

# **НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

---

Кафедра технології конструкційних матеріалів та  
матеріалознавства

## **ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС**

### **ВИГОТОВЛЕННЯ ЛИВАРНИХ ФОРМ І ВИЛИВКІВ**

методичні вказівки до занять з навчальної практики з дисципліни  
"Технологія конструкційних матеріалів" для студентів факультетів  
конструювання та дизайну, механіко –технологічного,  
лісогосподарського та навчально-наукового інституту енергетики,  
автоматики і енергозбереження



**Київ – 2020**

УДК 621.91

У посібнику наведені: суть і призначення процесу ливарного виробництва, класифікація ливарних сумішей та форм, плавильних агрегатів, обладнання та інструментів; характеристики ливарних матеріалів і вимоги техніки безпеки при виконанні ливарних сумішей, форм і виливків.

**Укладачі:** Є.Г. Афтанділянц, О.В. Зазимко, Г.М. Похиленко

**Рецензенти:** професор Ю. О. Ромасевич та доцент А. В. Новицький

**Навчальне видання**

**Технологічний процес виготовлення ливарних форм і виливків**

Методичні вказівки до занять з навчальної практики з дисципліни "Технологія конструкційних матеріалів та матеріалознавство" для студентів факультетів конструювання та дизайну, механіко –технологічного, лісогосподарського та навчально-наукового інституту енергетики, автоматики і енергозбереження.

**Укладачі:** АФТАНДІЛЯНЦ Євгеній Григорович, ЗАЗИМКО Оксана Володимірівна, ПОХИЛЕНКО Геннадій Миколайович

**Відповідальний за випуск:** завідувач кафедри технології конструкційних матеріалів та матеріалознавства Є.Г. Афтанділянц.

Зав. Видавничим центром НАУ А.П. Колесніков

Видавничий центр НУБіП.  
03041, Київ, вул. Героїв Оборони, 15.

## **Вступ**

Методичний посібник складений відповідно до робочої програми навчальної практики з дисципліни "Технологія конструкційних матеріалів", діючих державних стандартів та існуючих методик проведення практичних занять з розділу "Ливарне виробництво". Технічні терміни та інформаційні матеріали з літературних джерел подані в перекладі українською мовою з відповідними посиланнями.

У посібнику наведені: суть і призначення процесу ливарного виробництва, класифікація ливарних сумішей та форм, плавильних агрегатів і обладнання, інструментів; характеристики ливарних матеріалів. Також до посібника входять вимоги техніки безпеки при виконанні ливарних сумішей, форм і виливків.

По завершенні практичних занять студент повинен:

- **знати** технологічний процес виготовлення виливків, класифікацію та методи виготовлення ливарних форм і виливків, основні способи виготовлення виливків, класифікацію та маркування ливарного інструменту; вимоги техніки безпеки при виготовленні виливків.
- **уміти** розробляти технологію виготовлення виливків по кресленню деталі, працювати на пристроях для визначення властивостей ливарних сумішей, форм і виливків, вибирати ливарні матеріали у відповідності з умовами виконуваної роботи виливків; виконувати основні операції ливарного виробництва.

## **Вимоги техніки безпеки при виконанні практичних занять**

*Перед початком роботи необхідно:*

- виконати всі вимоги, що пов'язані з підготовкою виготовлення виливків;
- оглянути робоче місце та прибрати з нього все зайве, що заважає роботі;
- привести в порядок робочий одяг;
- перевірити наявність і справність запобіжних і захисних пристроїв.

*Категорично забороняється пуск обладнання та пристроїв без дозволу навчального майстра!*

1. При роботі на треба обов'язково користуватися захисними окулярами.

2. Забороняється стояти в площині обертання ріжучого інструменту, абразивного круга, патрона.

3. Не можна торкатись руками інструмента та заготовки в процесі обробки та проводити вимірювання під час роботи обладнання.

4. При роботі на верстатах оброблювана деталь повинна бути надійно закріплена. Тримати деталь руками забороняється.

5. Не можна видаляти стружку руками.

6. При поразці електричним струмом необхідно негайно, не торкаючись постраждалого, виключити рубильником струм первинної мережі. Постраждалому зробити штучне дихання.

7. Не доторкатися голими руками до струмоведучих частин верстатів і обладнання.

8. Одяг і взуття повинно відповідати умовам виконуваних робіт.

9. Під час плавки і розливання металу без дозволу майстра не наближатися до високочастотної установки і плавильної печі.

10. Розливання металу робити тільки в спецодязі.

11. При заливанні форм, усім, крім заливальників знаходитися поза зоною розливання.

12. Для запобігання ударам у живіт, груди або в обличчя ручки інструменту під час роботи повинні бути збоку, а не проти тулуба.

13. Стежити за тим, що під час розливання металу ніхто не стояв близько, особливо в тому місці, куди може відлетіти рідкий метал.

14. Забороняється класти на робоче місце сторонні предмети, торкатися або прибирати виливки руками без спеціального пристосування або інструмента.

15. Обслідувати всі місця, куди можуть відлетіти частки рідкого або розігрітого металу і визвати горіння при розливанні металу.

16. Впевнитися, що після роботи не залишилося тліючих предметів (ганчір'я, підлоги, спецодягу та інше).

17. Прибрати робоче місце.

