісчано-глинисті форми та інші спеціальні види лиття. При литті в пісчано-глинисті форми виготовляють ливникову систему, яка розширюється, тим самим забезпечується відокремлення неметалевих частин.

При заливанні у форму магнієвий сплав опилують порошками сірки для запобігання його загорання.

При закінченні заливання металу у форми, в ківші повинно залишатись приблизно 15% всього розплаву тому, що в цьому залишку збираються флюси, які переплавляють повторно.

Титанові сплави легкі і міцні, щільність досягає 4,5 г/см³. Сплави на основі титану застосовують в авіаційній і кораблебудівній галузі.

Титан має високу температуру плавлення ($t_{пл}=1670^{\circ}\text{C}$) і хімічну активність, тому при його плавленні застосовують спеціальні тигельні печі і захисне аргонне середовище.

Цинкові сплави мають низьку температуру плавлення і добрі ливарні властивості. Із них виготовляють невеликі фасонні виливки, використовуючи лиття під тиском. Плавлення цинкових сплавів виконують в тигельних печах.

Отримання виливок в пісчано – глинистих формах

- 8.1. Будова ливарної форми. Виготовлення стержнів.
- 8.2. Матеріали, пристрої, інструменти та обладнання для виготовлення разових форм.
- 8.3. Збирання форм. Плавлення сплаву і заливання форм. Вибивання виливки.
- 8.4. Схема технологічного процесу виготовлення виливок в разових формах.
- 8.5. Формувальні і стержневі суміші, їх приготування та випробування.

8.1. Будова ливарної форми. Виготовлення стержнів

Ливарна форма – це система елементів, які утворюють робочу порожнину, при заливанні якої розплавленим металом формується виливка. Форми виготовляють із різних матеріалів: пісчано-глинистих сумішей, металевих сплавів, вогнеупорів. Форми, які виготовлені із пісчано-глинистих сумішей, заливають металом тільки один раз тому, що при видаленні виливок вони руйнуються. Тому вони називаються разовими або тимчасовими. Металеві форми в залежності від того, із якого сплаву вони виготовлені і якими сплавами заливаються, витримують декілька сотен, тисяч і десятки тисяч виливок, і називаються багаторазовими або кокілями. Форми, які виготовляють із вогнетривких матеріалів, цегли і глини, служать для отримання декількох виливок, перед кожним наступним заливанням їх ремонтують, виправляють. Ці форми називаються напівпостійними.

Найбільш поширені в ливарному виробництві разові форми, в яких отримують 75...80% лиття по вазі. Це пояснюється тим, що застосування разових форм не обмежено ні родом сплаву, ні температурою його заливки, ні складністю і розмірами виливок. В індивідуальному виробництві виготовлення виливок в разових формах є найбільш дешевим способом.

Форма включає в себе нижню і верхню опоки 5 і 6 (рис.8.1.), які виготовляються під розміри моделі 2, стержень 4, ливникову систему 7, пісчано-глинисту суміш 10, приливи 11, випор 8. Відливаема деталь 1 має отвір, який утворюється стержнем 4.

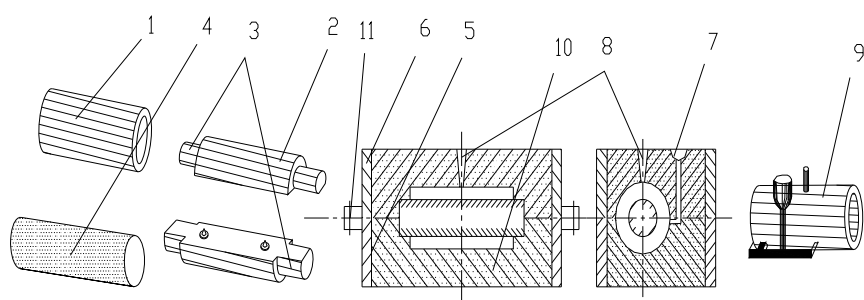


Рис.8.1. Будова ливарної форми.

Стержень фіксується у впадинах, які утворені стержневими знаками 3 моделі. Отримана виливка 9, після руйнування ливарної форми, буде мати метал, який залишився у випорі і ливниковій системі, і який відокремлюється відрубанням або відрізанням.

Ливарні опоки – це пристрої для утримання формувальної суміші при виготовленні форми. Верхню і нижню опоки орієнтують за допомогою металевих штирів – фіксаторів, які встановлюються в отвори приливів. Опоки, як правило, виготовляють із металу, витримують вони до десяти тисяч вливок.

Моделний комплект складається із моделі виливки, одного або декількох стержневих ящиків і моделей елементів ливникової системи.

Модель служить для отримання форми (зовнішніх її контурів). Внутрішні порожнини і отвори у виливці утворюються стержнями.

Для підводу розплавленого металу в площину ливарної форми, її заповнення і підживлення, використовується ливникова система (рис.8.2). Ливникова система складається із ливникової чаші (воронки) 1, стояка 2, шлаковловлювача 3, живильників 4, випору 5, для виходу газу і компенсації зменшення об'єму металу під час усадки. Ливникова чаша має виступ 6, для затримання різних домішок і включень в металі, за рахунок переливання рідкого металу. Випор служить для виведення газів і повітря з форми при поступовому заповненні її рідким металом. Також він фіксує той момент, коли форма повністю заповнена розплавленим металом.

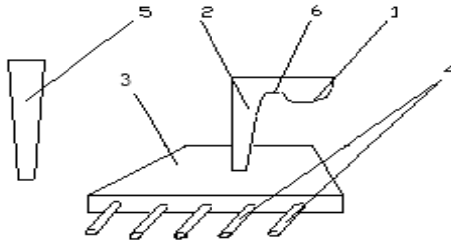


Рис.8.2. Ливникова система:
1-ливникова чаша; 2-стояк; 3-шлаковловлювач; 4-живильник; 5-випор;
6-шлакозатримуючий виступ.

Виготовлення стержнів.

Стержень служить для утворення порожнини, отворів та інших складних контурів, що фіксуються за допомогою виступів (стержневих знаків), які входять у відповідні впадини у формі. Ливарні стержні 2 виготовляють в стержневих ящиках 1 (рис.8.3.).

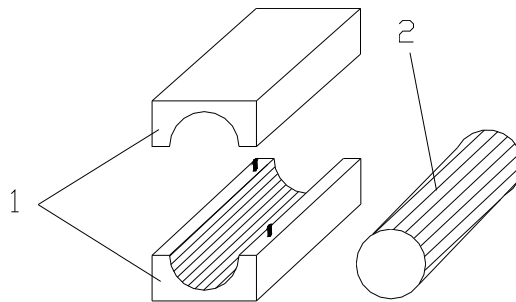


Рис.8.3. Стержневий ящик і стержень для виливки втулки:
1-стержневий ящик; 2-стержень.

Для виготовлення стержня, стержнева суміш набивається в стержневий ящик. Після видалення із ящика, стержень сушать. Стержневі ящики очищають від прилиплої стержневої суміші і протирають керосином для того, щоб до неї не прилипала суміш. З цією ж метою моделі припудрюють модельною пудрою – тальком або графітом. Для підвищеної міцності великих стержнів і стержнів складної конфігурації в них зформовують дротинні каркаси або литі чавунні рамки. Газопроникність стержнів підвищується шляхом наколювання у них вентиляційних каналів, або

заформовування у них воскових шнурків з слідуочим виплавленням при сушінні.

Стержні, для підвищеної міцності і газопроникності і зменшення їх газотворчої здатності піддають сушінню. Режим сушіння вибирають в залежності від складу стержневої суміші і розмірів стержня. Температура сушки залежить від типу зв'язуючого і складає для стержнів, які виготовленні із пісчано-глинистих сумішей, 300...350°C. Стержні із стержневих сумішей з водорозчинними зв'язуючими і зв'язуючими, які затвердівають в результаті окислення і полімеризації, сушать при температурі 150...250°C. Тривалість сушки залежить від розмірів і ваги стержнів і складають 1...10 годин. Стержні сушать в три етапи. Перший етап – повільний підігрів всього стержня до 100°C для того, щоб запобігти розриву стержня парами води. Другий етап, заключається в швидкому підйомі температури стержня до максимального рівня. При цій температурі проходять необхідні зміни зв'язуючих (окислення, плавлення, полімеризація) і міцність стержня підвищується.

Третій етап сушки – повільне охолодження сухих стержнів до температури 50...70°C, при якій вони виймаються із печі. Зменшення швидкості охолодження стержнів дозволяє запобігти розтріскуванню поверхневих шарів стержня і їх окислення. Після сушки проводять контроль розмірів і якості поверхні стержня. Стержні складної конфігурації виготовляють по частинах, збирають в спеціальних пристроях і потім склеюють. Для склеювання застосовують клеї, які забезпечують рівномірність з'єднувальних поверхонь і сухих стержнів. Один із пропонуємих складів клею слідуочий: 40...45 вагових частин вогнетривкої глини і 60...65 вагових частин рідкого скла.

Для зарівнювальних швів і пошкоджених ділянок стержня застосовують спеціальну пасту слідуочого складу: тальку, напівжирного піску, води і сульфідної барди. Для покращення поверхні алюмінієвих виливок, стержні рекомендується фарбувати спеціальними фарбами. Сирі стержні обпилюють розчином закріплювача з додаванням крейди, талька, графіта, борної кислоти (для Al – сплавів). Сухі стержні покривають фарбою слідуочого складу: 40...50% полівінілбутирального лаку (2% - вий розчин) і 50...60% пропеченого тальку або обеззалізного цирконового концентрату.

Сухі стержні після склеювання, зарівнювання швів і пофарбування підсушуються. Щоб запобігти конденсації вологи, стержні можна ставити у форму тільки в охоложеному вигляді.

8.2. Матеріали, пристрої, інструменти та обладнання для виготовлення разових форм

Для виготовлення разових форм необхідні наступні матеріали, пристрої, інструменти і обладнання:

1. модельні комплекти, за допомогою яких утворюються порожнини форм і канали ливникової системи;
2. формувальні і стержневі суміші – матеріали, із яких виготовляють форми і стержні;
3. опоки – рамки, в яких отримують форми і які надають їм зовнішню міцність і жорсткість;
4. інструменти і пристрої, необхідні для виготовлення форм: підмодельні плити, трамбовки, сита, лопати, гладилки, гачки, ланцети, душники тощо;
5. формувальні і стержневі машини;
6. підйомно – транспортні машини.

На рис.8.4. наведено креслення деталі (газовий пальник), для виготовлення якої необхідна вилівка. Позначення на кресленнях $R_{z,80}$, $R_{z,50}$ вказує на те, що ці поверхні обробляють на верстатах і вилівка повинна мати припуск на механічну обробку.

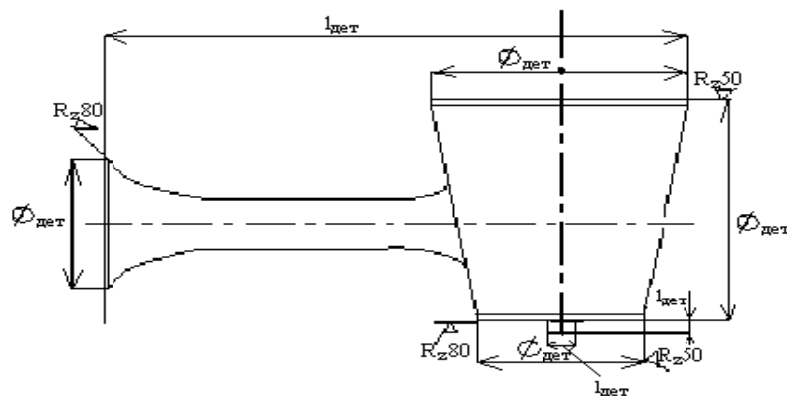


Рис.8.4. Креслення деталі.

Величина припусків тим більша, чим більші розміри деталі і чим вона складніша. Розміри припусків визначають по ГОСТу.

Виготовлення моделі, стержневих ящиків, опок та іншої оснастки.

Модель необхідна для утворення відбитки у формі – отримання порожнини форми, яка є оберненим зображенням вилівки. Моделі частіше всього виготовляють роз'ємними для зручності формування. На кресленні моделі вказують верх – В і низ – Н форми відносно порожнини – роз'єма (рис.8.5.).

Перпендикулярно площині рознімання моделі, передбачені уклони, які називаються формувальними, для того щоб модель можна було вийняти із

форми без пошкоджень останньої. Величина уклону знаходиться в межах $\alpha=0,5...3^{\circ}$.

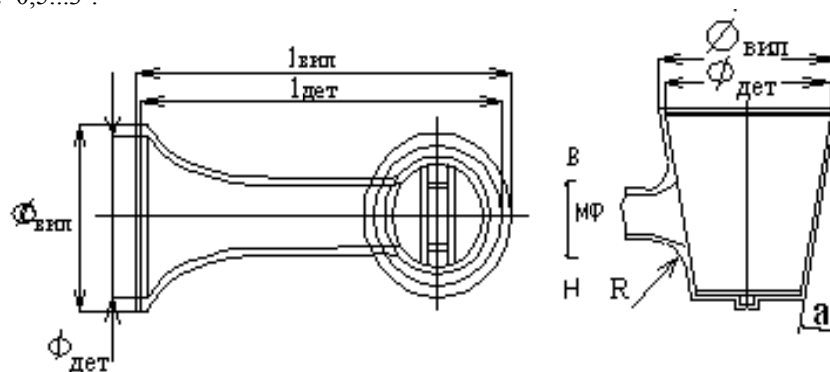


Рис.8.5. Креслення моделі.

Модельні комплекти для ручного формування виготовляють із деревини різних порід дерева (сосни, вільхи, берези, липи, груші, ясена тощо), а для машинного формування – із металевих сплавів (найчастіше – алюмінієвих). Інколи для цих цілей застосовують гіпс, спеціальні цементи і пластмаси.

Дерев'яну модель виготовляють не з одного бруска, а склеюють із декількох частин добре висушеної деревини, які вкладають так, щоб їх волокна перехрещувались. Це зменшує короблення моделі в процесі експлуатації. Для зниження гігроскопічності і отримання більш гладкої поверхні, дерев'яні моделі покривають масляною фарбою або лаком. Ті частини моделі, які швидко зношуються, виконують із металу або оббивають металом.

Металеві моделі виготовляють разом з підмодельними плитами як одне ціле і називають їх модельними плитами. Модельні плити роблять односторонніми і двосторонніми. В останньому випадку по одній плиті отримують дві половини форми. На рис.8.6 показана двохстороння модельна плита, на якій змонтовані чотири моделі 1 і моделі ливникової системи 2. Металеві модельні плити міцні і довговічні, вони витримують декілька десятків тисяч формовок, і форми, а відповідно, і виливки, які отримані на них, більш точні.

Але модельні плити значно дорожчі дерев'яних моделей, і застосовувати їх вигідно тільки при крупносерійному або масовому виробництві.

Для утворення порожнини чи отворів у виливці, служать стержні, які виготовляють в стержневих ящиках. Стержневі ящики бувають – суцільними, роз'ємними, витрусними тощо.

Для точного фіксування стержнів у формі, служать знаки, які передбачають на моделі і в стержневому ящику при їх виготовленні, знаки

моделі утворюють в порожнині форми відповідні заглиблення, в які встановлюють стержень при складанні форми.

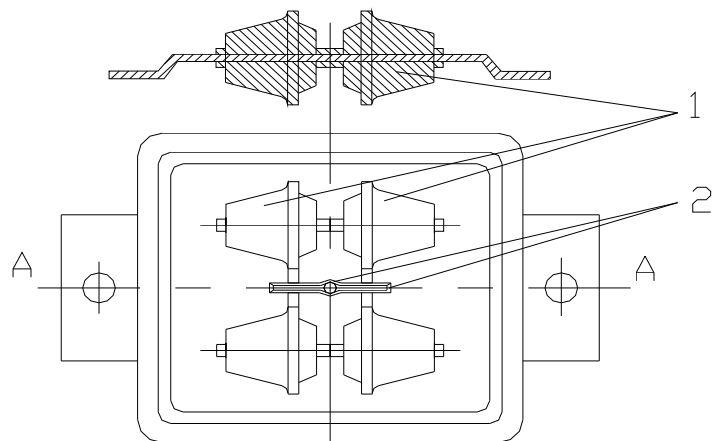


Рис.8.6. Двохстороння модельна плита:
1-моделі; 2-моделі ливникової системи.

На рис.8.7 представлена пара металевих опок для ручного формування (верхня – 1, нижня – 2), які представляють собою жорсткий металевий ящик без дна з буртиками 3.

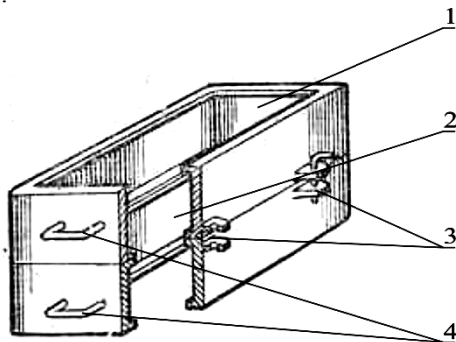


Рис.8.7. Пари опок:
1-верхня опока; 2-нижня опока; 3-буртики; 4-ручки.

Буртики служать для фіксації верхньої опоки відносно нижньої, і забезпечують отримання виливок без перекосу. У опок для ручного формування є ручки 4. Опoki перед заповненням формувальною сумішшю

і заливанням сплавом, встановлюють на підмодельно – підпочну плиту, яка може бути і дерев'яною.

Інструменти, які застосовують при ручному формуванні, наведені на рис.8.8, де 1 – лопата для перелопачування формувальної суміші; 2 – решето для просіювання облицьовувальної суміші; 3 – набійка – трамбовка для ущільнення суміші в опоці; 4 – совок для насипання суміші в опоку; 5 – ланцет; 6 – гачок; 7 – лінійка металева для видалення надлишків формувальної суміші після ущільнення її в опоці; 8 – душник для наколювання у формі вентиляційних каналів; 9 – підйомник для видалення моделі із форми. Аналогічний інструмент застосовується для виготовлення стержнів.

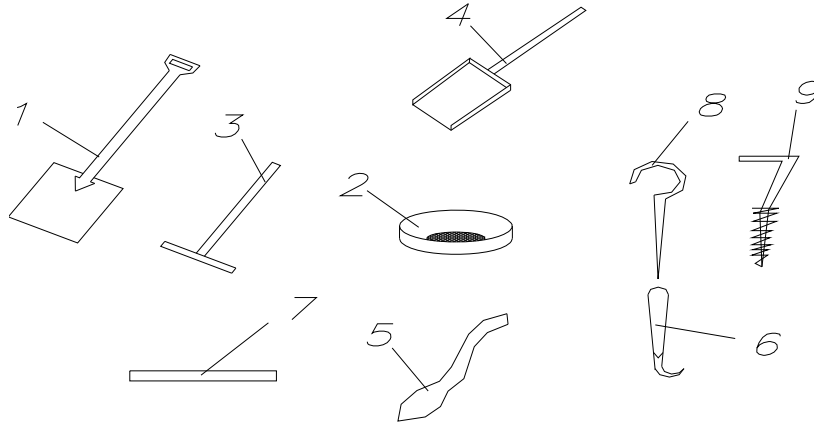


Рис.8.8. Інструмент для ручного формування.

8.3. Збирання форм. Плавлення сплаву і заливання форм. Вибивання форм.

Збирання форм.

На рис.8.9 показана послідовність операцій виготовлення форми при отриманні виливки без стержня, який включає в себе набивання верхньої опоки, видалення частин моделі, встановлення верхньої опоки на нижню, виготовлення ливникової чаші, видалення моделі стояка, додатка і випора.

Набивання нижньої опоки (поз.А). Модель виливки і елементи ливникової системи очищаються від залишків формувальної суміші, протираються ганчіркою, яка змочена в керосині. На підмодельно – підпочну плиту 1 кладеться нижня частина моделі 2 і нижня опока 3 так, щоб бічні приливи для замків були знизу. Частина моделі не повинна мати центруючих штифтів і кладеться площиною роз'єму вниз. Поверхню моделі виливки припудрюють сріблястим графітом.

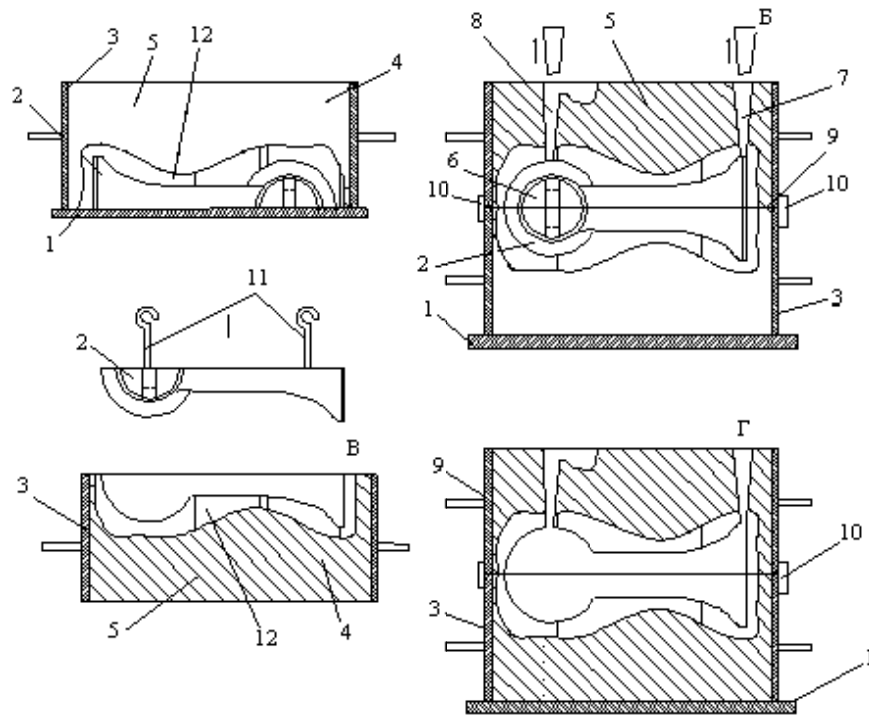


Рис.8.9. Схема процесу ручного формування:

А-набивання нижньої опоки; Б- набивання верхньої опоки, виготовлення ливникової чаші, видалення моделі стояка і додатка; В-видалення частини моделі із опоки; Г-форма готова до заливки.

В опоку через решето просіюють облицьовувальну формувальну суміш 12 на товщину шару 20...30 мм з метою отримання гладкої поверхні форми. Цю суміш обтискають (ущільнюють) рухами навколо моделі. Останній об'єм опоки заповнюють сумішшю 4 без просіювання шарами товщиною 50...75 мм, і ущільнюють кожний шар спочатку біля стінок опоки, а потім навколо моделі. Надлишок ущільненої суміші верхнього шару зрізають лінійкою. Душником наколюють вентиляційні канали 5. Набиту сумішшю опоку перевертають на 180° роз'ємом вгору (поз.Б). Площину роз'єму форми пригладжують.

Набивання верхньої опоки (поз.Б). На нижню частину моделі 2 по центруючих шипах встановлюють верхню половину моделі 6. На один із кінців моделі встановлюють модель додатку 7, а на другий – модель стояка 8.

Поверхню роз'єму нижньої опоки посипають тонким шаром сріблястого графіту для того, щоб формувальна суміш верхньої опоки не прилипла до суміші в нижній опці. Моделі припудрують.

Верхню опоку 9 встановлюють по центрувальним буртикам 10 на нижню 3. Насипають шар формувальної суміші, навколо моделі її обтискають руками. Кожний наступний шар суміші ущільнюють трамбовками аналогічно нижній. Після знімання надлишків ущільненої суміші лінійкою і наколювання вентиляційних каналів, виготовляють навколо стояка ливникову чашу, а далі моделі випора і стояка видаляють вверх (поз.Б).

Видалення моделей. Знімають верхню опоку, перевертають її на 180⁰ роз'ємом вверх і ставлять на підмодельно – підпочну плиту (поз.В). Із опок видаляють частини моделі виливки 2,6, попередньо їх розхитавши. Для видалення моделі застосовують підйомники 11. Якщо при видаленні моделі форма пошкоджена в незначній мірі, її виправляють. При сильному пошкодженні – набивають нову форму. Робочу порожнину присипають сріблястим графітом або тальком.

Складання форми. Верхню опоку обережно накладають на нижню таким чином, щоб співпало маркування, нанесене на бічній грані опоки, і пройшло центрування за допомогою буртиків на гранях опок. Опоки перед заливанням скріплюють скобами чи на верхню опоку накладають вантаж для запобігання витіканню розплаву через роз'єм форми під час заливки. Складена під заливку форма наведена на поз.Г.

Плавлення сплаву і заливання форм.

Готують розплав в шамотно – графітових тиглях, які розміщені в електропечі опору чи індукційних.

Добре просушений тигель ставлять в піч і нагрівають. Під час нагрівання тигля готують шихту, яка складається із ливників, додатків, забракованих виливок і свіжого розплаву.

Коли тигель нагрівається до червоного кольору, завантажують шихту, яка розплавляється. Температуру розплаву доводять до 700...730⁰С.

Залити форми можна безпосередньо із тигля, в якому рафінують розплав, чи за допомогою металевої ложки, покритої захисною плівкою із окису цинку з рідким склом, яке є зв'язкою.

При плавленні, рафінуванні, заливанні форми потрібно дотримуватися правил техніки безпеки: працювати в захисних окулярах, рукавицях.

Вибивання виливки.

Після заливання форм, виливки затвердівають і потім охолоджуються в них. Тривалість охолодження в формі залежить від її маси, товщини перерізу, виду сплаву, теплофізичних властивостей формувальних матеріалів тощо. Час охолодження коливається від декількох хвилин для невеликих

тонкостінних литих деталей до декількох годин або діб для масивних і великих виливок.

Для підвищення економічності технологічного процесу охолодження прискорюють, наприклад, обдуванням повітрям. По дослідних даних, мілкі чавунні виливки можна видаляти із форм при $700...800^{\circ}\text{C}$, середні – при $400...500^{\circ}\text{C}$. Перевищення цих температур може призвести до структурних перетворень у виливках. Внаслідок великої різниці температур на поверхні і всередині масивної деталі виникають термічні напруги, які можуть визвати короблення і тріщини у виливці.

Охолодженні до необхідної температури виливки вибивають вручну (в лабораторії), чи на машинах, які називаються вибивними решітками. Вибивна вібраційна решітка показана на рис.8.10.

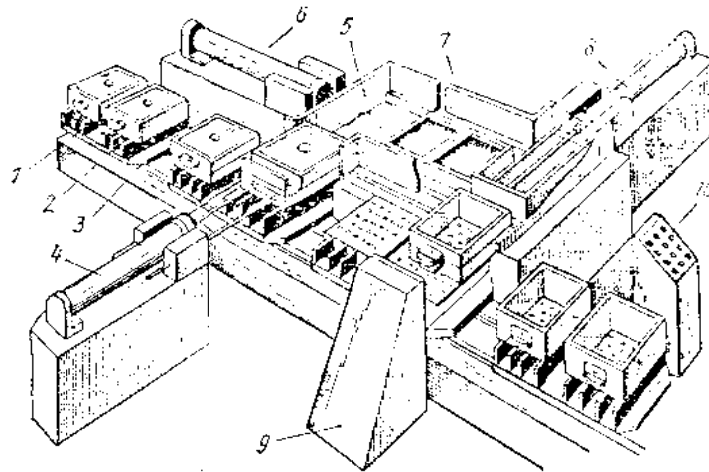


Рис.8.10. Вибивна вібраційна решітка.

При русі по конвеєру 1 візок 2 включає електроконтакт 3 гідроциліндра (товкача) 4, який спихає форму на стіл 5 (вибивну вібраційну решітку 7). Транспортери повертають формувальну суміш, для наступного використання після додавання до неї свіжих метеріалів, виливки – на обрубку і очистку. Порожні опоки товкач 8 подає до упору 9 на конвеєр. Технологічний процес управляється пультом 10.

Стержні із великих виливок видаляють в гідравлічних камерах струменем води діаметром $5...15$ мм під тиском до 10 МПа. При цьому проходить і очищення поверхні виливок від прилиплих частинок формувальної суміші. В умовах лабораторії пісок, який прилип (пригорів) до поверхні виливок очищають металевими щітками.

Також очистку мілких виливок від залишків формувальних матеріалів виконують в барабанах, які обертаються, круглого або прямокутного

перерізу. До них разом з деталями завантажують “зірочки” із білого чавуна. Очищення поверхні проходить в результаті перекачування і тертя деталей і “зірочок” одна об одну.

Виливки можуть очищатись від формувальної і стержневої суміші в гідропіскоструйних і дробоструйних установках де струмінь води з піском під тиском до 3МПа, або струмінь стисненого повітря який несе в собі чавунний чи сталевий шрот і викидається зі швидкістю 60...70 м/с із головки, яка обертається.

Видалення (обрубка) ливників ,додатків і дефектів проводять на дискових і стрічкових пилах, газовою і електродуговою різкою, пневматичними зубилами тощо. Ливникові системи від чавунних виливок можуть просто відбиватись молотком.

Зачистка виливок після їх очистки проводиться на стаціонарних і рухомих наждачних верстатах.

8.4. Схема технологічного процесу виготовлення виливок в разових формах.

Схема технологічного процесу виготовлення виливок в пісчано-глинистих формах наведена на рис.8.11.

Виготовлення виливок є досить складний комплекс технологічних процесів. Технологія виготовлення починається із виготовлення моделі і стержневих ящиків, опок, модельних плит, шаблонів для перевірки розмірів форми і стержнів. Всі ці операції виконуються в модельному цеху заводу.

Свіжі шихтові і формувальні матеріали знаходяться на складі формувальних матеріалів. Тут і виконується підготовка цих матеріалів до виготовлення ливарної форми. Вони висушуються, просіюються і відправляються в сумішоприготувальне відділення, де в спеціальних змішувачах готуються формувальні і стержневі суміші.

Ливарні форми і стержні виготовляють в формувальних і стержневих відділеннях цеху. В цих же самих цехах і збирають форми. Цей процес називається формовкою.

Однією із основних операцій технологічного процесу є приготування розплаву металу, яка починається з підготовки шихтових матеріалів. Шихтові матеріали зберігають на складі –шихтовому дворі. Тут матеріали сортують і після перевірки хімічного складу подають в відділення плавлення. Чавун плавиться у вагранках, полумєневих і електричних печах; сталь - в мартєнівських печах, конверторах, електричних печах; кольорові метали - в полумєневих і електричних печах.

Шихта для виливок із чавуна і сталі включає ливарні і передільні чавуни, сталевий і чавунний лом, повернення свого виробництва (ливники, додатки, брак), брикетовану стружку, феросплави. Для виливок із кольорових сплавів використовують чисті вихідні матеріали в чушках-алюміній, магній, лігатури,

а також сортовані повернення свого виробництва. Також, для плавлення застосовують флюси-матеріали, які необхідні для утворення шлаку, і очищення металу.

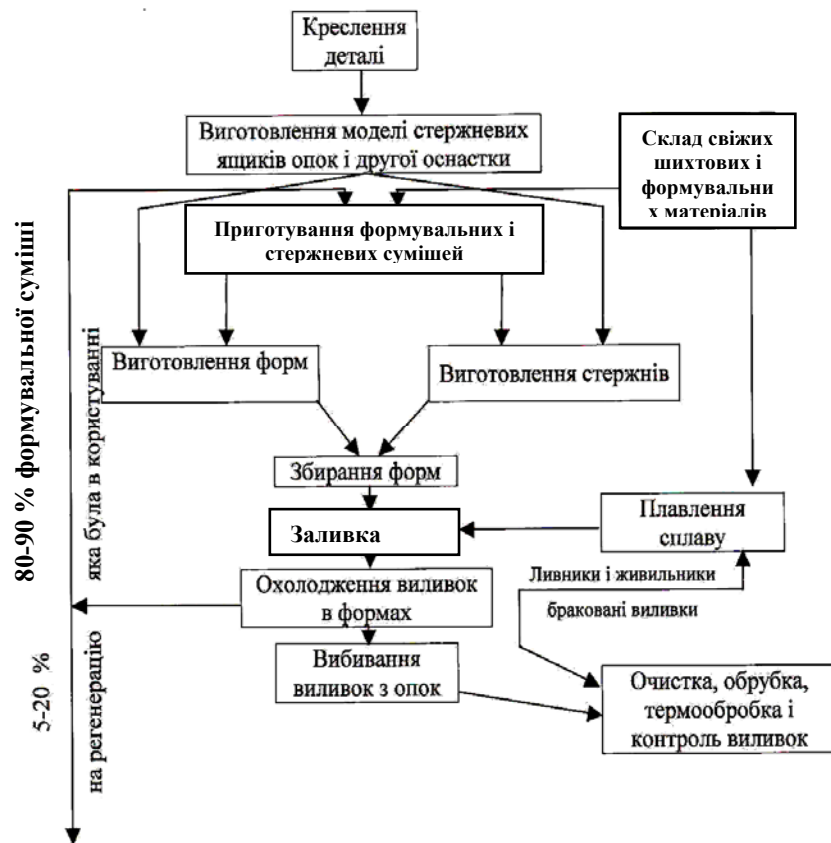


Рис.8.11. Схема технологічного процесу виготовлення виливок в разових формах

Після розплавлення шихти і приготування розплаву він зливається із печі в розливочні ківші і подається на заливку форм. Після заливання і охолодження виливки вибивають із форм вручну або на спеціальних вибивних машинах-решітках. Формувальна суміш, яка була вже у виробництві стрічковим конвеєром направляється на охолодження і переробку в сумішоприготувальне відділення.

Очищення і обробка виливок виконується в очисному відділенні.

З очисного відділення виливки надходять в відділ технічного контролю (ОТК).

Після технічного контролю виливки термічно обробляють (відпал, нормалізація, штучне старіння) та знімання внутрішніх напруг. Потім виливки знов контролюють і відправляють на обробку різанням.

Форми виготовлені із пісчано-глинистої суміші заливають металом тільки один раз тому, що при вивільненні виливок вони руйнуються. Цей вид лиття є основним видом лиття. Це пояснюється тим, що застосування разових форм не обмежено ні видом сплаву, ні температурою її заливання, ні складністю і розмірами виливок. Крім цього, в індивідуальному виробництві виготовлення виливок в разових формах є найбільш дешевим.

8.5. Формувальні і стержневі суміші, їх приготування та випробування.

Вихідними матеріалами при виготовленні формувальних і стержневих сумішей служить пісок і глина. При виготовленні ливарних форм використовується як нова так і суміш, яка вже була у використанні. Для покращання механічних і технологічних властивостей в суміш із піску і глини вводять допоміжні формувальні матеріали: вяжучі (смоли, цемент, рідке скло, бітум, каніфоль), протипригарні добавки (пиловий кварц, шамот, молотий кокс, графіт, хромистий залізняк, кам'яновугільний пил), захисні (борна кислота, фториста присадка), газоутворюючі-підвищуючі газопроникність і піддатливість суміші (деревні опилки, річковий пісок з розміром зерен від 0,25 до 1 мм). До допоміжних матеріалів відносяться замазки, клей, лаки і фарби.

Найбільш часто застосовують кварцовий пісок, який складається із кремнезема SiO_2 і має високу вогнетривкість ($t_{\text{пл}}=1713^\circ\text{C}$), міцність, твердість, технохімічну стійкість. Недоліком кварцу є те, що при нагріві до 575°C в ньому проходять перетворення, які зв'язані із зміною об'єму. Це приводить до тріскання зерен піску і збагачення формувальної суміші пиловими частинками. Тому суміш для повторного використання необхідно збагачувати добавками свіжого піску.

Дрібнозернисті піски використовують для мілкового лиття, що забезпечує отримання гладкої поверхні виливок. Для великих виливок застосовують крупнозернисті піски, які забезпечують більш високу газопроникність формувальної суміші.

Другим вихідним матеріалом є глина. Вона виконує функції звязуючого елемента і забезпечує міцність і пластичність. Глина – це змільчена гірська порода, яка після взаємодії з водою має високу пластичність. В більшості глин основним матеріалом є каолініт. $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Знижують пластичні властивості шкідливі домішки: слюда, польовий шпат та інші мінерали.

В ливарному виробництві, крім каолінових глин застосовують бентонітові $Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot nH_2O$, які мають в два-три рази більш високі зв'язуючі властивості.