## 1. Теоретичні положення

*Ливарним виробництвом* називається процес одержання фасонних деталей (виливків) заливкою розплавленого металу в ливарні форми. Форма заповнюється металом через систему каналів, які називаються **ливниковою системою**. При цьому зовнішні контури виливка визначаються порожниною ливарної форми, а внутрішні – утворюються фасонними вставками, які називаються **стержнями**. Виливки виймають з ливарної форми після затвердіння.

Литі деталі **складають**:

- 50 % сільськогосподарського машинобудування,
- 80% верстатобудування,
- 60% тракторобудування,
- 35% автомобілебудування.

Маса литих деталей буває від кількох грамів до сотень тонн.

**Товщина стінки** – від 2 до 500 мм.

Із **чавуну** одержують 80% виливків, **сталі** – 15%, **кольорових металів і сплавів** – 5%.

**Основні способи виготовлення виливків:**

1. У піщано-глинистих, хімічно тверднучих та самотверднучих формах із ручним та машинним формуванням;
2. У металевих формах (кокілях);
3. Під тиском;
4. За моделями, які виплавляють;
5. В оболонкових (керамічних) формах;
6. Відцентровим виливанням;
7. Електрошлаковим виливанням;
8. Під низьким тиском;
9. Вакуумним всмоктуванням;
10. Витискуванням;
11. Рідким штампуванням.

## 2. Технологія виготовлення виливків в одноразових ливарних формах

Технологія виготовлення виливків в одноразових ливарних формах складається з наступних операцій:

- виготовлення модельного комплекту;
- приготування формуючих і стрижневих сумішей;

- виготовлення форм і стрижнів;
- сушка стрижнів (іноді і форм);
- складання форм;
- одержання рідкого металу;
- заливка форм металом;
- вибивка виливків із форм;
- обрубка та очистка лиття;
- термообробка виливків (іноді);
- контроль готових виливків

Послідовність технологічних операцій при виготовленні виливків в одноразових ливарних формах наведена на рис. 1. Розроблення креслення моделі відбувається з урахуванням лінійної усадки ливарних сплавів, що наведена в табл. 1.

Таблиця 1. Лінійна усадка ливарних сплавів

Сплав	Лінійна усадка, %	Сплав	Лінійна усадка, %
Сірий чавун:		Сталь вуглецева	
дрібні виливки	1,0–1,3	дрібні виливки	1,8-2,2
середні виливки	0,8-1,0	середні виливки	1,6-2,0
крупні виливки	0,5-0,8	крупні виливки	1,4-1,8
Білий чавун	1,5-2,0	Бронзи олов'яністі	0.8-1.2
Ковкий чавун:		Бронзи безолов'яністі та латунні	1,3-2,0
феритний	1,0-1,5		
перлітний	1,2-2,0	Силуміни	1,0-1,3
Високоміцний чавун	0,5-1,3	Магнієві сплави	1,2-1,7

### 3. Формові і стержневі матеріали

**Формувальними матеріалами** є кварцовий пісок, глина, зв'язуючі матеріали, протипригарні добавки та добавки для збільшення піддатливості.

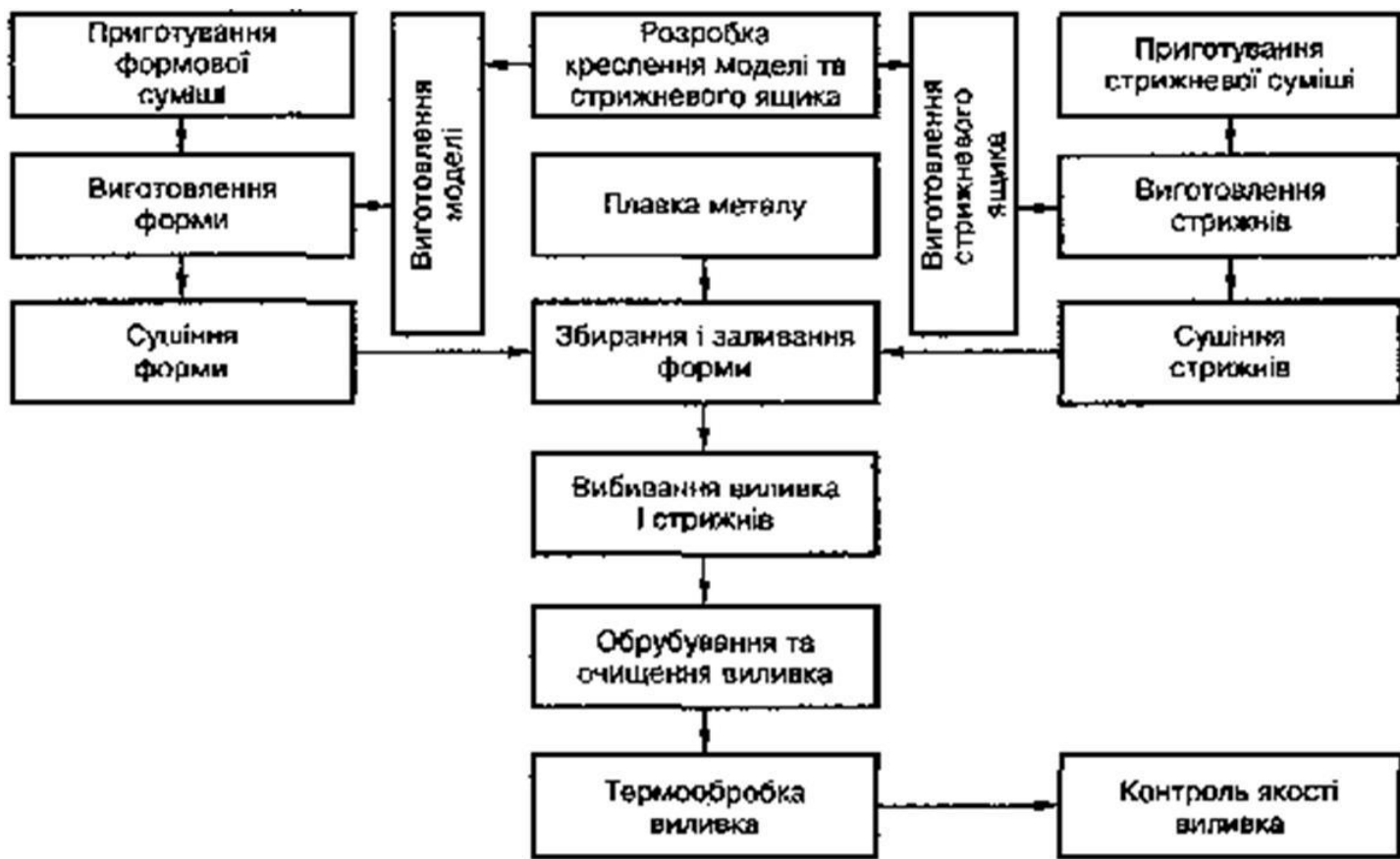


Рис. 1. Послідовність технологічних операцій виготовлення виливків в одноразових ливарних формах



**Пісок** є головним компонентом формових сумішей, він забезпечує їм газопроникність і податливість. Кварц ( $\text{SiO}_2$ ) є головною складовою формового піску. Кількість кварцу – 90-97%. Температура плавлення кварцу  $1710^\circ\text{C}$ . Оксиди заліза, оксиди лужних ( $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ) і лужноземельних ( $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ) металів є домішками формового піску. З метою підвищення вогнетривкості сумішей, призначених для сталевих і чавунних відливок, до їх складу доцільно вводити хромистий залізняк ( $\text{FeO}\cdot\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) (температура плавлення  $t_{\text{п}}\sim 1850^\circ\text{C}$ ), циркон  $\text{ZrSiO}_4$  ( $t_{\text{п}}\sim 2000^\circ\text{C}$ ), магнезит  $\text{MgO}$  ( $t_{\text{п}}\sim 2800^\circ\text{C}$ ).

**Глина** є зв'язуючою речовиною, що забезпечує міцність і пластичність сумішей та складається з дрібних частинок каолініту ( $\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2\text{SiO}_2\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) величиною до 0,02 мм. Після змочування водою глина утворює на поверхні зерен піску тонку клейку плівку, завдяки чому ці зерна з'єднуються між собою, а гази виходять крізь пори між зернами. Кількість глини в формовій суміші не перевищує 8-12% за об'ємом, а кількість води — 4-5%.

**Зв'язуючі ливарних сумішей** – це олії, синтетичні та натуральні смоли, полівініловий спирт, продукти переробки крохмалю та відходи спиртового виробництва (їх кількість у суміші – 0,5-1,5%), рідке скло (5-6%).

**Противпригарні добавки** – кам'яне вугілля, мазут (1-10%).

**Добавки для збільшення піддатливості** – опили деревини, торф (2 - 4%).

### **3.1. Класифікація та склад ливарних сумішей**

Ливарні суміші розподіляються на **формувальні та стержневі суміші**.

**Ливарні форми** виготовляють із формувальної суміші.

**Стержні** виготовляють зі стержневої суміші.

Ливарні суміші розподіляють за **способом застосування** на **облицювальні, наповнювальні, єдині**.

**Облицювальна суміш** (формувальна або стрижнева) слугує для виготовлення робочого шару форми або стержня з підвищеною газопроникністю та товщиною 40-100 мм.

**Наповнювальна суміш** використовується для заповнення форми та стержня після нанесення облицювальної суміші та складається цілком (100%) або частково (97%) з відпрацьованої суміші.

**Єдина суміш** використовується одночасно як облицювальна та наповнювальна.

Склад і властивості формувальних і стержневих сумішей наведені в табл. 2, 3.

Таблиця 2. Склад та властивості формувальних сумішей

Матеріал вилівка	Тип суміші	Склад сумішей								Властивості сумішей				
		пісок	глина	кам'яне вугілля	в'я- зуюче	рідке скло	NaOH	опилки	мазут	Газопро- никність, %	Воло- гість, %	Міцність на , кг/см <sup>2</sup>		
													стиск	розтяг
Формувальні суміші. Лиття по вологому. (Відпрацьована суміш- решта)														
Ч а в у н	Облицювальна	8-49	2-7	2-8	-	-	-	-	-	25-100	4-6,5	0,3- 0,7	-	
	Наповнювальна	-	0,3	-	-	-	-	-	-	60-80	5-5,5	0,3- 0,4	-	
	Єдина	2-10	1-2	0,5-1,2	-	-	-	-	-	25-80	4-7	0,3- 0,6	-	
С т а л ь	Облицювальна	16- 53	3-9	-	0,5	-	-	-	-	80-130	3,5- 5,5	0,3- 0,7	-	
	Наповнювальна	-	0,3	-	-	-	-	-	-	90	5-5,5	0,4- 0,5	-	
	Єдина	6,5-8	-	-	1,5-2	-	-	-	-	80-100	3,4- 4,5	0,3- 0,5	-	
Формувальні суміші. Лиття по сухому. (Відпрацьована суміш- решта)														
Ч а в у н	Облицювальна	24- 52	2-20	-	2,5-3	-	-	10-13	-	70-100	4-16	0,3- 0,8	0,7-3	
	Наповнювальна	3-5	-	-	-	-	-	-	-	80	6-7	0,4- 0,5	-	