Формувальні суміші в залежності від вмісту глинистих речовин діляться на класи (табл. 8.1).

Вихідні матеріали і пісок скріплюються перерахованими вище в'язучими для надання міцності в вологому і сухому стані формувальних і стержневих сумішей.

В'язучі вводять в формувальні і стержневі суміші в невеликих кількостях (1,5...3%).

Класифікувати в'язучі можна по природі матеріалу: органічні і неорганічні, водорозчинні і нерозчинні у воді; по характеру затвердіння: незворотні, проміжкові і зворотні.

Таблиця 8.1
Класифікація формувальних сумішей

Назва	Клас	Вміст глинистих складових в %	Вміст в % не нижче	Шкідливі домішки, % не більше	
				Оксиди лужно-земельних металів	Оксиди заліза (Fe_2O_3)
Кварцеві	1к	до 2	97	1,2	0,75
Кварцеві	2к	до 2	96	1,5	1,0
Кварцеві	3к	до 2	94	2	1,5
Кварцеві	4к	до 2	90	-	-
Пісні	П	2...10	-	-	-
Напівжирні	Н	10...20	-	-	-
Жирні	Ж	20...30	-	-	-
Дуже жирні	ДЖ	30...50	-	-	-

Технологічні властивості формувальних і стержневих сумішей визначають якість ливарних форм і стержнів. До них відносяться: міцність, поверхнева міцність, пластичність, піддатливість, вогнетривкість, газопроникність, текучість, вибиваємість, негігроскопічність, довговічність і теплофізичні властивості.

Міцність – це властивість матеріалу форми (стержня) не руйнуватися при її виготовленні, видаленні моделі із форми, транспортуванні і заливанні форми металом.

Міцність суміші збільшується із збільшенням вмісту глини і зменшеннями розмірів зерен піску, а також збільшенням щільності. Стандартними характеристиками є: для сирих сумішей – межа міцності при стисканні $\sigma_{ст}$, для сухих форм (після сушіння) – межа міцності при

розтягуванні σ_p . Для пісчано-глинистих сумішей $\sigma_{ст}=30...70\text{кПа}$, $\sigma_p=80...200\text{кПа}$.

Поверхнева міцність (обсипаємість) – це опір дії струменю металу при його заливці, який виконує стираючу дію. При недостатній поверхневій міцності спостерігається обсипаємість, при цьому окремі частини формувальної суміші попадають в виливку.

Пластичність – це здатність суміші деформуватися без руйнування і точно відтворювати відбиток моделі (стержневого ящика) і зберігати отриману форму.

Пластичність підвищується, якщо в суміші збільшувати кількість зв'язуючих матеріалів глини і води, а також піску з мілкими зернами.

Піддатливість – це здатність суміші стискатися під дією усадки сплаву. При недостатній піддатливості в виливці виникають напруги, які можуть привести до утворення тріщин, особливо між виступами. Крашу піддатливість має великий окатаний річний пісок. Глина погіршує піддатливість. Для покращання піддатливості в формувальні суміші додають опилки, фрезерний торф.

Вогнетривкість – це здатність суміші чинити опір розм'ягченню чи розплавленню під дією температури розплавленого металу. Оплавлення або хімічна взаємодія металу з сумішшю приводить до утворення плівки пригару, яка погіршує якість поверхні і затруднює наступну обробку виливки. При оплавленні формувальної суміші різко знижується її газопроникність. Чим більші зерна піску, чим менше в ній домішок і пилу, чим більше кремнезему, тим більша вогнетривкість. Кварцевий пісок і біла глина мають високу вогнетривкість. Вогнетривкість можна підвищити введенням у суміш графіту.

Газопроникність – це здатність суміші пропускати через себе гази внаслідок пористості. В розплавленому металі завжди є розчинені гази, які видаляються при його охолодженні і затвердінні. Велика кількість водяних парів і газів виділяється також із самої формувальної суміші при її нагріванні. При недостатній газопроникності в тілі виливки можуть утворюватись газові пухирі-раковини. Газопроникність буде тим більша чим більші зерна піску і чим менший вміст глини у суміші. Для оцінки формувальної суміші користуються коефіцієнтом газопроникності K , який визначають експериментально. Для пісчано-глинистих сумішей $K=30...120$ одиниць.

Текучість – це здатність суміші обтікати моделі при формуванні, заповнювати порожнини стержневого ящика. Суміш повинна переміщуватись без особливих зусиль в процесі формування і забезпечувати однакове ущільнення в усіх частинах форми (стержня) без рихлих місць і порожнин.

Вибиваємість – це здатність суміші легко видалятися із форми і порожнини виливок при їх вибиванні після охолодження. Суміші, в яких

в'язучі речовини втрачають міцність при нагріві після заливанні сплаву мають добру вибиваемість.

Негігроскопічність – це здатність суміші після сушіння не поглинати вологу із повітря на протязі довгого часу.

Довговічність – це здатність суміші зберігати свої властивості при багатократному використанні.

До теплофізичних властивостей відносяться теплопровідність і питома теплоємність, які суттєво впливають на швидкість кристалізації металу і його охолодження. Тим самим вони впливають на структуру і властивості виливок.

Формувальні суміші по способу виготовлення розрізняють для формовки всиру (форми без попередньої сушки заливають металом) і для формовки всуху (перед заливанням металом форми сушать для підвищення їх якості). Формовка всиру найбільш поширена. Основою нової суміші є вибита із опок відпрацьована, в яку добавляють свіжі матеріали (глину, пісок) і вносять інші добавки, які складають 1...5% загального об'єму.

Формувальні суміші по призначенню поділяються на облицювальні, наповнюючі і єдині.

Облицювальна суміш безпосередньо контактує з рідким металом, тому є найбільш навантажена. Вона облягає модель шаром товщиною до 100мм. В її склад вводять до 40% свіжих добавок, для надання їй підвищених фізико-механічних властивостей.

Наповнююча суміш служить для заповнення останньої частини форми і працює вона разом із облицювальною. Головним чином вона складається із "відпрацьованої суміші" в яку добавляють воду, невелику кількість піску і глини для освіження(приблизно 10...20%). Використовують ці суміші для виготовлення великих і складних виливок.

Єдині суміші застосовують для виготовлення всієї форми. Форму використовують при машинному формуванні в цехах серійного і масового виробництва. Приблизний склад єдиної формувальної суміші для виготовлення чавунних виливок середньої складності вагою 20...300кг: відпрацьована суміш - 80%, кварцовий пісок – 14%, кам'яновугільний пил – 6%.

Стержнева суміш сприймає значно більші термічні і механічні навантаження чим формувальні тому, що стержень із усіх сторін оточений розплавленим металом. Тому стержні повинні мати підвищену міцність, вогнетривкість, піддатливість і газопроникність. Основою стержневих сумішей є кварцовий пісок. Склад стержня вибирають із урахуванням його розміру, складності, а також металу із якого виготовляється вилітка. Стержневі суміші по складу поділяють на пісчано-глинисті і пісчано-масляні. Пісчано-глинисті застосовують в основному для виготовлення великих стержнів на каркасах. Пісчано-масляні суміші складаються із кварцового піску з добавкою в'язучих- лянного масла чи його замінників і

застосовується для виливок складної конфігурації і відповідального призначення.

Широко застосовуються для чавунного і сталюого лиття швидкотвердіючі суміші, в яких в'язучим є рідке скло. При цьому форма обдувається вуглекислим газом, який діє на рідке скло і проходить швидко твердіння суміші і форма набуває високої міцності. Приблизний склад швидкотвердіючої суміші: 85% кварцового піску, 9% глини, 5% рідкого скла і 1% їдкоого натру.

Приблизний склад стержневої суміші для виготовлення нескладних по формі стержнів: кварцовий пісок 90...92%, глина 4...6%, сульфідна барда 2...3%, вода 3...4%.

Застосування протипригарних і допоміжних матеріалів в залежності від виду металу, який плавиться.

Пригар – це шар формувальних матеріалів, оксидів металу, які міцно з'єднані з поверхнею виливки. Найчастіше пригар зустрічається при плавленні металів з високою температурою плавлення (чавун, сталь).

При плавленні чавуну, для отримання виливок без пригару при формуванні в суміш вводять кам'яновугільний пил, мазут, нафтовий кокс, деревний пек. В результаті розкладання таких добавок при заливанні форми утворюються гази, які забезпечують газовий прошарок між розплавом і стінкою форми. Це і запобігає утворенню пригару. В одиничному виробництві для запобігання пригару форми просичують графітом або деревним порошком.

При плавленні сталі для запобігання пригару вводять окислювальні добавки – хлориди і фториди металів, п'ятиокис ванадію, а також пиловий кварц, алюмінієву пудру.

При формуванні по-сухому для запобігання пригару в основному застосовують протипригарні фарби і пасти. Основними компонентами фарб, які використовуються при литті виливок із чавуна є графіт і тальк. Фарби на основі графіту використовують при виготовленні середніх і великих товстостінних виливок. Фарби на основі талька застосовуються при литті виливок середніх розмірів і маси. В склад фарб для особливо великих виливок крім графіту вводять молотий кокс.

При виливці великих виливок із сталі і чавуна застосовують пасти, які більш густі чим фарби. Пасти виготовляють на основі високовогнетривких матеріалів – хроміта і хромомагнезита.

Для зменшення прилипання суміші до стінок моделі і стержневих ящиків застосовують керосин і суміш керосину з мазутом, суміш керосину і графіту. З цією метою використовують графіт, тальк у вигляді порошку.

Технологічний процес виготовлення формувальної суміші включає: перемішування компонентів суміші, їх вистоювання і розрихлення.

Перемішування підготовлених складових –зворотньої суміші і свіжих матеріалів, в залежності від характеру і призначення лиття, з водою для зволоження проводиться на змішувальних бігунах.

Попередньо піски сушать при температурі ~ 250°C в кип'ячому шарі, в повітряному потоку або в печах барабанного типу і потім просіюють.

Глину сушать при 200...250°C в печах барабанного типу, розмільчують на дробилках, потім розмелюють в шарових млинах або бігунах і просіюють. Як правило, в формувальну суміш глину доцільно вводити не в порошкоподібному стані, а в вигляді суспензії(30...40 частин глини і 45...60 частин води). Суспензія готується в лопатних змішувачах.

Вугільний порошок отримують помолом вугілля аналогічно отриманню порошкоподібної глини.

Порошкоподібний кварц, графіт, синтетичні смоли, каталізатори та інші вихідні матеріали надходять в цех в готовому вигляді.

Зворотні суміші після вибивки із опок розминають на гладких валках, очищають від металевих частин на магнітному сепараторі і просіюють.

Схема бігунів для перемішування компонентів суміші наведена на рис.8.12. Вона включає нерухому чашу 1, з двома гладкими котками 5, які обертаються довкола вертикальної осі 2 і одночасно довкола своїх горизонтальних осей(маятників 4, які кріпляться за допомогою шарнірів 6 до траверси 3) внаслідок тертя об землю, яка подається в чашу. Поданий в чашу матеріал безперервно направляється під котки за допомогою плужків 7, які кріпляться на траверсі. Суміш, що виготовляється, перемішується і викидається із бігунів плужками через люк 8, який відкривається в днищі чаші.

Час перемішування для єдиної суміші складає 3...5хв, для наповнювальної 3хв і облицювальної 6...10хв.

Після перемішування суміш завантажують в бункер, де вона вистоюється на протязі декількох годин для рівномірного розподілення вологи і утворення водяних оболонок навколо глинистих частинок.

Потім проводять відбір проби за допомогою дільника проб – звуженої донизу бляшаної коробки 1 з вузькими вікнами 2, що виходять почергово на два протилежні боки і відводять матеріал, що насипається зверху, в два підставлені ящики 3 (рис.8.13.). Матеріал, який попав в один з підставлених ящиків, відкидають, а з другого ящика матеріал знову насипають в дільник. Так це продовжується до відбору потрібної кількості матеріалу для випробування. Перше випробування формувальної суміші – це визначення вологості. Прискорене визначення вологості проводиться в спеціальній чотирьохмісній печі, яка складається з чотирьох залізних трубок, через які зверху продуваються стиснене повітря, нагріте електроспіралями 2, що знаходяться всередині трубок (рис.8.14). Подальше продування проходить внизу через наважки досліджуваних сумішей, які розміщені в чашечках з сітчатими днами 3. Контроль температури здійснюється термометром 4.

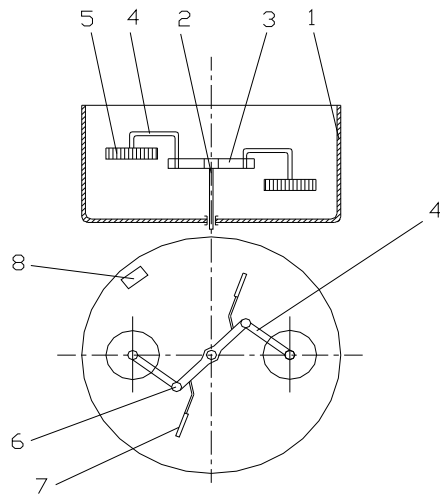


Рис.8.12. Схема бігунів для переміщення компонентів формувальної суміші:
 1-нерухома чаша; 2-вертикальна вісь; 3-траверса; 4-маятник; 5-гладкі котки; 6-шарніри; 7-плужки; 8-люк.

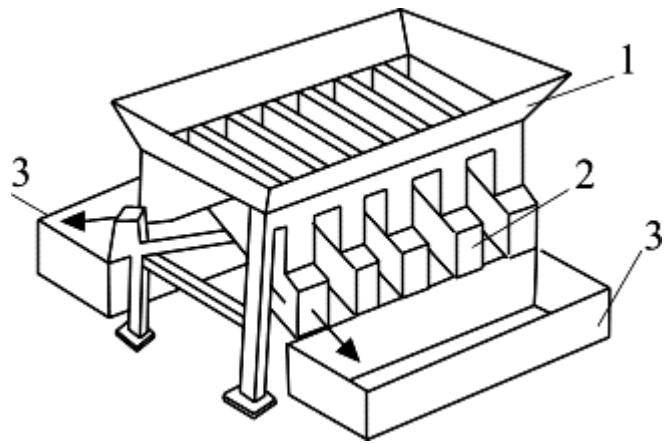


Рис.8.13. Схема дільника проб:
 1-бляшана коробка; 2-вікна; 3-ящики.
 Наважку вагою 50г. піддають сушінню в печі протягом 4-8хв при температурі продувного повітря до 200°С, після чого зважують.

Відсоток вмісту води в суміші встановлюється з різниці ваги до і після сушіння. Вологість суміші рекомендується 4 - 6%. Формула визначення вологості має наступний вигляд:

$$W = ((G_w - G_c) / G_w) \cdot 100\%$$

де W – вологість; G_w – вага вологої проби; G_c – вага висушеної проби.

Друге випробування формувальної суміші – це визначення вмісту глинистих складових.

Глину і пісок можна розділити тільки механічним шляхом по розміру частинок. Частинки розміром більше 0,022мм прийнято називати зерною частиною піску.

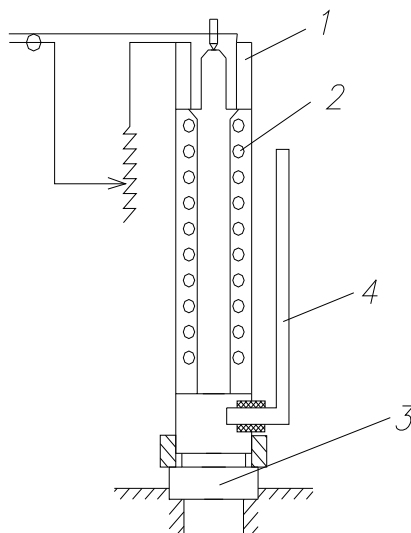


Рис.8.14. Схема секції печі:

1-трубка; 2-електроспіраль; 3-сітчасте дно; 4-термометр.

Вміст глини в формувальних сумішах визначається методом відмулювання. Для цього застосовується пристрій, за допомогою якого дозволяють проводити дослідження на протязі 3...4хв (рис.8.15). Банку 3 розміщують на столі 5 пристрою і виконують його піднімання при цьому банку притискається до гумової прокладки 2, а стіл закріплюється рукояткою 4. Збовтування суміші виконується металевими стержнями з лопатками 6, які приводяться в рух електродвигуном 1, який закріплений на станині 7. Вмістимість банки 600см³ і насипають в банку 25г суміші і заливають водою. Вміст глини в суміші визначається по різниці мас.

Наприклад, після відмулювання отримали осад 35г. Значить, вміст глини в піску становить $50-35=15$ г, або $(15/50) \cdot 100=10\%$. Класифікація формувальних сумішей наведена в таблиці 8.1.

Третє випробування формувальної суміші – це визначення зернового складу (ситовий аналіз). Зерновим аналізом встановлюють вагову кількість зерен різних розмірних груп в пісчаній основі формувального матеріалу. Наважку 50г сухої безглинистої пісчаної основи формувального матеріалу, яку одержали відмулюванням, пересівають через калібровані сита з точними розмірами вічок.

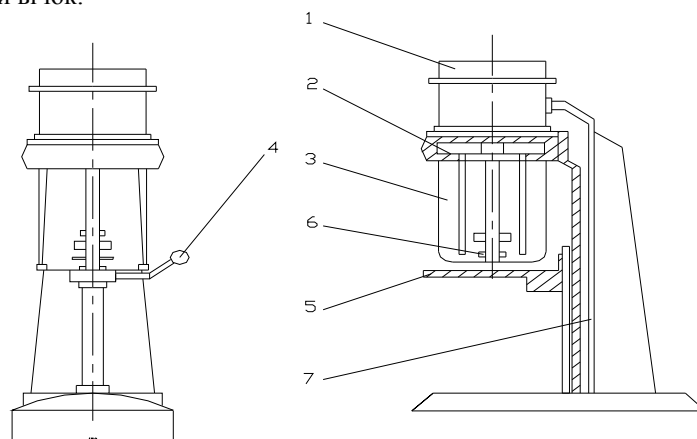


Рис.8.15. Пристрій для відмулювання глини від піску:
1-електродвигун; 2-гумова прокладка; 3-банка; 4-рукоятка; 5-стіл; 6-металеві стержні з лопатками; 7-станина.

Калібровочних сит є 11 і їх розміщують одне над другим, так щоб розміри вічок в них донизу зменшувались. Номери сит в залежності від розміру вічка наведені в таблиці 8.2.

Таблиця 8.2

		Розмір вічка в залежності від номера сита										
Номер сита		2,5	1,6	1	063	04	0315	02	016	01	0063	005
Розмір сторони вічка, мм		2,5	1,6	1,0	0,63	0,4	0,315	0,2	0,16	0,1	0,063	0,05

Стопку сит закрити зверху кришкою розміщують на спеціальний пристрій для просіювання (рис. 8.16).

Даний пристрій складається із станини 2, електродвигуна 3 і набору сит 1 діаметром 150мм. Сита скріплюються спеціальним пасом до опори, яка рухається. Просіювання забезпечується вібруванням, яке створюється ексцентриковим механізмом. Час просіювання складає 6-12хв.

Після просіювання пісок, який залишився в ситі, зважується і по отриманій масі всіх залишків судять про зерновий склад даного піску. Основною фракцією піску вважається найбільша сума залишків на 3-х суміжних ситах.

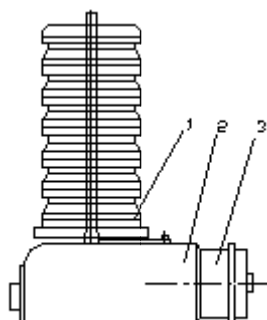


Рис.8.16. Пристрій для зернового аналізу піску:
1-набір сит; 2-станина; 3-електродвигун.

В залежності від величини зерен основної фракції встановлений наступний розподіл формувальних пісків на групи(таблиця8.3).

Таблиця 8.3

Групи формувальних пісків

Пісок	Група	Номер суміжних сит, на яких залишаються зерна основної фракції	Пісок	Група	Номер суміжних сит, на яких залишаються зерна основної фракції
Грубий	063	1; 063; 04	Мілкий	016	02; 016; 01
Дуже грубий	04	063; 04; 0315	Дуже мілкий	01	016; 01;0063
Великий	0315	04; 0315; 02	Тонкий	0063	01; 0063; 005
Середній	02	0315; 02; 016	Пиловидний	005	0063; 005,тазік

Марка піску по зерновому складу визначається середнім номером сита із трьох сумішей, на яких залишилися найбільші залишки (основна фракція). Якщо в основній фракції залишок на верхньому крайньому ситі більше, то пісок відноситься до категорії А. Якщо залишок на нижньому крайньому ситі більше, то пісок відноситься до категорії Б. Піски категорії А мають більш високу газопроникливість.

В марці формувального піску на першому місці вказують клас, до якого відносять пісок по вмісту глини (див таб.8.1) потім група, яка вказує зерновий склад, і в кінці – категорія. Наприклад ЗК02А – кварцовий, зерновий склад 02(номер середнього сита основної фракції), А-категорія: ПО16А- пісний пісок, сито 016, А – категорія:ПО16А- пісний пісок, сито 016, А – категорія.

В ливарному виробництві застосовуються також піски з розосередженим зерновим складом. Ці піски утворюють основну фракцію на чотирьох – п'яти суміжних ситах. Вони міцніші за піски, які мають концентровану зернову структуру, менш осипаються, менш тріскаються під дією високої температури, тому виливки отримають більш чистими. Недолік цих пісків – низька газопроникливість.

Розосередженні піски позначаються:

КРК – кварцовий, розосереджений, крупнозернистий (сумарний залишок на ситах 04,0315,02 - не менше 60%);

КРС – кварцовий, розосереджений, середньозернистий (сумарний залишок на ситах 0315,02 - 016 не менше 60%);

КРМ - кварцовий, розосереджений, мілкозернистий (сумарний залишок на ситах 02,016,01 не - менше 60%).

Якщо пісок має в основній фракції менше 60% зерен, то це пісок загальною розосередженістю, його позначають КРО. Ці піски мають низьку газопроникливість, зерна можуть бути заокругленими або кутоватими. Перші піски мають більшу щільність.

Формувальні піски поставляють із кар'єрів і в характеристиці цих пісків вказують зерновий і мінералогічний склад, газопроникливість, вміст глини, міцність при стисненні в вологому стані.

Четверте випробування формувальної суміші – це визначення газопроникливості. Газопроникливість залежить від величини зерна суміші, від вмісту в ній глини, вологи і її щільності. При збільшенні щільності суміші газопроникливість зменшується.

На газопроникливість випробують формувальні піски і готові суміші. При цьому через них пропускають повітря і по тиску, яке створюється перед зразком судять про газопроникливість.

Для випробування суміші на газопроникливість виготовляють стандартні зразки діаметром $d=50$ мм, і висотою $h=50$ мм, при стандартному ущільненні. Для виготовлення такого зразка використовують напівавтоматичний лабораторний копер (рис 8.17).

Наважку, приготувану для випробування суміші, насипають в гільзу (рис.8.18а), в яку вставляють вкладене дно, після чого переносять її на копер для ущільнення. Зразки для досліджень можуть бути і плоскі, які мають форму вісімки з поперечним перерізом в звуженому місці 25х25мм (рис 8.18б).

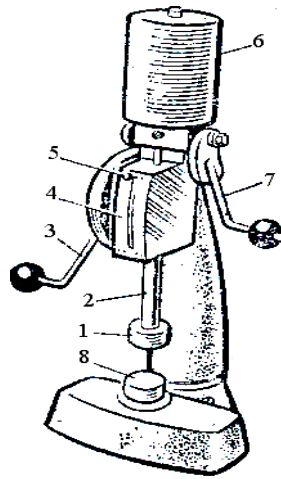


Рис. 8.17. Лабораторний копер:
1-бойок; 2-стержень; 3-ексцентрик; 4-контрольна шкала; 5-стрілка; 6-вантаж; 7-ручка; 8-станина.

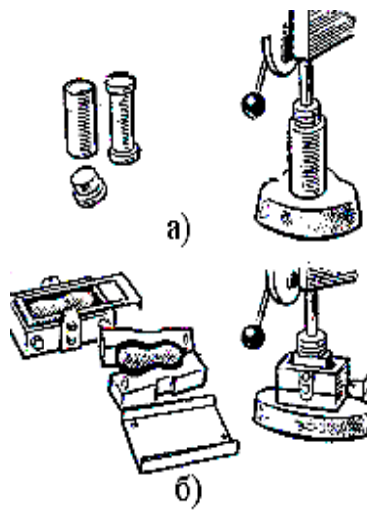


Рис. 8.18. Пристрій для виготовлення на копрі контрольних зразків
а)- насипання наважки в гільзу; б)- насипання наважки в плоску форму.

Обертаючи ручку ексцентрика 3, піднімаємо вантаж 6. При подальшому обертанні ручки вантаж зіскакує з ексцентрика і, падаючи, вдаряє в нижній упор, який закріплений на стержні 2. Таким чином, удар вантажу передається через стержень 2 і бойок 1 суміші, яка знаходиться в гільзі і ущільнює її. Для

контролю висоти стовпчика суміші, в гільзі після набивки (трьохкратного удару) служать контрольна шкала 4 і стрілка 5. Вантаж піднімається ручкою 7. Гільза з сумішшю розміщена на станині 8.

Газопроникливість визначається за формулою:

$$K = \frac{Vh}{(Fpt)},$$

де $V=2000\text{см}^3$ – об'єм повітря, який проходить через зразок; $F=19,635\text{см}^2$ – площа поперечного перерізу зразка; $h=5\text{см}$ – висота стандартного зразка; t – час проходження повітря, хв.; p – тиск повітря перед зразком, Па.

Значення v , h і t є постійними, тому коли підставимо їх у формулу, отримаємо:

$$K = \frac{2000 \cdot 50}{(19.635 pt)} = \frac{509.5}{pt} \frac{\text{см}}{\text{хв}} \text{ або } \frac{0,084}{pt} \frac{\text{м}}{\text{сек}}$$

Гільзу з ущільненим зразком встановлюють на пристрої для визначення газопроникності (рис 8.19).

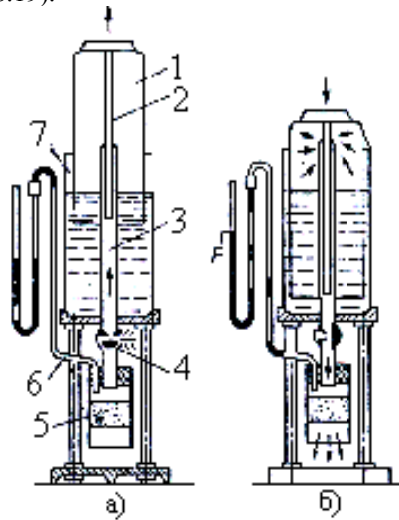


Рис. 8.19. Схема дослідження формувальної суміші на газопроникність:
а)- перед дослідженням; б)- під час дослідження.

Перед дослідженням (рис 8.19,а) гільзу з рамкою 5 закріплюють на гумовому корку або за допомогою спеціального затвора (ртутного або електромагнітного), відкривають трьохходовий кран 4 і піднімають циліндр 1. Під час опускання циліндра (рис. 8.19,б) він витісняє повітря, що знаходиться під ним через трубку 2 з отворами, яка входить в трубку 3 баку 7, наповненого водою (водяний затвор), і переганяє його через зразок суміші

5 в гільзі. Під циліндром набирається 2000см^3 повітря (нижня позначка на циліндрі співпадає з краєм бака). Під час перегонки повітря через зразок циліндр під дією власної ваги опускається. Маса циліндра повинна бути така, щоб при закритому крані надлишковий тиск складав $0,49\text{ кПа}$. Для створення тиску $0,98\text{ кПа}$ на циліндр поміщають спеціальний груз. Такий тиск необхідний при дослідженні мілко зернистої суміші або при прискореному дослідженні. Циліндр 1 опускається до тих пір, поки верхня позначка на циліндрі не співпадає з краєм бака (рис.8.19,б).

Це означає, що із циліндра витіснено і пройшло через зразок 2000см^3 повітря. Час, на протязі якого 2000см^3 повітря проходив через зразок, відмічають по секундоміру, а тиск, який при цьому створюється перед зразком, заміряється водяним манометром 6. Результати досліджень підставляють в наведену вище формулу.

Для прискореного визначення газопроникливості між трьохходовим краном і зразком встановлюється ніпель з точним каліброваним отвором. При дослідженні великозернистих сумішей, які мають велику газопроникливість, ставлять ніпель з отвором $d=1,5\text{мм}$; при дослідженні мілкозернистих сумішей з меншою газопроникливістю ставлять ніпель з отвором $d=0,5\text{мм}$. Через ніпель, який має отвір $d=1,5\text{мм}$, 2000см^3 повітря повинно перейти за $0,5\text{ хв.}$, а через ніпель з отвором в $0,5\text{мм}$ – на протязі $4,5\text{хв.}$ В такому випадку проводять підрахунок тиску перед зразком (водяним манометром), а потім з допомогою таблиці знаходять газопроникливість.

П'яте випробування формувальної суміші – це визначення міцності. В залежності від призначення формувальних і стержневих сумішей до них ставлять певні вимоги по міцності. Найбільш поширеним способом визначення міцності є стиснення вогких зразків. Випробуванню на стиск піддають циліндричні зразки, які були випробувані на газопроникливість.

Після дослідження на газопроникливість зразок виштовхують із гільзи за допомогою дерев'яного вкладиша і розміщують на приладі для дослідження на міцність при стисканні (рис.8.20). Зразок 4 встановлюється на предметний столик 5, при цьому рукоять 7 знаходиться в горизонтальному положенні. При цьому повітря через чотирьохходовий кран 8 по трубці 6 поступає в верхню порожнину циліндра і столик 5 опускається. При дослідженні поворотом крана 8 повітря впускають по трубці 9 в нижню порожнину циліндра 1. Столик з зразком підіймається, і тиск через зразок передається на верхню площину 3, яка стискає пружину 2 і індикатор обертає стрілку до граничного навантаження.

При руйнуванні зразка пружина динамометра автоматично вивільняється і основна стрілка вертається до цифри „0”, а контрольна вказує на циферблаті міцність при стисненні. Межа міцності при стисненні для мілких і середніх виливок повинна бути не більше $4,9\text{ кПа}$.

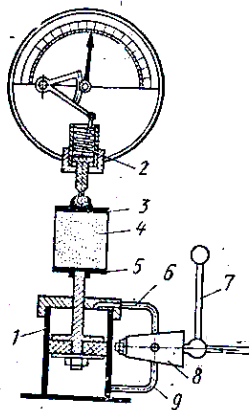


Рис. 8.20. Прилад для визначення міцності суміші в вологому зразку:
1- циліндр; 2-пружина; 3-верхня площина; 4-зразок; 5-предметний столик;
6,9-трубка; 7-рукоять; 8-кран.

Підвищена міцність в вологому стані при стисненні вказує на надлишок в суміші глини, і відповідно, на низьку газопроникливість.

Другим способом дослідження зразків на міцність є випробування на розрив сухих зразків. На розрив досліджують зразки, які мають форму вісімки (рис.8.18,б). Ущільнення їх проводиться за трьома ударами нормального лабораторного копра в окремій металічній роз'ємній формі, в яку входить відповідний фігурний бойок. Суміші досліджують також на згин, зріз. Для цього існують спеціальні прилади, за допомогою яких можна проводити комплексне дослідження на міцність при стисканні, розтягуванні, згині і зрізу в вологому і сухому стані.

В цехових лабораторіях суміші досліджують на поверхневу міцність і здатність до осипання. Для цього зразок закладають в сітчатий барабан 4 приладу (рис.8.21).

Барабан 4 обертається валом 3, який закріплений на станині 1. Обертання надається електродвигуном 2. Барабан обертається з частотою $60 \frac{об}{хв.}$ на протязі 1 хв. Поверхнева міцність виражається втратою маси зразка в відсотках (яка збирається в лотку 5) по відношенню до початкової маси.

Шосте випробування формувальної суміші – це визначення вогнетривкості. Вогнетривкість визначається температурою розм'якшення або оплавлення і температурою відшлакування або спікання зерен. Формувальні суміші досліджують на вогнетривкість так як і всі вогнетривкі матеріали.

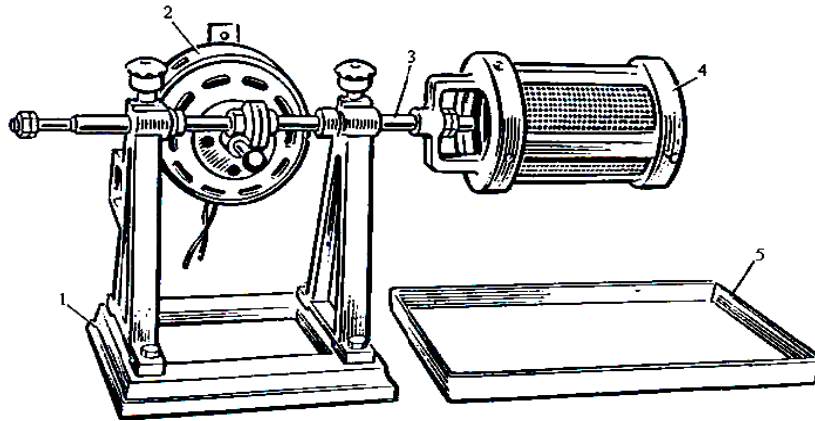


Рис. 8.21 Прилад для визначення поверхневої міцності суміші:
1-станина; 2-електродвигун; 3-вал; 4-сітчастий барабан; 5-лоток.

Спеціальні види лиття.

- 9.1. Відцентрове лиття.
- 9.2. Лиття під тиском.
- 9.3. Лиття за виплавленими моделями.
- 9.4. Лиття в оболонкові (коркові) форми.
- 9.5. Лиття в металеві форми (кокілі).

Виливки, які отримані в пісчано – глинистних формах мають значну неточність розмірів і низьку чистоту поверхні. В залежності від величини виливок допустимі відхилення за розміром і класу точності знаходяться в межах від $\pm 0,2... \pm 20$ мм. Тому ці виливки механічно обробляють і тому для них передбачені значні по величині припуски на механічну обробку. Зниження ваги заготовок, підвищення їх точності і зменшення припусків на обробку в ливарному виробництві досягається застосуванням спеціальних видів лиття.

9.1. Відцентрове лиття

Відцентрове лиття – це лиття в форми, які обертаються навколо вертикальної, горизонтальної або похилої осей. Рідкий метал заповнює порожнину форми під дією відцентрової сили. Метал який залитий у форму відкидається до стінок, розтікається по них і кристалізується. Після затвердіння утворюються виливки, які мають форму тіл обертання. Охолодження і кристалізація металу починається від стінок теплопровідної металевої форми (вливниці) і закінчується на внутрішній вільній поверхні

виливки. Така направлена кристалізація забезпечує отримання виливок вільних від неметалевих включень (шлаків, окислів, газів), які витісняються більш важким металом по внутрішній поверхні виливки і видаляються разом із припуском при механічній обробці, для чого припуск на обробку на внутрішню поверхнюзначається більшим, чим на зовнішню. При цьому не потрібно стержнів для отримання полів виливок, форма відтворює тільки зовнішній контур деталі. Коли внутрішня поверхня виливки має складну форму (виточки, пояски тощо) застосовують металеві форми, які всередині футеровані пісчано-глинистою або пісчано – смоляною сумішшю. Нанесення футеровки виконується формуванням по моделі або накатуванням роликком. При литті можуть бути застосовані піщані стержні.

Можливі три схеми відцентрового лиття (рис. 9.1). При будь – якій схемі вісь обертання може бути горизонтальною (А), вертикальною (Б), або похилою.

Перша схема найбільш поширена. За цією схемою отримують циліндричні виливки без застосування стержнів; отвори в вилівках утворює вільна поверхня під дією відцентрової сили. Другу і третю схеми, при якій немає вільної поверхні застосовують рідше, коли відцентрові сили використовують для підвищення щільності виливок чи покращення заповнення вузьких порожнин в формах.