Таблиця 3. Склад та властивості формувальних і стержневих сумішей

Матеріал вилівка	Тип суміші	Склад сумішей								Властивості сумішей			
		пісок	глина	кам'яне вугілля	зв'я- зуюче	рідке скло	NaOH	опилки	мазут	Газопро- никність %	Воло- гість, %	Міцність на , кг/см <sup>2</sup>	
												стиск	розтяг
Стержневі суміші. (Відпрацьована суміш- решта). Температура сушки-160-240 °С													
Сталь + Чавун		35- 100	0-8	2-4	1-8	-	-	0-3	-	70-130	2-6	0,03- 0,4	0,8-9
Швидко твердіючі суміші з рідким склом													
Ч а в у н	Облицювальна формувальна	решта	3-5	-	-	5-6	1	-	1	-	-	-	-
	Стержнева	решта	3-4	-	-	5-6	1	-	1	-	-	-	-
С т а л ь	Облицювальна формувальна	решта	4-5	-	-	5-6	1	-	-	-	-	-	-
	Стержнева	решта	4-5	-	-	5-6	1	-	-	-	-	-	-

### 3.2. Виготовлення ливарних сумішей

Виготовлення формувальних і стрижневих сумішей починають із **підготовки вихідних матеріалів**. Кварцовий пісок сушать, просівають і розподіляють по бункерах над змішувачем. Глину сушать і подрібнюють. Відпрацьовану суміш регенерують. Грудки, що спеклися, роздрібнюють і пропускають через магнітний сепаратор (рис. 2) для відокремлення металевих домішок (каркасів стержнів, шпильок, жеребейок, металу).

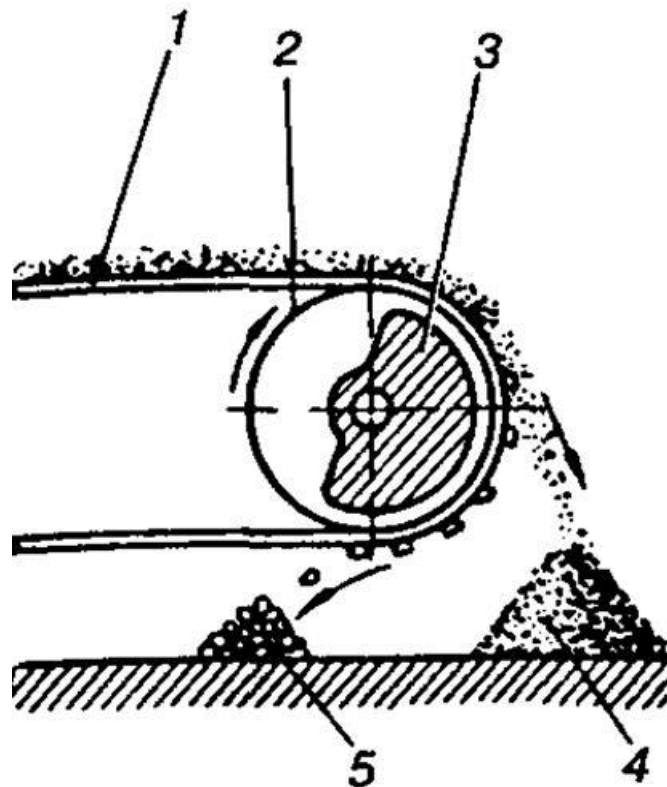


Рис. 2. Схема магнітного сепаратору

Немагнітний барабан 2 обертається навколо нерухомого вала з насадженим на ньому електромагнітом 3. Формова суміш 4 конвеєром 1 подається через барабан 2, падає вниз, а металеві домішки 5 притягуються магнітом до стрічки конвеєра і падають за магнітним полем.

Після підготовки вихідні матеріали змішують у бігунах (рис. 3 а) та розпушують в аераторі (рис. 3 б).

**Змішування у бігунах** (рис. 3 а). На валу бігунів 6 закріплено траверсу 7 з двома котками 9, які підвішені на маятниках 8. Котки,

обертаючись під дією відцентрової сили, відхиляються на маятниках до борта чаші 10. Формувальні матеріали плужками 11 піднімаються з дна чаші під котки, які їх швидко перемішують.

Зволожена формова суміш конвеєром подається до бункера-відстійника, де витримується протягом 3-4 год. для вирівнювання вологості за об'ємом.

**Готова суміш** подається конвеєром 12 крізь воронку 13 у аератор (рис. 3 б) і **розпушується** для підвищення газопроникності. Суміш підхоплюється лопатками 16, б'ється об підвішені ланцюги 14, розпушується і падає на конвеєр 15, що її доставляє до місця формування.