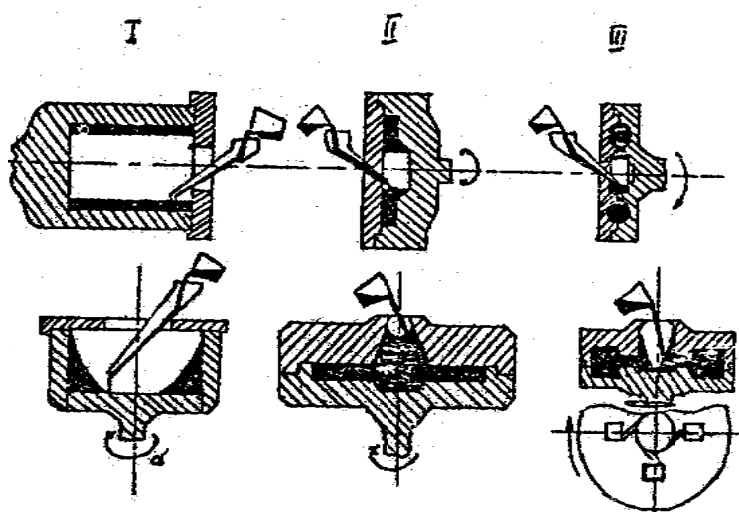


Рис. 9.1. Схеми відцентрового лиття:

А – горизонтальною віссю обертання; Б – вертикальною віссю обертання; I і II – вісь виливок співпадає з віссю обертання машин; III – вісь виливок суміщені з віссю обертання машин.

Вибір розміщення осі обертання (вертикальний чи горизонтальний) залежить від співвідношення розмірів висоти і діаметра виливок і як правило

проводять розрахунковим шляхом. Деталі, які мають висоту в декілька разів більшу діаметра (втулки, гільзи, труби тощо), відливають на машинах з горизонтальною віссю обертання. Виливки великого діаметра і малої висоти отримують на машинах з вертикальною віссю обертання.

Машину з горизонтальною віссю обертання застосовують двох типів. Шпиндельні (коли змінна чавунна або сталеві форма кріпиться до кінця шпинделя, який обертається від електромотора) і роликів, коли форма отримує обертання від роликів, на яких вона встановлена. Машина першого типу використовується для виробництва невеликих коротких виливок, масою до 100 кг, а машини другого типу – для більш важких виливок. При цьому для виготовлення довгих труб застосовують довгі жолоби, які переміщуються в процесі лиття, що дозволяє рівномірно розподілити метал по довжині виливниці.

У відцентрових машинах з вертикальною віссю обертання на залитий у форму 1 метал діють дві сили – відцентрова і сила тяжіння. Це приводить до того, що внутрішня поверхня приймає вигляд параболи 2 (рис. 9.2), внаслідок чого верхня частина стінки виливки є більш тонша чим нижня. Ця умова обмежує застосування машини з вертикальною віссю обертання. Їх застосовують переважно для виготовлення виливок, діаметр яких значно більший висоти.

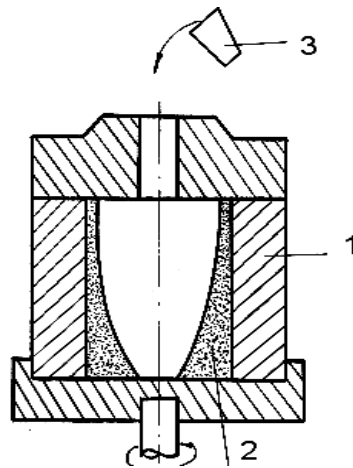


Рис. 9.2. Форма виливки при литті на відцентрових машинах з вертикальною віссю: 1-металева форма; 2-розплавлений метал; 3-тигель

Машини з вертикальною і похилою віссю обертання застосовують коли необхідна підвищена щільність виливок або необхідно заповнити вузькі порожнини у формі. Похила – використовується для зручності заливання металу при виготовленні виливок великої маси.

Послідовність виготовлення виливок на відцентрових машинах включає наступні операції:

1. Підготовка форми до заливання металом (покриття фарбою, підігрів і збирання). Для регулювання теплового режиму на робочу поверхню виливниці після попереднього підігріву (до 200 °С) наносять шар вогнетривкого покриття або хімічно активного покриття (феросиліцій, графіт, алюмінієвий порошок) з метою покращення властивостей поверхневого шару виливки;

2. Пуск машини (включення електродвигуна);

3. Заливання рідкого металу у форму, яка обертається з оптимальним числом обертів (заливання виконується мірним ківшем);

4. Зупинка машини (після повного затвердіння металу);

5. Розкриття форми (після зупинки машини);

6. Видалення із форми виливки (автоматичним виштовхувачем або вручну за допомогою розвідних кліщів);

7. Зачистка отриманих виливок.

Температура рідкого металу, який заливається у форму повинен бути на 100...150 °С вище температури плавлення.

Відцентровий спосіб лиття має ряд суттєвих особливостей. Розплав, який розподілився під дією відцентрових сил у вигляді полого циліндра (схема І з горизонтальною віссю рис.9.1), охолоджується з двох боків; з зовнішньої – 93...95% тепла віддає виливниці і з вільної поверхні (поверхні отвору) – 3...5% тепла випромінює у повітря. В середніх шарах метал залишається найбільш гарячим і значить, має меншу щільність.

Частинки розплаву, які охололи на вільній поверхні, як більш щільніші (більш важкі), направляються під дією відцентрових сил в радіальному напрямку до стінок виливниці і перемішуються в більш гарячому і легкому розплаві. Гарячий розплав витісняється на вільну поверхню частинками, які тонуть, і які можуть бути рідкими, але більш холодними.

Таким чином, при затвердінні розплаву в формі, яка обертається, на радіальному напрямку безперервно проходить конвекція. Вільна поверхня збагачується гарячим розплавом, що запобігає затвердінню його на цій поверхні. Вільна поверхня до останнього моменту затвердіння залишається рідкою і живить вилівок. Частинки, які стали важчими у полі відцентрових сил – друга найхарактерніша особливість відцентрового способу лиття, яка обумовлює отримання щільних виливок. Частинка розплаву, яка стала важчою у десятки разів, переміщується до фронту кристалізації і живить міжкристалічні порожнини, які безперервно утворюються при твердінні. При відцентровому литті вільна поверхня твердіє останньою, завдяки чому неметалеві і газові включення, як найбільш легкі, виносяться на внутрішню вільну поверхню. Виливки отримуються з меншою кількістю неметалевих включень.

Викладені уявлення про процеси, які проходять при кристалізації виливки у формі, яка обертається справедливі для більшості сплавів. Але, відцентрові сили можуть інколи виконувати від'ємні дії (наприклад,

заевтектичний силумін, який включає більше 12% кремнію). На початку твердіння такого сплаву виділяються кристали чистого кремнію, який легший алюмінію, і вони відцентровою силою відтісняються до вільної поверхні виливки. На ній, на відміну від загального правила утворюється тверда кірка. До кінця твердіння у середніх шарах будуть усадочні порожнини, а вільна поверхня збагачена кремнієм.

Для отримання якісних виливок необхідно знати оптимальну частоту обертання виливниці. Величина відцентрової сили залежить від числа обертів форми, маси розплаву, радіуса тіла обертання (виливки):

$$P = mw^2r,$$

де m – маса розплаву; r – радіус тіла обертання; w – кутова швидкість. Кутова швидкість зв'язана з частотою обертання.

$$w = \frac{\pi n}{30},$$

де n – число обертів форми.

Невелика швидкість обертання форми не забезпечує хорошої якості виливки з геометрично правильною вільною поверхнею, а висока швидкість приводить до утворення ряду дефектів в вилівках (тріщини на зовнішній поверхні, ліквациї тощо).

На частину розплаву, яка обертається діють дві сили: сила земного тяжіння – гравітаційна і відцентрова.

Найменше допустиме число обертів n , при якому вільна поверхня утворює циліндр з гладкою поверхнею і немає „дощування” (відриву капель розплаву від „стелі” і їх падіння) визначають із умови коли відцентрова сила повинна бути більша сили тяжіння.

Частоту обертання форми визначають в залежності від розмірів виливки і типу сплаву, із якого її відливають, від положення осі обертання. При цьому найменше допустиме число обертів n визначається в об/хв.

$$n = k_1 \frac{\pi}{30} \sqrt{\frac{g}{r_0}},$$

k_1 – коефіцієнт надійності, який дорівнює 1,5...2; r_0 – внутрішній радіус виливки; $g=9,8 \text{ м/с}^2$ – прискорення земного тяжіння.

Величина відношення відцентрової сили mw^2r до сили земного тяжіння mg отримала назву гравітаційного коефіцієнта k , який показує в скільки разів відцентрова сила більша сили тяжіння (звично $k=30...50$).

Якщо умовно застосувати „тяжність” до частинки, яка знаходиться під дією відцентрової сили, то в полі відцентрових сил ця частинка в десятки разів важча, ніж у полі земного тяжіння.

Розрахунок числа обертів горизонтальної циліндричної виливниці вираховується за формулою Л.С. Константінова:

$$n = \frac{5520}{\sqrt{\rho_1 r_0}},$$

де ρ_1 – щільність розплаву; r_0 – радіус вільної поверхні (внутрішній радіус) виливка.

Відцентровий спосіб лиття застосовують і для виготовлення мілких фасонних виливок, які не є тілами обертання. В цьому випадку форми з стержнями або без стержнів симетрично розміщують навколо центрального каналу (горизонтального або вертикального і з'єднуються з ними живильниками; вид III рис. 9.1). При обертанні цієї установки метал який заливається в центральний ливник відкидається в периферійні форми і заповнює їх під тиском відцентрової сили. Такий метод відцентрового лиття, коли вісь обертання форми не співпадає з геометричною віссю деталей які відливаються називається центрифугуванням.

Відцентрований спосіб лиття має ряд суттєвих переваг. Отримані виливки вільні від усадкових і газових раковин, чисті від шлаку, окислів та інших неметалевих включень, так як під дією відцентрової сили створюється тиск і проходить сепарація – витіснення легких неметалевих частинок до внутрішньої поверхні. Відсутність стержнів і робіт, які зв'язані з їх виготовленням значно підвищують продуктивність відцентрових машин. Відцентрове лиття не обмежується ні родом сплаву (цим методом можна відливати деталі із чавуна, сталі і кольорових металів), ні матеріалом форми (залиття може виконуватися в металеві і пісчані форми, сухі і сирі).

Відцентровим литтям отримують: тонкостінні чавунні труби (каналізаційні, водопровідні, газовідвідні, нафтоперегонні); сталі стволи гармат, сталі та кольорові гільзи, які використовуються для подальшого прокатування в суцільно тягнуті труби; втулки, обечайки для поршневих кілець, вінці, зубчасті колеса, гайки, кільця тощо; полі виливки масою до 50т, із яких виготовляють барабани котлів високого тиску; виливки з двохшаровими (біметалевими) стінками із різних металів. В цьому випадку сплави приготують в різних печах і потім заливають в одну і ту ж форму в певній послідовності один за другим через певний проміжок часу; валки для прокатування із білого і сірого чавуна, валки із нержавіючої сталі, підшипникові втулки, труби із вуглецевої і нержавіючої сталі; втулки і вінця із антифрикційних сплавів.

Точність виливок досягає 12...14 квалітетів, шорсткість поверхні $R_a = 12.5...1.6 \mu\text{м}$.

Таким чином відцентрове лиття має наступні переваги:

1. Цей вид лиття добре піддається механізації і автоматизації, забезпечує виготовлення виливок масою від декількох грамів до декількох тон;
2. Розплав добре заповнює форму;

3. Виливки мають підвищену щільність за рахунок зменшення пор, раковин та інших дефектів;
4. Виливки мають високі механічні властивості;
5. Можливість отримувати виливки з двох або декількох металів, які розміщуються шарами.

До недоліків цього виду лиття слід віднести:

1. Виливка повинна мати вісь обертання (неможливість лиття складної конструкції);
2. Забруднення внутрішньої поверхні виливок неметалевими включеннями;
3. Отримання нерівної внутрішньої поверхні виливок;
4. Введення для внутрішньої поверхні зрівняно великих припусків на механічну обробку.

9.2. Лиття під тиском

Суть лиття під тиском заключається в тому, що рідкий або напіврідкий метал подається в форму під тиском до 300 МПа. Форми і стержні виготовляють із легованих сталей. Цей спосіб найбільш продуктивний при виготовленні відносно невеликих виливок із кольорових сплавів з високою точністю за розмірами і чистотою поверхні. Розплавлений сплав швидко заповнює пресформу, твердіє і утворює виливку. Потім пресформа розкривається і готова виливка видаляється виштовхувачем. Для отриманих виливок механічна обробка незначна, або зовсім не потрібна. Литтям під тиском відливають деталі розмірами до 300мм, при цьому в пресформу подається до 2л металу. Виливки отримують з різьбою, отворами, тонкими стінками.

Сплав в виливках має мілкозернисту структуру внаслідок швидкого охолодження в сталій формі, тому міцність цих виливок деталей завжди вища міцності деталей, які отримані в пісчаних формах.

Найбільш поширені кольорові метали для цього виду лиття – це метали на основі міді, алюмінію, цинку, магнію, свинцю і олова.

Тиск створюють спеціальні машини, які діляться на дві основні групи: поршневі і компресорні. В свою чергу поршневі поділяються на: поршневі з холодною горизонтальною камерою пресування, поршневі з холодною вертикальною камерою пресування, поршневі з гарячою камерою пресування.

В поршневих машинах з холодною горизонтальною камерою пресування (рис.9.3.) пресформа складається з рухомої і нерухомої частини, які відповідно закріплені на рухомій 3 і нерухомій 5 плитах машини або спеціальними скобами. Для подачі розплаву в форму служить заливочний стакан 6, пресуючий поршень 7, який приводиться в рух гідроциліндром 8.

Рухому напівформу 4 переміщує запірний механізм 2, який приводиться в рух гідроциліндром 1 до з'єднання з нерухою половинкою пресформи.

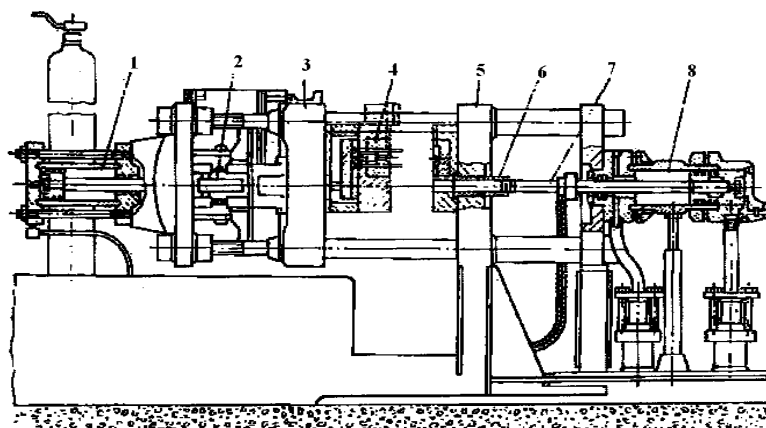


Рис.9.3. Поршнева машина з холодною горизонтальною камерою пресування: 1,8-гідроциліндр; 2-запірний механізм; 3-рухома плита машини; 4-рухома напівформа; 5-нерухома плита машини; 6-заливочний стакан; 7-пресуючий поршень.

Перед заливкою розплавленого металу проходить підігрів пресформи, заливочного стакана і пресуючого поршня. Температура нагріву пресформи залежить від сплаву, який заливається: для цинкового сплаву 200°C , для алюмінієвого – $160\text{...}180^{\circ}\text{C}$, для латуні $200\text{...}220^{\circ}\text{C}$. Підігріта пресформа змащується спеціальними змащувальними матеріалами.

Послідовність отримання виливок наведено на рисунку 9.4 і вона включає чотири етапи. На першому етапі (рис.9.4, а) розплав ківшем 8 заливається в пресовий стакан 2. На другому етапі (рис.9.4, б) включається механізм запресовки і поршень 1, який рухається в пресовому стакані 2 витісняє розплав через робочу порожнину 3 в порожнину форми і витримується в формі декілька секунд до затвердіння. Пресовий стакан кріпиться в нерухомій плиті 7. Поверхня виливки формується матрицею 6 і стержнем 5. На третьому етапі (рис.9.4, в) форма розкривається за рахунок переміщення рухомої напівформи 4. На четвертому етапі виливка 9 виштовхується штовхачами 10 при взаємодії з упором 11.

Тиск поршня на рідкий метал складає від 40 до 200 Мпа, маса виливок – до 45 кг.

Перші дві-три виливки переплавляють тому, що вони мають дефекти.

В машинах з горизонтальною камерою пресування менше охолоджується рідкий метал і менший його гідравлічний тиск при заповненні форми по зрівнянню з машинами з вертикальною камерою. Ці машини мають більшу продуктивність і простіші в обслуговуванні.

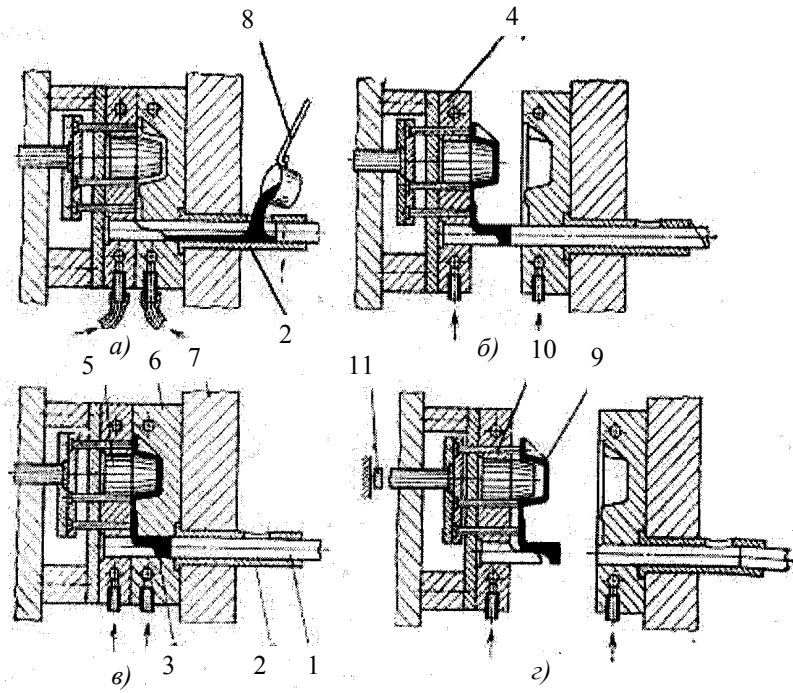


Рис.9.4. Послідовність процесу лиття під тиском з горизонтальною холодною камерою пресування: а-заливання розплаву; б-запресування; в-розкриття форми; г-виштовхування виливки.

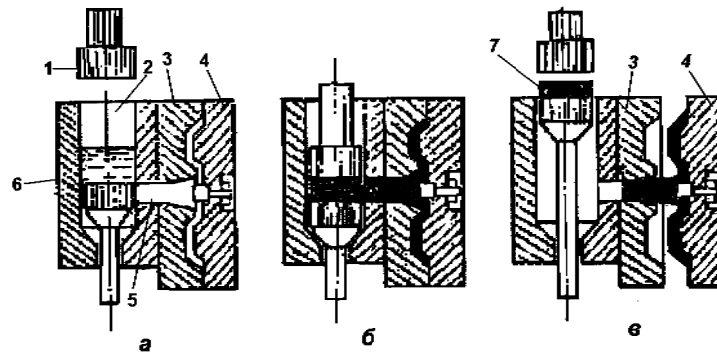


Рис.9.5. Послідовність процесу лиття під тиском з холодною вертикальною камерою пресування: а-заливання розплавленого металу; б-робочий хід пресуючого поршня; в-видалення виливки.

В поршневих машинах з холодною вертикальною камерою пресування (рис. 9.5, а) при заливанні дози розплавленого металу в камеру стиснення 2 нижній поршень (п'ята) 6 перекриває ливниковий канал 5 пресформи. Пресформа складається з лівої 3 і правої 4 частинок. При робочому ході пресуючого поршня 1 (рис.9.5,б) п'ята опускається вниз, відкриває ливниковий канал і метал запресовується в пресформу. Потім пресуючий поршень і п'ята переміщуються вгору (рис.9.5в), при цьому п'ята відрізає від ливника залишок металу 7 і видаляє його із камери пресування. Одночасно з цим пресформа розкривається і вилівка видаляється. Пресуючий поршень і п'ята повертається в вихідне положення.

В машинах з холодною камерою пресування виливають сталь, латунь, алюмінієві, магнієві та інші кольорові сплави.

В поршневих машинах з гарячою камерою стиснення (рис.9.6.) метал в пресформу 7 подається під тиском поршня 2 через мундштук 1.

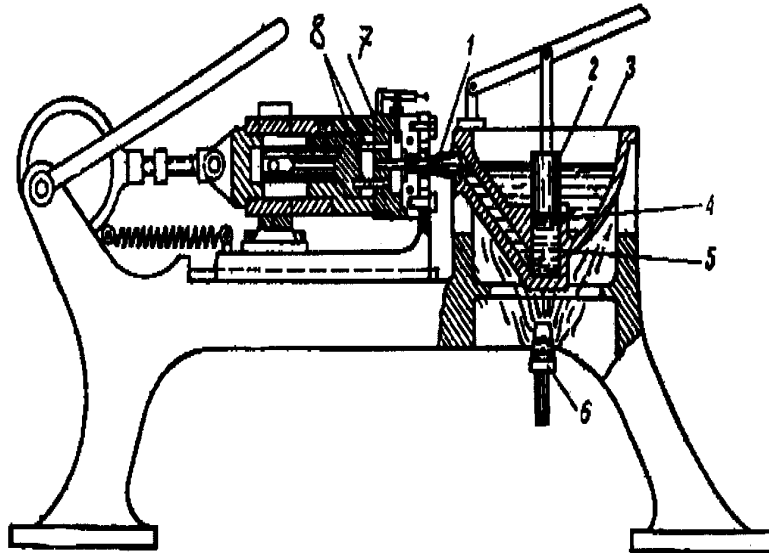


Рис. 9.6. Поршнева машина з гарячою камерою пресування:

1-мундштук; 2-поршень; 3-тигель; 4-отвір через який поступає метал; 5-циліндр; 6-пальник; 7-пресформа; 8-штовхачі для видалення вилівки.

Розплавлений метал заливають в тигель 3, який підігрівається за допомогою пальника 6. В циліндр 5 метал поступає через отвір 4. При русі поршня 2 вниз він перекриває цей отвір і сплав під тиском заповнює пресформу 7. Після затвердіння вилівки поршень повертається в вихідне положення, надлишки металу із каналу зливаються в камеру пресування. Вилівка видаляється із пресформи штовхачами 8. Величина тиску при литті знаходиться в межах від 10...30 МПа і такі машини застосовують для лиття із

свинцево-сурм'янистих, олов'яних, цинкових, магнієвих і алюмінієвих сплавів з невисокою температурою плавлення і малоагресивних до матеріалів тигля і камери пресування. Завдяки малому охолодженню сплавів при заповненні пресформи на таких машинах можна отримувати деталі масою від декількох грамів до 30 кг, при цьому продуктивність в автоматичному режимі становить до 3000 виливок на годину.

Компресорні машини застосовують для лиття алюмінієвих, цинкових, свинцево-сурм'янистих і олов'яних сплавів, в яких тиск на метал виконується стисненим повітрям або інертним газом. Ці машини можна розділити на машини з гузнеком, машини невисокого тиску і машини низького тиску. На рис.9.7 наведена схема однієї із найбільш поширеної конструкції машини з камерою стиснення (гузнеком) в положенні коли метал заповнює його (рис.9.7, а) і коли метал витискається в металеву пресформу (рис.9.7, б).

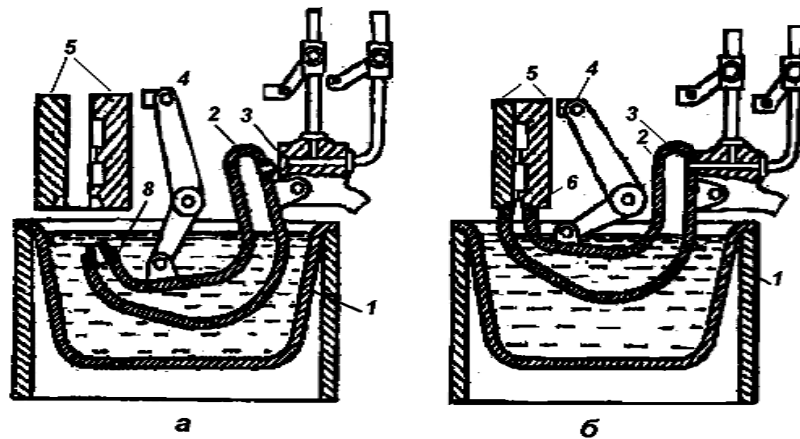


Рис. 9.7. Схема будови і роботи компресорної машини з гузнеком: а-положення коли метал заповнює гузнек; б-положення коли метал витискається в металеву пресформу.

У відкритій ванні 1 з рідким металом знаходиться рухома камера стиснення – гузнек 2, який за допомогою системи ричагів 4 може опускатися в ванну для заповнення металом, а потім піднімається і входить своїм мунштуком 6 в ливник форми 5. В цей момент коли мунштук гузнека притиснутий до ливника форми, хвостова частина його впирається в клапан подачі стиснутого повітря 3, який при цьому автоматично відкривається і метал під тиском повітря витисняється із гузнека в форму. Потім повітря із гузнека випускається, форма розкривається і виймається виливка.

На рис. 9.8 наведена схема компресорного лиття під невеликим тиском.

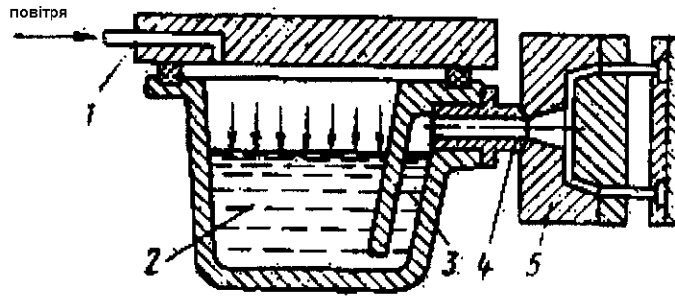


Рис.9.8. Схема компресорного лиття під невеликим тиском:
1-трубопровід; 2-тигель; 3-металопровід; 4-мундштук; 5-пресформа.

Стиснене повітря або інертний газ подається по трубопроводу 1 в тигель 2 і тисне на розплав металу, який витискається по металопроводу 3 через мундштук 4 в пресформу 5. Після охолодження подача повітря або інертного газу припиняється, форма розкривається і виймається виливка.

На рис. 9.9 наведена схема компресорного лиття під низьким тиском (до 0,1 Мпа) Цей спосіб дозволяє значно зменшити витрати металу на ливникові системи, покращити заповнюваність форми і підвищити щільність виливок.

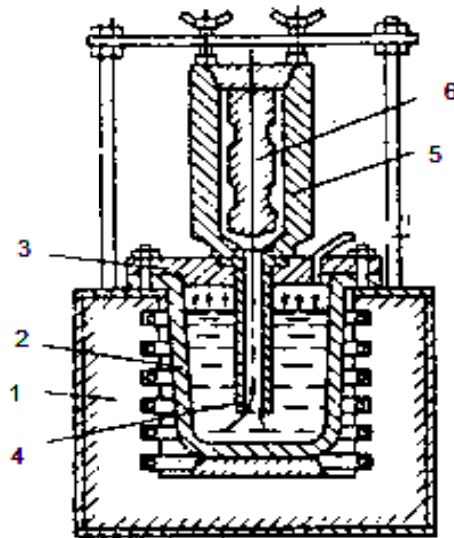


Рис. 9.9. Схема компресорного лиття під низьким тиском:
1-піч; 2-тигель; 3-кришка; 4-канал по якому підіймається метал; 5-металема форма; 6-стержень.

По цій схемі можна заливати звичайні пісчано-глинисті форми, комбіновані форми (металеві з пісчаним стержнем), кокілі.

Розплав металу із тигля 2 печі 1 під тиском повітря або газу піднімається по каналу 4 в металеву форму 5, яка закріплена на кришці 3 печі. Внутрішня поверхня виливки формується стержнем 6. Після твердіння і охолодження виливки подача повітря або інертного газу припиняється (повітря або газ із установки випускається в атмосферу). Залишки розплаву металу зливаються в тигель.

Лиття під тиском має своє суттєві переваги над іншими видами лиття. Тиск, який витісняє метал у пресформу збільшує рідкотекучість металу, при цьому краще заповнюється форма, вилівка досить точно відтворює всі контури форми (в деяких випадках обробка різанням заготовки не потрібна, або зводиться до мінімуму). Також перевагою лиття під тиском є висока якість поверхні виливки, значна економія сплавів, зниження трудоемкості і собівартості виливок.

Лиття під тиском має і недоліки. Тому що розплав металу дуже швидко (долі секунди) заповнює пресформу, то при цьому швидко закупорюються вентиляційні канали і з їх порожнини неповністю виділяється повітря і газу, які утворилися від випаровування і згоряння змащувального матеріалу. При цьому в виливках з'являється газова пористість.

Тонкі по перерізу ливники затвердівають раніше виливки і живлення розплавом зупиняється до завершення усадки. При цьому усадка проявляється в збільшенні об'єму газових пор. Тому виливки мають специфічний дефект – газоусадкову пористість, що приводить до пониження щільності виливок і пониження пластичності.

Як правило виливки не піддають термічній обробці тому, що при нагріванні внаслідок розширення газових пор поверхня металу може вспучуватись.

Обладнання для лиття під тиском має досить високу вартість, що зумовлює застосування цього способу тільки для великих серій виливок.

Литтям під тиском можна отримувати виливки тільки із легкоплавких сплавів (алюмінієвих, магнієвих, цинкових і латунних) масою до 50 кг.

Найбільш економічно вигідним є лиття під тиском в масовому виробництві складних фасонних тонкостінних виливок із кольорових сплавів - деталей приладів, автомобілів, тракторів, літаків тощо.

9.3. Лиття за виплавленими моделями

Суть лиття за виплавленими моделями заключається в тому, що моделі виготовляють із легкоплавких матеріалів шляхом запресовки їх в точні металеві пресформи. Отримані моделі є точною копією майбутніх виливок. На поверхню моделей наносять тонкі вогнетривкі оболонки з яких виплавають модель. Після сушки і відпалу оболонок їх встановлюють в

спеціальні опоки і обсипають піском і заливають металом. Після охолодження виливки виймають із опок, очищають від керамічних оболонок, звільнюють від ливників і зачищають.

У виробництві використовують легкоплавкі моделі складу типу ПС (50% парафіну і 50% стеарину). Формувальними матеріалами для оболонкових форм служать суспензії і пісок. Суспензія – це рідкий зв'язник (типу гідролізованого розчину етилсилікату, рідкого скла тощо) і вогнетривкого наповнювача, яким може бути пиловидний кварц, корунд, магнезит тощо. Для обсипки першого шару, який наноситься на модель застосовують дрібнозернистий кварцевий пісок, наступний шар – більш крупніший. Крім кварцевого піску для обсипки можна застосувати плавлений кварц, шамот, корунд тощо.

Пресформи відливають по еталону із легкоплавких сплавів, таких як свинцево-олов'янистих, свинцево-сурмистих, силумінових та інших сплавів. Пресформи також можуть бути отримані механічною обробкою сталейних заготовок. Вони більш дорогі, але і більш довговічні і забезпечують більшу точність і чистоту моделей. Відповідно і виливки будуть мати більшу точність і чистоту поверхні. Складні пресформи мають стержні і від'ємні частини. Пресформи можуть бути одногніздові, які виготовляються із гіпса, дерева, пластмаси, із сплавів на основі свинцю, олова, цинку, алюмінію при малосерійному виробництві, і багатогніздові, які виготовляються із сталі і алюмінієвих сплавів, при серійному виробництві. Для масового виробництва пресформи також виготовляють із сталі. Пресформи виготовляють обробкою різанням або литтям з наступною доводкою. В більшості випадків конструкція пресформи отримується складна, яка складається із декількох частин з'єднаних між собою. Для видалення моделей із пресформи передбачені спеціальні виштовхувачі. Для сталейних пресформ застосовується сталь 3 і сталь 45, також для виготовлення пресформ можуть застосовуватися епоксидні смоли ЕД 5, ЕМ 5 і гума. Матеріал для пресформ вибирають в залежності від необхідного числа моделей і прийнятої технології виготовлення пресформи, які виготовлені із сталі і витримують біля 100000 з'ємів моделей, із цинко-алюмінієво-мідних сплавів – до 50000.

В якості вихідних матеріалів модельного складу, який запресовують в пресформу використовують парафін, стеарин, церезин, буровугільний воск, торф'яний бітум, жирні кислоти, озокерит, каніфоль, полістірол тощо. Модельний склад подається в зібрану пресформу в рідкому, або пастоподібному стані вручну за допомогою шприца чи спеціальним пресом.

Модельний склад повинен мати спеціальні властивості: температуру плавлення 60...100⁰С; температури початку розм'ягчення вищу за температуру робочого приміщення і не нижче 35...45⁰С; мінімальну і стабільну лінійну усадку, а також мінімальний об'єм і лінійне розширення; гарну рідкотекучість; міцність і твердість, які необхідні для збереження поверхні моделей від пошкоджень; мінімальну зольність і неприлипність до пресформ,

інструменту, рук; хімічну інертність по відношенню до матеріалів пресформ і покриття; не виділяти шкідливих парів при нагріванні і згорянні; добру змочуваність облицювальним складом; можливість багаторазового використання.

Найбільш широко застосовують модельні склади: ПС 50-50 (50% парафіну, 50% стеарину), ПС 70-30 (70% парафіну, 30% стеарину), ПЖК 50-50 (50% парафіну, 50% жирних кислот) тощо. Перших два склади рекомендується застосовувати для виготовлення більш точних моделей.

Модельний склад виготовляють в спеціальних термостатах (рис.9.10), який підігрівається гарячою водою і відбувається розплавлення всіх компонентів. В резервуарі 2 знаходиться робочий бак 1. Резервуар заповнений водою, бічна поверхня і дно якого підігрівається електричною спіраллю 3. В робочий бак вмонтовані крани 4 і 5 для випуску готового модельного складу і випуску грязьового залишку, який осів на дно. Вода випускається через кран 6. Для контролю температури модельного складу і води використовуються термометри 7, що встановлені в кришці 8 бака.

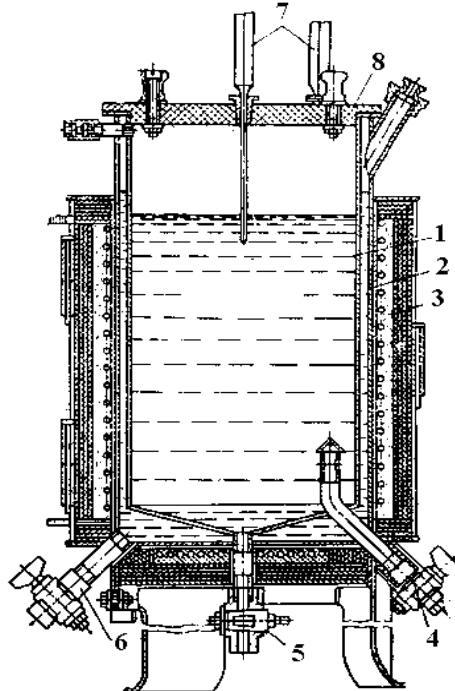


Рис.9.10. Термостат з водяним підігрівом:
1-робочий бак; 2-резервуар; 3-електрична спіраль; 4-кран для випуску готового модельного складу; 5-кран для випуску грязьового залишку; 6-кран для випуску води; 7-термометр; 8-кришка.

Для доведення модельного складу до пастоподібного стану і насичення його повітрям його перемішують в мішалках на протязі 30 хв. Готовий модельний склад поступає в збірник, звідки подається для виготовлення моделей.

Технологічний процес приготування модельного складу залежить від компонентів, що входять до його складу.

Вихідний матеріал для модельного складу перед плавленням очищають від бруду, подрібнюють, зважують у певних пропорціях і завантажують в бак агрегату. Нагрітий до 80...85⁰С модельний склад перемішують і витримують на протязі 15...20 хв. для осідання бруду. Розплавлену масу фільтрують, зливають в чисту ємкість і перемішують до пастоподібного стану. Потім паста охолоджується і при температурі 42...45⁰С її передають на дільницю виготовлення моделей.

Модельна оснастка включає моделі виливки і моделі елементів ливникової системи, які об'єднані в блоки.