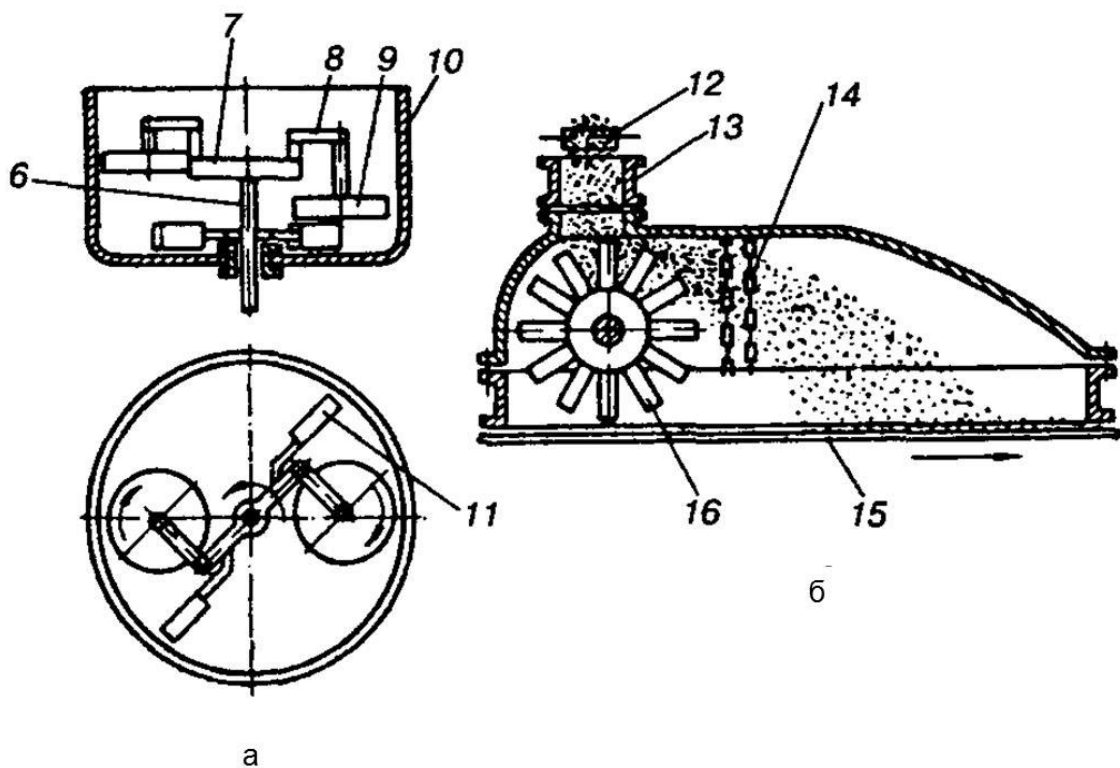


Рис. 3. Схема бігунів (а) і аератора (б).

### 3.3. Властивості ливарних сумішей

Склад і фізико-механічні властивості формових і стержневих сумішей, згідно вимогам стандарту, систематично контролюється в лабораторіях ливарних цехів. При цьому беруть проби формівних і стержневих сумішей, які потім ідуть на випробування. Визначається зерновий склад кварцевого піску, вологість, вміст глинистих речовин, газопроникність, міцність формових і стержневих сумішей.

### **Взяття проби суміші**

Для того щоб проба являла собою середній склад формової суміші, її беруть малими порціями із різних місць всієї маси. Відібрану порцію формової суміші старанно переміщують і квартуванням зменшують її вагу до потрібної, використовуючи для цієї мети спеціальний прилад – відбірник проб (рис.4).

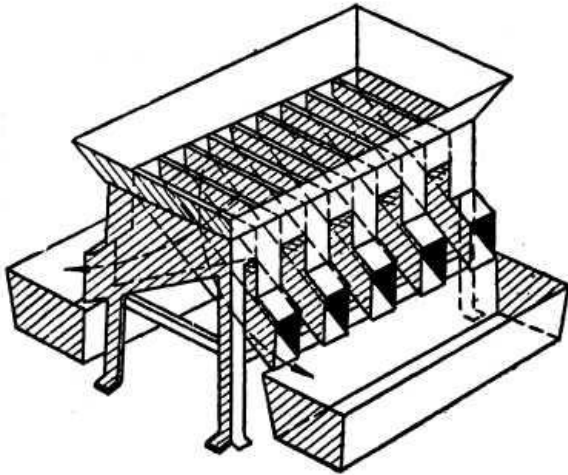


Рис. 4. Відбірник проб формової суміші

Відбірник проб складається із резервуара 1 з направляючими лотками 2 і двох коробів 3, з різних сторін резервуара. Порція суміші, насипана в резервуар, розподіляється на дві рівні частини. Половину її, розміщену в одному з коробів, відкидають, а другу – повторно засипають у відбірник і знову зменшують вдвічі. Операцію повторюють до тих пір, поки не залишиться та кількість суміші, яка необхідна для випробування. Вага проби при повному циклі випробувань повинна складати приблизно 5 кг, при частковому – 0,5 кг. Відібрану пробу необхідно помістити в банку і герметично закрити кришкою.

### **Визначення вологості формової і стержневої суміші**

Для визначення вологості суміші використовують прилад ФВ-1 (рис. 5), який складається із нагрівальних печей, змонтованих на загальній рамці 1.

В стальну гільзу 4 печі, де знаходиться електропідігрівач із ніхромової спіралі, через повітроочисник 2 подається повітря, кількість якого регулюється кранами 8. Кожна піч має свій вимикач струму і термометр 3 для контролю повітря.