Моделі деталей типу тіл обертання (рис.9.11) отримують шляхом запресування модельного складу в пресформи (рис. 9.12) Процес виготовлення моделей включає наступні операції: підготовку пресформи, запресування модельного складу, охолодження модельного складу в пресформі, видалення моделі. Підготовка полягає в тому, що робочу поверхню пресформи очищують від модельного складу і змашують. Запресовування модельного складу виконують за допомогою спеціальних пресів і шприців. Пресформи охолоджують водою і після затвердіння модельної маси пресформу розкривають і модель виштовхують у ванну з водою.

Після повного охолодження моделі контролюють (вони не повинні мати тріщин, повітряних раковин, короблення, заусениць). Потім моделі збирають в модельні блоки з загальним стояком (декілька моделей приєднують до однієї ливникової системи і утворюють блок моделей рис.9.13). В одиночному і дрібносерійному виробництві модель припаюють нагрітою пластинкою до стояка, який виготовлений із модельної маси.



Рис. 9.11. Готова деталь.

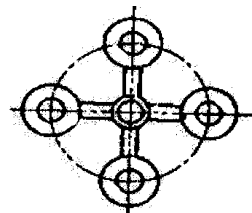


Рис. 9.12. Запресовка модельного складу в пресформи.

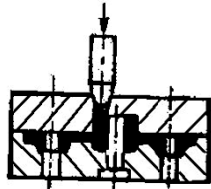


Рис. 9.13. Блок моделей з загальним стояком.

В умовах масового виробництва моделі виготовляють разом з живильником і елементом стояка в вигляді кільця, які потім збирають на каркасі. На рис. 9.13 показаний блок, який складається із чотирьох моделей.

На отримані блоки наносять вогнетривкі покриття по 2...3 або 5...6 раз звичайно методом занурення в рідкий розчин (рис.9.14). Після кожного нанесення покриття блоки присипають відпаленим кварцевим піском і сушать (рис.9.15). Присипка запобігає стіканню фарби, прискорює сушку, потовщує і зміцнює оболонку. Для обсіпки піском застосовують спеціальні пікосипи чи автоматичні установки для обмазки і обсіпки модельних блоків. Сушка шару покриття виконується на повітрі протягом 2...2,5 годин. Для скорочення тривалості операції застосовують спеціальні автоматичні установки, в яких блоки підсихають за 20хв в середовищі аміаку (NH_3).

Вогнетривку оболонку виготовляють із гідролізованого розчину етилсилікату і вогнетривкого пилоподібного наповнювача. Вона повинна бути досить міцною, газопроникливою, піддатливою, хімічно інертною по відношенню до металу і легко руйнуватися після затвердіння виливки.

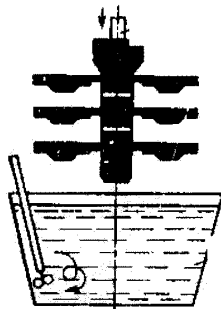


Рис. 9.14. Нанесення вогнетривкого покриття

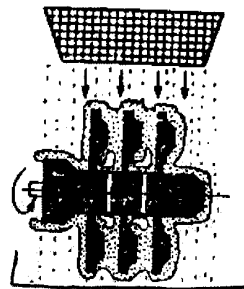
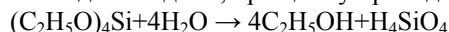


Рис. 9.15. Присипка кварцевим піском

Основою гідролізованого розчину етилсилікату є ефір ортокремнієвої кислоти, який включає 28...45% SiO_2 . Для надання важучих властивостей

технічний етилсілікат $(C_2H_5O)_4Si$ піддають гідролізу в середовищі розчинника і в присутності каталізатора. Гідроліз проводять в водному середовищі. Для розчинника етилсілікату в воді до нього і до води додають загальний розчинник. В якості розчинника використовують технічний ацетон, спирт або етиловий спирт C_2H_5OH . Каталізатором виступає хімічно чиста або технічна соляна кислота. Наповнювачем є штучний або природний пілоподібний кварц. Для вогнетривкого покриття застосовують пісок марок ПК-1, ПК-2, ПК-3.

Гідролізований розчин виготовлюють в спеціальних пристроях, які складаються із двох циліндричних резервуарів, розміщених один у другому. У внутрішньому резервуарі змішують етилсілікат і спирт. В зовнішньому знаходиться вода для охолодження. Перемішування виконується мішалкою пропелерного типу. Після 1...2хв у внутрішній резервуар завантажують пілоподібний кварц і перемішують на протязі 3...5хв до розчинення, а потім заливають розчин соляної кислоти у воді. Перераховані вище компоненти перемішують на протязі однієї години, при цьому проходить реакція:



Утворена ортокремнієва кислота H_4SiO_4 розпадається з виділенням геля $2H_2O \cdot SiO_2$, який і є звязуючим матеріалом вогнетривкого покриття.

Для отримання 1 кг розчину необхідно 600 г етилсілікату, 300 г спирту і 100 г води, в якій знаходиться 0,3...0,7% соляної кислоти. Кількість пілоподібного кварцу (прожареного при $900^{\circ}C$) знаходиться в межах 70...75% по відношенню до маси розчину в залежності від конфігурації і розмірів моделей.

Виплавку модельного складу із оболонок проводять гарячою водою, паром або нагрітим повітрям. Частіше застосовують гарячу воду при температурі $80...85^{\circ}C$ (рис. 9.16). Пристрій для виплавлення моделей є бак з водою, який підігрівается. Модельні блоки занурюють у нагріту воду і витримують до повного виплавлення модельного складу, який спливає на поверхню ванни і періодично відводиться для нового використання. Повернення модельного складу при виплавленні його водою досягає 95...98%.

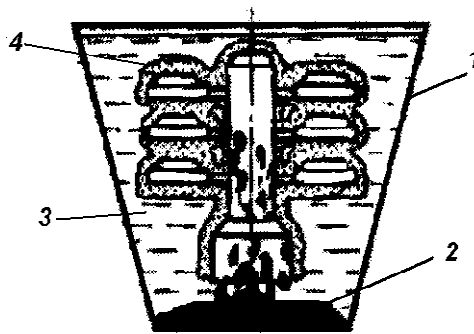


Рис. 9.16. Виплавка модельного складу із оболонок:
1-бак; 2-модельний склад; 3-вода; 4-оболонкова форма

Повернений модельний склад відновлюють шляхом кип'ятіння на протязі 30хв з 40%-вим розчином HCl .Після виймання модельних блоків із гарячої ванни їх промивають чистою водою для видалення залишків модельного складу, потім сушать на повітрі протягом 8...10 год, або в спеціальних сушильних шафах на протязі 1,5...2 год при температурі 200⁰С. В процесі сушки і наступного прожарювання спирт і вода випаровуються, при цьому підвищується міцність і газопроникність оболонкових форм.

Багатошарову тонкостінну оболонкову форму для зміцнення перед заливанням розплавом розміщують в металевий контейнер і засипають вогнетривким кварцевим піском або відходами використаних оболонкових форм (рис.9.17). Для більшої стійкості оболонок після формовки на сухий пісок кладуть шар глини. Потім контейнер встановлюють в піч для прожарювання форми при 800...900⁰С на протязі 2...3год. Для точного заповнення конфігурацій форм металом заливання виконують перегрітим сплавом, який випускається безпосередньо із електропечей.

Доцільно застосовувати відцентрове заливання металу, коли контейнер закріплюється на столі відцентрової машини (рис.9.18). Заповнення форм виконують зразу після видалення їх із печей, при цьому температура форми повинна бути не нижче 700⁰С. Чим складніша виливка, тим вища температура форми.

Після заливання форми охолоджуються на протязі часу, який залежить від маси виливки. Вибивання охолоджених форм легко виконується при перевертанні опок.

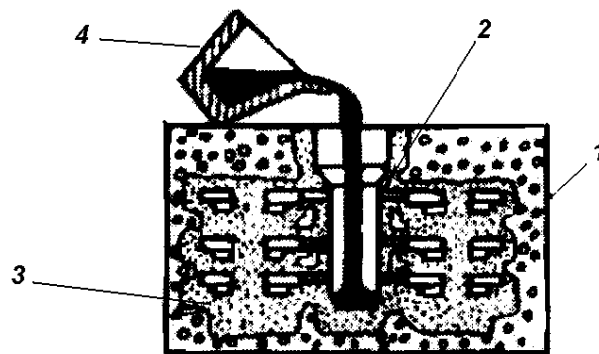


Рис. 9.17. Заливка оболонок розплавом:
1-металевий контейнер; 2-оболонкова форма; 3-вогнетривкий кварцевий пісок; 4- тигель з розплавленим металом.

Очистку лиття від силікатних оболонок виконують на пікоструйних або дробоструйних установках, пневматичних вібраторах. Але з отворів і різних внутрішніх порожнин оболонка видаляється важко. Тому кінцева очистка виконується хімічною обробкою в водяному розчині лугів (NaOH, KOH). Після такого травлення виливки промивають і сушать. Попередньо ливники видаляють за допомогою ножівок, дискових пил, фрез, відрізних штамів, газових горілок і анодно – механічної різки. Також відокремлення деталі від загального стояка можна виконувати на спеціальних пресах. Остання операція - це зачистка місць підводу живильників.

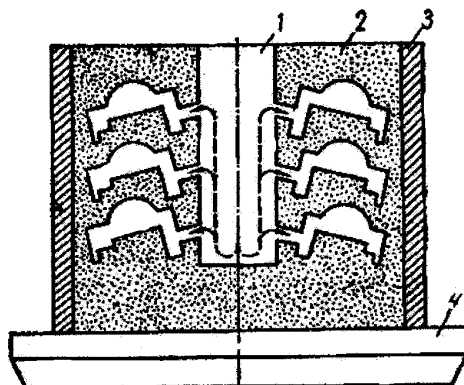


Рис 9.18. Блок форм, підготовлений до відцентрового заливання:
1 -центральный ливник; 2-пісок; 3-контейнер; 4-стіл відцентрової машини.

Лиття за виплавленими моделями є одним з найбільш точних видів лиття. Він дозволяє отримувати складні за конфігурацією і тонкостінні (до 0,3 мм) виливки масою від декількох грамів до десятків кілограмів практично

ізлюбих металів і сплавів. Точність виливок може досягати $9 \dots 10^0$ квалітетів, а шорсткість поверхні $R_a = 25 \dots 1,6$ мкм. Висока точність виливок обумовлена відсутністю роз'ємів в моделі і оболонковій формі, відсутністю стержнів і операцій механічного видалення моделі із форми.

Лиття за виплавленими моделями є високомеханізованим і автоматизованим процесом, який економічно вигідний для будь-якого із типів виробництва.

Недоліком лиття за виплавленими моделями є значна трудоемкість і складність технологічного процесу.

9.4 Лиття в оболонковій (корковій) формі.

Суть лиття в оболонковій (корковій) формі полягає в тому, що на металеву, підігріту до $200 \dots 250^0\text{C}$ нижню модельну плиту наносять тонкий шар суміші піску з термореактивним закріплювачем. Під дією тепла плити суміш оплавляється і точно копіює конфігурацію моделі. При подальшому нагріванні модельної плити до 300^0C закріплювач твердіє і цементує зерна піску в міцну кірку, яку знімають і скріплюють з верхньою напівформою. Таким чином утворюється тонка оболонкова форма, утворена із двох попередньо скріплених напівформ. Після заливки в цю форму металу, його затвердіння і охолодження, він зберігає конфігурацію моделі, по якій виготовлялись напівформи.

Матеріалом для оболонкових форм служать: кварцеві, цирконієві піски, хроміт і ряд вогнетривких матеріалів, а також граніт з мінімальним вмістом шкідливих домішок. Від зернового складу піску залежить чистота поверхні виливок: чим дрібніший пісок, тим менша шорсткість поверхні виливок. В якості зв'язки застосовують термореактивну фенолформальдегідну смолу – пульвербакеліт в суміші з уротропіном, який вводиться для прискорення твердіння. При формуванні оболонки під дією теплоти (200^0C) пульвербакеліт розплавляється. Товщина оболонки, в якій пульвербакеліт встигає розплавитися і зв'язати зерна піску між собою залежить від температури модельної плити і часу витримки. В період твердіння оболонки при температурі 300^0C пульвербакеліт переходить в тверду незворотну фазу. Кількість пульвербакеліта в піску коливається в межах $5 \dots 10\%$ в залежності від зернового складу піску. Для отримання однорідної суміші піску з пульвербакелітом і запобігання пилоутворення застосовують спеціальні зволожувачі, які змочують пісок і утримують частинки смоли на поверхні пісчинок. Такими зволожувачами є керосин, парафін, машинне масло. Кількість зволожувача береться в межах $0,3 \dots 1,5\%$ маси суміші.

Щоб утворена оболонка легко відокремлювалася від поверхні моделі і стержневого ящика їх попередньо обробляють спеціальними розчинами. Перш за все декілька раз обезжирюють розчинником з проміжковим підігрівом до $150 \dots 300^0\text{C}$. Потім робочу поверхню моделі і плити покривають

тонким шаром роздільного складу, таким як силіконова рідина (кремнійорганічний склад розчинений в ацетоні або толуолі). Ця рідина утворює на поверхні моделі інертну роздільну плівку, яка не розкладається і не обвуглюється при високій температурі. Також можна застосовувати 3...4% розчин каучуку СКТ в уайт-спирті. Цей розчіплювач наносять на поверхню моделі пульверізатором (це покриття забезпечує знімання 25...50 оболонок).

Оболонкові форми складають так як і пісчані форми. Напівформи складають по контрольних знаках, які спеціально передбачені в площині з'єднання, яке виконується за допомогою пульверізатора чи клею на основі мочевиноформальдегідної смоли.

Модельна оснастка для виготовлення оболонкових форм включає моделі, підмодельні плити, ящики для формування стержнів, пристрої для знімання оболонок з підмодельної плити. Моделі і стержневі ящики виготовляють із сірого чавуну, який добре обробляється, має високу стійкість при попереминому повторенні нагріву і охолодження, має добрий опір абразивному зносу суміші. Модельну оснастку також можна виготовляти із сталі, алюмінієвих і мідних сплавів. Товщина модельних плит знаходиться в межах 15...20мм, а товщина стінок моделей повинна бути не менша 12мм. Нахили на вертикальних стінках моделі повинні становити $0.5...1^{\circ}$, знакових частинах, елементах ливникової системи і стержневих ящиках $2...5^{\circ}$. Модель повинна мати ребра жорсткості товщиною 0,7...1 товщини стінок моделі для запобігання короблення. Частини моделі, які швидко охолоджуються роблять суцільними, а шорсткість поверхні повинна знаходитися в межах $Ra = 25...12,5\text{мкм}$.

Штовхачі для знімання оболонок розміщуються на відстані не менше 3мм від вертикальних стінок по зовнішньому контуру моделі, їх висота відповідає висоті моделі. На 100 см^2 площини плити повинно бути один-два штовхачі. Припуски на обробку назначають в межах 0,25...3 мм (коли деталь тільки шліфується 0,25...0.5мм).

Нанесення суміші на модель виконують за допомогою обертового бункера або піскодувним способом. Технологічний процес виготовлення оболонкової форми за допомогою обертового бункера наведений на рис. 9.19.

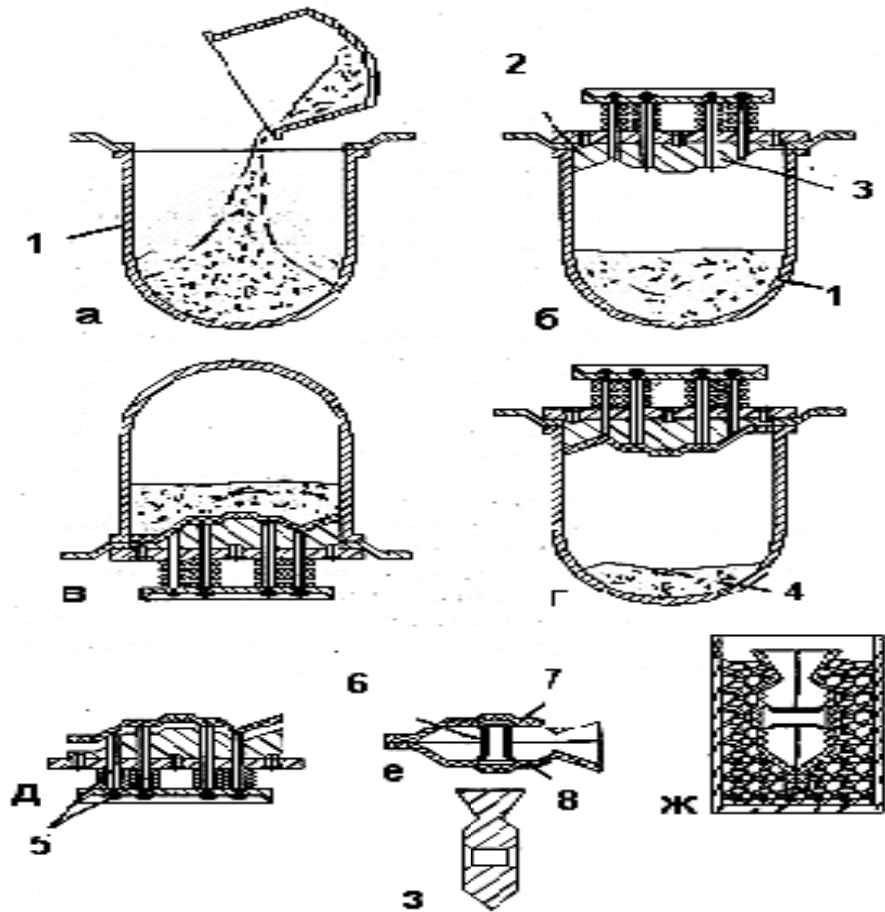


Рис.9.19. Технологічний процес виготовлення оболонкової форми:
 а-засипка в бункер термореактивної суміші; б-встановлення в отвір бункера модельної плити; в-повертання бункера; г-повернення бункера в вихідне положення; д-знімання оболонки з плити; е-збирання форми; ж-встановлення форми в упаковку; з-отримана виливка.