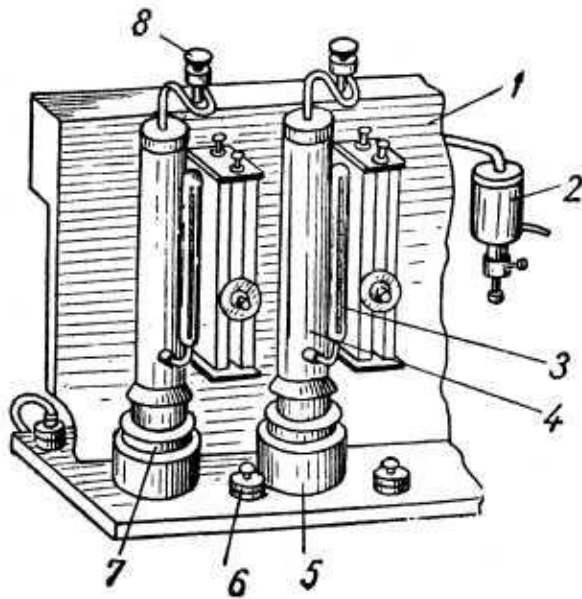


Рис. 5. Прилад для визначення вологості формових сумішів.

Під кожною гільзою на пружинній підставці 7 встановлюється чашечка 5 з сітчастим дном, в яку засипають 50 г досліджуваної суміші і сушать при температурі 105...110 °С на протязі 5...6 хв.

Після сушіння суміш знову зважують і визначають її вологість за формулою (1):

$$B = \frac{G_1 - G_2}{G_1} \cdot 100\% \quad (1)$$

де:  $G_1$  – вага наважки до сушіння, г;  
 $G_2$  – вага наважки після сушіння, г.

### **Визначення вмісту глинистих речовин у формових матеріалах**

Визначення вмісту глинистих речовин здійснюється методом відмулювання. Для цього наважку 50 г формового матеріалу, висушеного при 105...110 °С, висипають у літрову скляну банку, в яку наливають 475 см<sup>3</sup> дистильованої води і 25 см<sup>3</sup> однопроцентного розчину їдкого натрію. Банку герметично закривають кришкою і встановлюють на прилад (рис. 6) для збовтування на протязі однієї години з частотою обертання 60 об/хв.

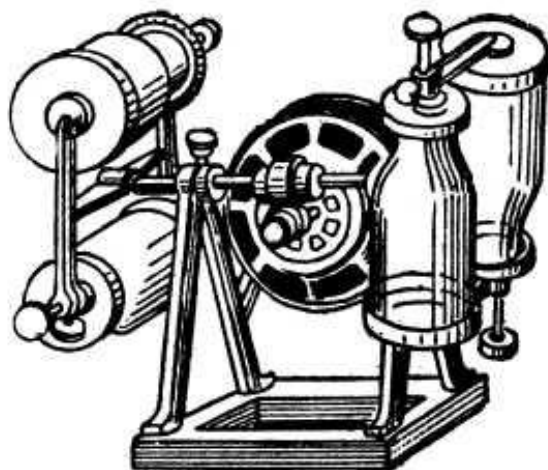


Рис.6. Прилад для визначення вмісту глинистих речовин в піску.

Потім банку знімають, доливають водою до рівня 150 мм від дна, збовтують і дають відстоятися на протязі 10 хв. При відстоюванні зерна піску осідають на дно банки, а глинисті речовини залишаються в змуленому стані. За допомогою сифона зливають 125 мл води із змуленими частинами глинистих речовин. Після цього знову добавляють в банку воду до попереднього рівня, знову збовтують, дають відстоятися 10 хв. і повторно зливають воду сифоном. Цю операцію відмулювання повторюють до тих пір, поки вода в банці не буде цілком прозорою, що буде вказувати на повне виведення глини. Причому перші два рази перед зливом води відстоювання здійснюють на протязі 10 хв., а наступні на - протязі 5 хв.

Осад, що залишився в банці сушать при температурі 105...110 °С, а потім зважують з точністю до 0,01 г. Різниця у вазі між початковою наважкою 50 г і вагою осаду буде вказувати на вміст глинистих речовин в формовому матеріалі, що в процентах визначається за формулою (2):

$$Г = \frac{P_1 - P_2}{P_2} \cdot 100\% \quad (2)$$

де  $P_1$  – вага наважки до випробування, г ;  
 $P_2$  – вага наважки після випробування, г .

### **Зерновий аналіз кварцового піску**

Наважку 50 г сухого після відмулювання піску просівають на приладі (рис. 7) з набором каліброваних сит з точними розмірами



вічок від 2,5 до 0,05 мм.

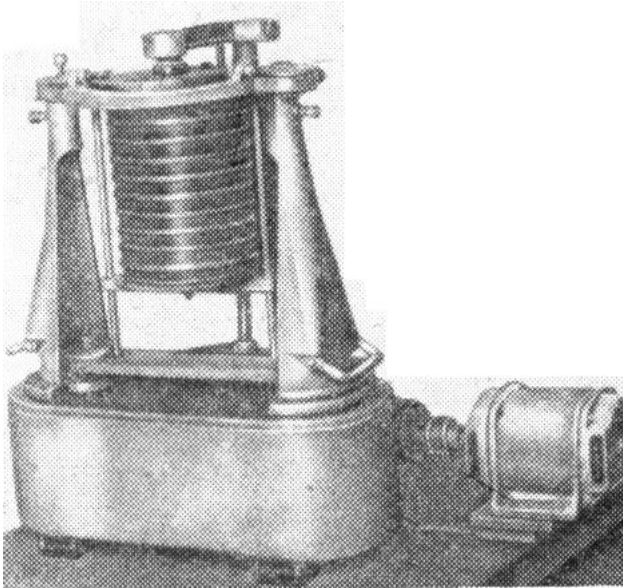


Рис. 7. Прилад зернового аналізу піску.