В бункер 1 (рис. 9.19, а) засипають термореактивну суміш. Металеву модельну плиту з моделлю ливникової системи 2 і моделлю виливки 3 нагрівають до $200...250^{\circ}\text{C}$, покривають роздільним складом і вставляють в отвір бункера 1 (рис.9.19, б). Бункер повертають на 180° (рис. 9.19, в), суміш падає на гарячу плиту, і на протязі 20...30 секунд оплавляється і нарощує на моделі оболонку товщиною 5...10мм. Потім бункер повертається в вихідне положення (рис.9.19, г), лишня неоплавлена суміш 4 падає в бункер, а модельна плита з оболонкою знімається, повертається і розміщується в іншу

під на 40...50 секунд, де при температурі 280⁰...320⁰С проходить кінцеве затвердіння оболонки. Після видалення із печі оболонку-напівформу за допомогою штовхачів 5 (рис. 9.19, д) знімають із плити.

Оболонкові стержні виготовляють наступним чином. Термореактивну суміш засипають в підігріту порожнину металевого ящика. Після утворення на його стінках оплавленої кірки лишню суміш висипають, ящик подають в іншу піч для затвердіння оболонки. Після закінчення цього процесу стержень виймають. Стержні для оболонкових форм виготовляють або суцільними, або оболонковими(полими).

При збиранні форми встановлюють стержень 6 (рис. 9.19, е) в спеціальні впадини на напівформах 7 і 8, суміщають їх за допомогою передбачених виступів і впадин, попередньо наносячи клей по площині роз'єму. Напівформи додатково скріплюють затискачами. На заливання металом мілкі форми поступають без упаковки, а великі встановлюють в металеві ящики і упаковують піском або металевим дробом (рис. 9.19, ж). Ковшем в форму заливають розплав металу.

Вибивання і очистка виливок при литті в оболонкові форми є простою операцією, тому що на виливках відсутній пригар, а ливники і додатки мають малі розміри. В процесі заливання металу в формах вигоряє смола і тому вони легко руйнуються під час видалення виливки (рис. 9.19, з).

Лиття в оболонкові форми можна застосовувати для усіх видів сплавів. При цьому виді лиття набагато знижуються витрати формувальних матеріалів, підвищується точність отриманих виливок (до 12...13^{го} квалітетів), шорсткість поверхні виливок становить Ra=50...3,2мкм, підвищується продуктивність праці і знімання виливок із одиниці площі цеха. Маса виливок в основному становить 5...15кг, в окремих випадках може досягати 100 кг.

Основним недоліком цього виду лиття є зрівняно велика вартість пісчано-смоляних сумішей.

9.5. Лиття в металеві форми (кокілі)

Суть лиття в кокілі заключається в отриманні литих деталей шляхом вільної заливки розплаву в металеву форму. Металева форма (кокілі) використовується багаторазово і формує конфігурацію і властивості виливки. При цьому пісчана суміш може використовуватися тільки для виготовлення разових стержнів. Також стержні можуть бути металеві. При виготовленні виливок із кольорових металів частіше застосовують металеві стержні, а при виготовленні із чавуну і сталі – пісчані. Модельна оснастка при литті в кокілі включає стержневі ящики, які підігрівають (для виготовлення суцільних або оболонкових стержнів), ящики для холоднотвердіючих стержневих сумішей тощо.

Металева форма порівняно з пісчаною має значно більшу теплоємність, теплопровідність, міцність, але не має газопроникності. Кокілі виготовляють із сірого чавуну СЧ18; СЧ20; СЧ25; СЧ30, низьковуглецевих сталей 10 і 20, легованих сталей 15ХМЛ, алюмінієвих сплавів АЛ9, АЛ11, міді. Найбільш відповідальні частини в складних формах виготовляють із жароміцної сталі 45Х14Н14В2М, 40Х10С2М. Стержні для таких форм виготовляють із сталей У7, У8, У10, 30ХГСА.

Товщина стінки кокіля повинні відповідати товщині виливки:

$$\delta_2 = 13 + 0,6\delta_1,$$

де δ_2 – товщина стінки кокіля, мм; δ_1 – товщина стінки виливки, мм. Товщина ребер приймається рівна 0,7...0,75 товщини стінки форми, при цьому переходить від товстих стінок до тонких повинні бути плавними.

Кокіль перед початком роботи підігрівають, а його контактуючу (робочу) поверхню фарбують теплоізоляційною фарбою. Литво в кокілі затвердіє в 2...4 рази швидше ніж в пісчаній формі тому, що він швидше акумулює теплоту перегріву і теплоту кристалізації розплаву.

Тривалість затвердіння виливки, а також окремих її частин збільшують, підвищуючи температуру кокіля чи товщину шару фарби, і навпаки.

Виливку вибивають із кокіля ще гарячою при температурі 0,6...0,8 температури солідуса розплаву ($^{\circ}\text{C}$). Далі вона охолоджується на повітрі чи у спеціальній камері. Кокіль охолоджують чи, навпаки, нагрівають до оптимальної початкової температури 200...300 $^{\circ}\text{C}$. Цикл повторюється. Як правило, температуру кокіля підтримують темпом роботи.

Литтям в кокіль можна отримати прості виливки без внутрішніх порожнин (наприклад, валики) і складні виливки з складними внутрішніми порожнинами і отворами.

Металеві стержні видаляють до виймання із кокіля виливки, коли на їх поверхні утворюється достатньо міцна кірка, а всередині розплав ще може бути в твердо-рідкому стані. Це необхідно для того, щоб у виливці не утворювалися тріщини, внаслідок гальмування усадки стержнем.

Для того щоб можна було видалити металевий складний стержень його роблять складовим із декількох частин, наприклад, стержень при виготовленні поршня (рис. 9.20)

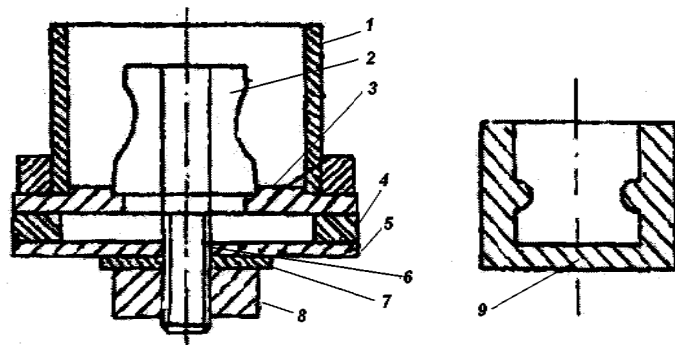


Рис.9.20.Схема кокіля для виливки поршня:
1-корпус кокіля; 2-центральный стержень із трьох частин (трьохклиновий); 3-основа; 4-упорне кільце; 5-упорна пластина; 6-гвинт; 7-шайба; 8-гайка; 9-виливка поршня.

Пісчані стержні з органічними зв'язуючими незначно затруднюють усадку виливок і нема небезпеки, що в виливках виникнуть тріщини. Такі стержні застосовують для утворення дуже складних порожнин і вибивають їх при очистці охолоджених виливок.

Найбільше поширення отримали чавунні кокілі, які застосовують для виливок із чавуна, свинцю, олов'яних і цинкових сплавів. Для цих же сплавів можуть застосовуватися кокілі із низьковуглецевої сталі.

Кокілі невеликих розмірів відливають, або отримують обробкою різанням із поковок. Великі кокілі, як правило, отримують литтям. Попередньо виливки повинні пройти старіння. Для стабілізації розмірів кокіля він проходить складну термічну обробку. Стержні із сталі загартовують з наступним відпуском. Вентиляцію металевої форми виконують через пісчані стержні. Якщо такої можливості немає на кокілях по площині роз'єму виконують риски (газовідвідні канали), які відходять від робочої площини до зовнішньої поверхні, глибиною не більше 0,5мм. Гази через такі канали виходять, а метал в них не проникає.

По конструкції кокілі можуть бути нероз'ємні (витряхні) і роз'ємні. Нероз'ємні кокілі застосовують для отримання невеликих виливок простої форми, які можна видалити без роз'єму форми. Складні і великі виливки отримують в роз'ємних кокілях. Вони складаються із двох частин – напівформ із вертикальною, горизонтальною або складними площинами роз'єму. При складній формі металевий стержень роблять роз'ємним (рис.9.20). В даному випадку він складається із трьох частин. Після затвердіння виливки видаляють середню частину такого стержня (клина), потім його бічні частини, а потім видаляють і саму виливку.

Елементи ливникової системи, робочі порожнини кокіля отримують електрофізичною і електрохімічною обробкою. При цьому переріз елементів системи приймають більше на 25...30%, чим для таких же виливок в

пісчаних формах. Довжина стояків живильників повинна бути по можливості меншою, щоб запобігати черезмірному охолодженню розплаву.

Розплав можна підводити до виливки різними шляхами: зверху через додаток, колектор або чашу (рис.9.21 а, б) знизу (сифоном) через стояк і живильник (рис 9.21, в); комбіновано (рис.9.21, г) через стояк і живильники, які розміщені ярусами; збоку через живильник в вигляді щілини (рис.9.21, д).

Підвід зверху виконується при відливанні невисоких виливок простої конфігурації із алюмінієвих, магнієвих сплавів і із сірого чавуну. При такій системі зменшуються витрати металу, затвердіння виливки проходить знизу вверху, що забезпечує добре живлення.

Підвід розплаву через стояк знизу забезпечує спокійне заповнення кокіля і видаленням повітря і газів з нього. Стояк роблять зигзагоподібним для гасіння кінетичної енергії струменя розплаву.

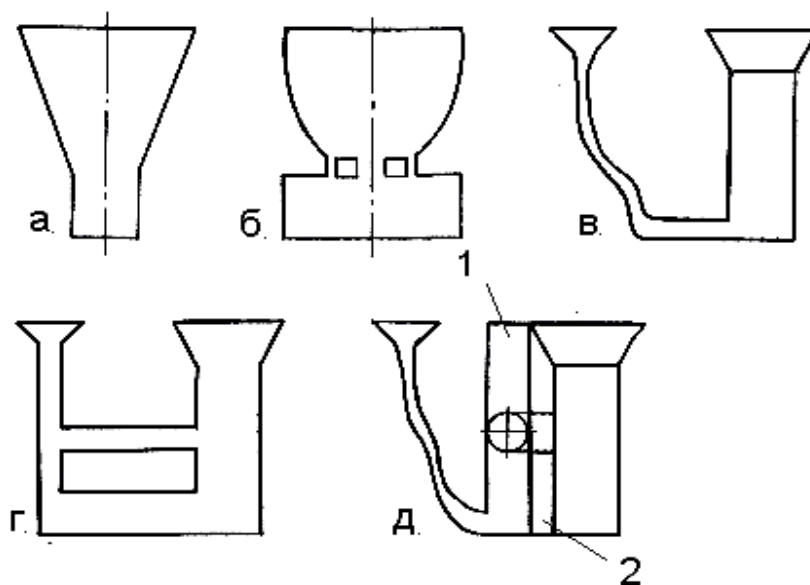


Рис.9.21. Способи підводу розплаву в кокіль:

а, б-зверху через додаток, компресор або чашу; в-знизу сифоном; г-через стояк і живильник, які розміщені ярусами; д-збоку через живильник у вигляді щілини; 1-додаток; 2-щілина

Недолік сифонного заливання – несприятливі умови виливки і створення направленої затвердіння, так як самий холодний розплав поступає в верхню частину виливки. Цей недолік усувається на комбінованій ливниковій системі тому, що заливка починається через нижній живильник, до рівня

верхнього, а потім надходження буде проходити через цей живильник, завдяки чому температура розплаву в верхньої частини виливки буде більш високою чим при сифонному заливанні металу.

При заповненні форми металом через живильник у вигляді щілини, він плавно поступає у форму і забезпечує затвердіння його знизу вверху. Завдяки значному перерізу додатку 1 розплав довго в ньому не затвердіває і через живильник у вигляді щілини 2 підпитує виливку (рис. 9.21).

Співвідношення між елементами ливникової системи для алюмінієвих і магнієвих сплавів рекомендується наступне:

$$F_{ст.}:F_{дод.}:F_{жив.}=1:2:4,$$

де $F_{ст}$ – площа перерізу стояка; $F_{дод.}$ – площа перерізу додатку; $F_{жив.}$ – площа перерізу живильника.

Інтенсивність теплообміну між вилковою і кокілем в 3...10раз більша чим при литті в разові форми, що приводить до отримання мілкозернистої структури. Разом з тим швидке охолодження сплаву знижує свою рідко текучість, що ускладнює отримання тонкостінних, складних виливок. Тому перед заливкою кокіль повинен бути нагрітий до певної температури (100...300⁰С), в залежності від виду сплаву, який заливається, форми виливки тощо.

Отримання виливок у кокілі складається із підготовки кокіля до роботи і відповідно отримання виливок.

Підготовка кокіля полягає в наступному: обдивляються кокіль, щоб впевнитися у його справності, зчищають фарбу з робочої поверхні, якщо вона ушкоджена. Підігрівають кокіль газовим паяльником (чи заливанням розплаву) до 150...200⁰С і на робочу (контактну) поверхню наносять пульвелізатором чи пензлем шар кокільної фарби товщиною 0,2...0,6мм Ливникові канали і додатки фарбують більш товстим шаром, щоб уповільнити затвердіння розплаву.

При литті алюмінієвих сплавів отримали поширення фарби слідуєчого складу(в % по масі): окис цинку (порошок) – 15, рідке скло – 3...4, вода – 81...82; або подрібнена крейда – 12, рідке скло – 3, графіт – 6, вода – 79; і оксид цинку – 5, графіт – 1, вода – 94. При литті магнієвих сплавів: тальк – 8, борна кислота – 5, рідке скло – 3, вода – 84. При литті чавунних сплавів: кварцева мука – 9, рідке скло – 4, вода – 87. Для чавунних сплавів на робочу поверхню кокіля, який нагрітий до 200⁰С наносять шар фарби (товщиною 0,2...1мм), а потім шар копоти.

Отримання виливок в кокілі полягає в слідуєчому: складаємо кокіль і скріплюємо його частини за допомогою гвинта 6, гайки 8 (рис.9.20). Заповнюють розплавом кокіль через верхню відкриту частину. Дають виливці затвердіти, видаляють стержні. Головний центровий стержень складається із трьох частин. Перш за все перевертають кокіль і знімають основу 3 і замінюють її упорним кільцем 4 з упорною пластиною 5. Накручуючи гайку 8 на гвинт 6 видаляють вверху середню частину стержня 2,

який називається клином, потім відводячи до центру вверх видаляють бокові частини. Потім із корпусу видаляють вилівку. Вилівка поршня після відокремлення від неї стержня і видалення із корпусу показано на рис. 9.20 під номером 9.

Завдяки інтенсивності теплообміну між вилівкою і кокілем вилівка отримується більш щільною з дрібнозернистою структурою.

Чавунні вилівки, як правило, отримують з відбіленим зовнішнім шаром. Їх необхідно відпалювати.

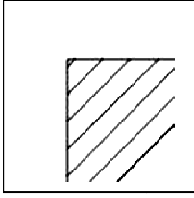
Важко отримати в кокілях фасонні сталеві вилівки, тому що з підвищенням інтенсивності теплообміну збільшується ймовірність утворення тріщин в сталі, а також внаслідок низької стійкості (200...300 заливів).

Кокіль застосовують тоді, коли тільки в кокілі можливо отримати вилівку, яка відповідає технічним умовам. Приклади: чавунні валки для прокатування з відбіленим твердим поверхневим шаром можна отримати тільки в кокілі; щільні без усадкових пористостей, з підвищеними властивостями вилівки з алюмінієвих сплавів отримують в кокілях (наприклад, поршні).

Кокіль застосовують, якщо витрати виробництва на виготовлення готової деталі з урахуванням вартості кокіля, зниження витрат металу в стружку і зниження витрат на обробку менші ніж при литті в разові пісчані форми. Звичайно застосовують кокіль, коли партія вилівок більше 300-500 штук.

Література.

1. Справочник технолога машиностроителя. В 2Т: Т.1/Под ред. Косиловой А.Г. и Мещерякова Р.К.-М.: Машиностроение, 1985.-656с.
2. Справочник технолога машиностроителя. В 2Т: Т.2/Под ред. Косиловой А.Г. и Мещерякова Р.К.-М.:Машиностроение, 1985.-496с.
3. Дриц М.Е., Москалев И.А.,Технология конструкционных материалов и материаловедение.-М.: Выс.шк.,1990.-440с.
4. Казаков Н.Ф.,Осокин А.М.,Шишкова А.П.Технология металлов и других конструкционных материалов.М.: металлургия, 1975.-688с.
5. Гелин Ф.Д. Металлические материалы, Справочник.-Минск.: Высшэйшая школа, 1987.-366с.
6. Конодоров Б.В., Усова П.Ф.,Третьяков А.В. и др. Технология металлов и материаловедение.-М.: металлургия, 1987.-800с.
7. Беккерт М. Мир метала.-М.: Мир, 1980.-148с.
8. Скобников К.М., Глазов Г.А., Петраш Л.В и др.Технология металлов и других конструкционных материалов. – Ленинград.: Машиностроение, 1972.-520с.
9. Рыбкин В.А. Ручное изготовление литейных форм. – М.:Высшая школа, 1986.-197с.
10. Емельянова А.П. Технология литейной формы. – М.: Машиностроение, 1986.-222с.
11. Короливицкий Н.Н., Кучер А.М., Пугачева Р.В и др. Технология металлов. – М. мамгиз, 1965.-500с.
12. Волчок Н.П., Плескач В.М., Аверченко Л.А и др.Технология конструкционных материалов .-Киев. Выща школа, 1990.-150с.
13. Прейс Г.А.,Сологуб., Рожнецкий И.А и др. Технология конструкционных материалов.- Киев. Выща школа, 1984.-352с.
14. Никифоров В.М. Технология металлов и конструкционные материалы.-Ленинград. Машиностроение, 1987.-360с.
15. Рубцов Н.Н., Балабин В.В.,Воробьев М.И. Литейные формы.-М. Машчиз, 1959.-554с.
16. Осталенко Н.Н., Кропивницкий Н.Н. Технология металлов.-М.Выща школа,1970.-344с.



Навчальне видання

*Володимир Леопольдович Пахаренко
Микола Михайлович Марчук*

**МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО ТА ТЕХНОЛОГІЯ
КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ
(МЕТАЛУРГІЯ, ЛИВАРНЕ
ВИРОБНИЦТВО)**

Навчальний посібник

Підписано до друку Формат 60*84 1/16
Папір друкований №1 Гарнітура _____
Друк трафаретний.
Ум.-друк. Арк. 9.1. Тираж _____ примірників
Зам. _____