Верхнє сито накривають кришкою, під нижнє підставляють металевий лоток. Стопка сит приводиться в рух від електродвигуна через ексцентриковий механізм, який забезпечує струшування їх в горизонтальній площині. Прилад виконує біля 300 коливань за хвилину. Крім того, для кращого просіювання піску, під час роботи приладу зверху по кришці сит здійснюються удари важелем (стукалкою) з частотою 180 ударів за хвилину. Тривалість просіювання складає 15 хвилин, після чого стопку сит знімають з приладу і зважують з точністю до 0,01 г піску в кожному ситі, а також в лотку.

Отриманий результат виражають в процентах від початкової наважки 50 г. Залишок піску в лотку позначається словом “лоток”. Пісок, що залишився в найбільшій кількості на трьох суміжних ситах, називається основною зерною фракцією.

### **Приготування стандартних зразків із формової і стержневої сушей**

Стандартний зразок для визначення газопроникливості і міцності на стиснення формової суміші являє собою циліндр (рис. 8, а) розміри якого становлять:

$$d = 50^{\pm 0,2} \text{ мм}; h = 50^{\pm 0,8} \text{ мм.}$$

Для визначення граничної міцності стержневої суміші на розтяг виготовляють зразок у вигляді вісімки (рис. 8, б).

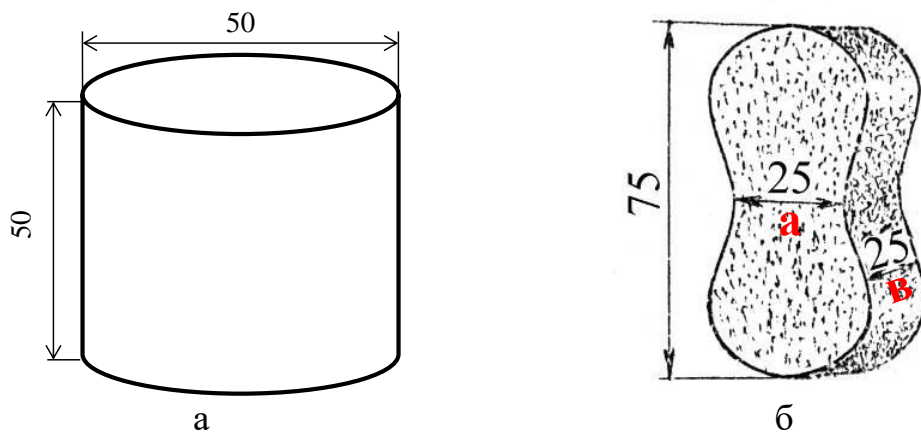


Рис. 8. Стандартні зразки:

а – зразок для випробування формової суміші на стискування;  
 б – зразок для випробування стержневої суміші на розтяг.

Всі види зразків спресовують на лабораторному копрі (рис. 9), використовуючи в першому випадку пресформу, яка складається із гільзи 7 і піддона 8, а в другому випадку пресформа являє собою стержневий ящик з внутрішньою формою і розмірами, що відповідають формі та розмірам зразка-вісімки.

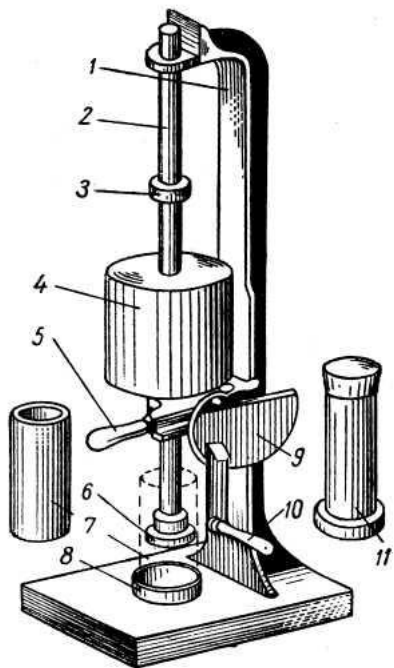


Рис.9. Копер для спресування в пресформах стандартних зразків

Копер складається із станини 1, виготовленої спільно з двома кронштейнами і вертикальним приливом, через який пропущено шток

2. На шток вільно надіта баба (вантаж) 4 вагою  $6350 \pm 10$  г. За допомогою ексцентрика 9 і рукоятки 10, бабу можна підіймати на постійну висоту 50 мм до контрольного кільця 3. На нижньому кінці штока закріплений бойок- шайба 6. Рух баби вниз обмежується закріпленим на штоку підйомником з рукояткою 5. При установці на прилад та знятті з нього персформи з піддоном здійснюється вручну підйом штока з бабою.

Для того щоб вийняти із пресформи (гільзи) готовий зразок, використовують дерев'яний виштовхувач 11.

Порядок виготовлення зразка-циліндра наступний: беруть навіску 140...180 г формової суміші і засипають в пресформу, яку переносять на копер і ущільнюють трьома ударами баби, обертаючи рукоятку 10 з ексцентриком 9. Для контролю висоти зразка  $50 \pm 0,8$  мм служать три риски на верхньому вертикальному приливі станини копра.

Якщо верхній край штока 2 не виходить за межі рисок, то зразок відповідає вимогам стандарту. Якщо він вийшов за межі рисок, то необхідно взяти нову порцію формової суміші і провести повторне виготовлення стандартного зразка.

На цьому ж копрі, замінивши гільзу спеціальним стержневим ящиком, виготовляють із стержневої суміші стандартний зразок-вісімку по тим же правилам, що і зразок-циліндр. Вага наважки при цьому дорівнює 120..140 г. Висота зразка  $25 \pm 0,2$  мм контролюється трьома рисками, які нанесенні на пуансоні пресформи. Готовий зразок виймають із пресформи і висушують в муфельній печі. Температура сушіння залежить від виду зв'язуючого матеріалу стержневої суміші і знаходиться в межах 175...325 °С.

### **Визначення газопроникності формової суміші**

Випробування на газопроникність формової суміші проводяться на спеціальному приладі ФП-2У (рис. 10) з використанням стандартних циліндричних зразків.

Прилад складається з бака 5, заповненого водою. В центрі бака впаяна трубка 4, яка внизу з'єднана з повітряним трьохходовим краном 7. В середині бака плаває циліндричний ковпак з трубкою 2, що входить в трубку 4. На ковпак нанесенні позначки "2000", "1000", "0" та "X". Повітряна камера із ковпаком з'єднана з манометром 10.

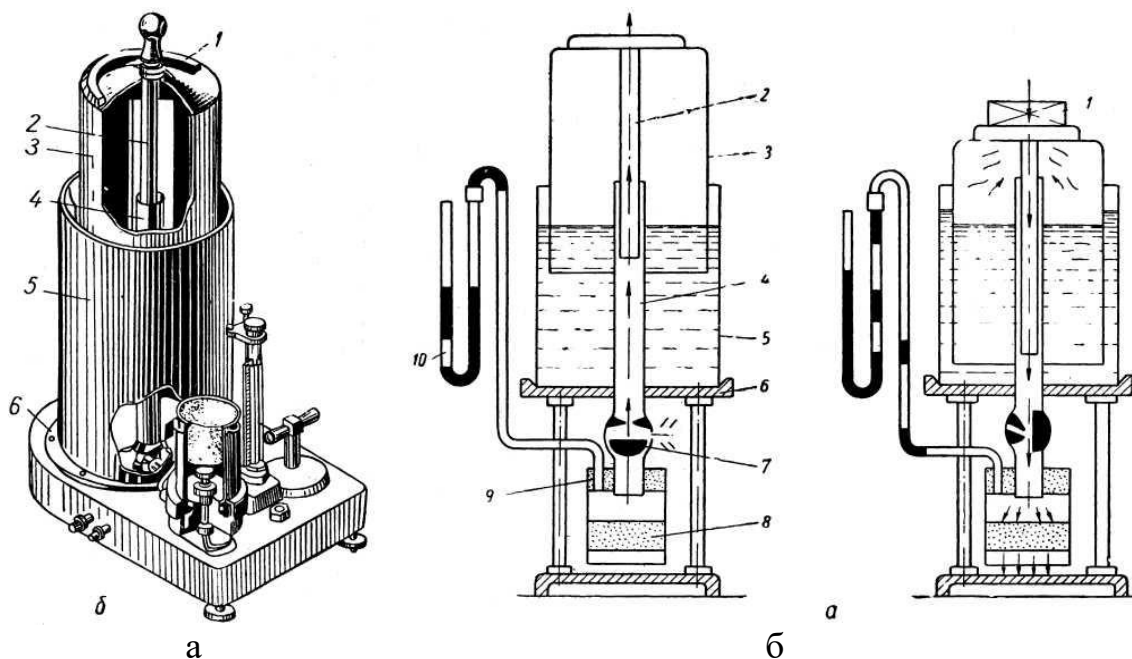


Рис. 10. Прилад для визначення газопроникності формової суміші:  
а – загальний вид; б – схема-розріз

Перед випробуванням трьохходовий кран 7 ставлять в положення “ВІДКРИТО”, тобто коли трубка 4 з’єднана з атмосферою і піднімають ковпак до позначки “Х”. В цьому випадку повітря засмоктується під ковпак. Потім кран 7 ставлять в положення “ЗАКРИТО”.

Стандартний зразок разом з пресформою переносять на прилад і за допомогою гайки 9 герметично з’єднують з повітряною камерою під ковпаком.

При випробуванні закривають кран 7 і повітря під вагою ковпака проходить через трубку 4, проникаючи через спресований зразок 9 в атмосферу. При цьому заміряють час опускання ковпака від позначки “2000” до позначки „0”. Середній тиск визначають манометром при опусканні ковпака до позначки “1000”. Час опускання ковпака від позначки “0” до позначки “2000” фіксують секундоміром.

Газопроникність обчислюють за формулою (3):

$$K = \frac{V \cdot h}{F \cdot P \cdot \tau} = \frac{509,5}{P \cdot \tau} \quad (3)$$

де:  $V$  - об’єм повітря, пропущеного через зразок,  $\text{см}^3$ ;

$h$  - висота зразка,  $\text{см}$ ;

$F$  - площа поперечного перерізу зразка,  $\text{см}^2$ ;

$P$  - тиск повітря що визначається за висотою водяного стовпа в скляній трубці, см;

$\tau$  – час проходження повітря через зразок від позначки „0” до позначки „2000” на ковпаку (хв).

Підставивши в формулу величину тиску водяного стовпа ( $P$ ) і час опускання ковпаком, вирахуємо величину газопроникності за формулою (3).

### **Визначення границі міцності формової суміші при стисканні**

Для визначення границі міцності формової суміші при стисканні використовують стандартні циліндричні зразки, які піддають випробуванням на важільному приладі типу ФА-2 (рис. 11).

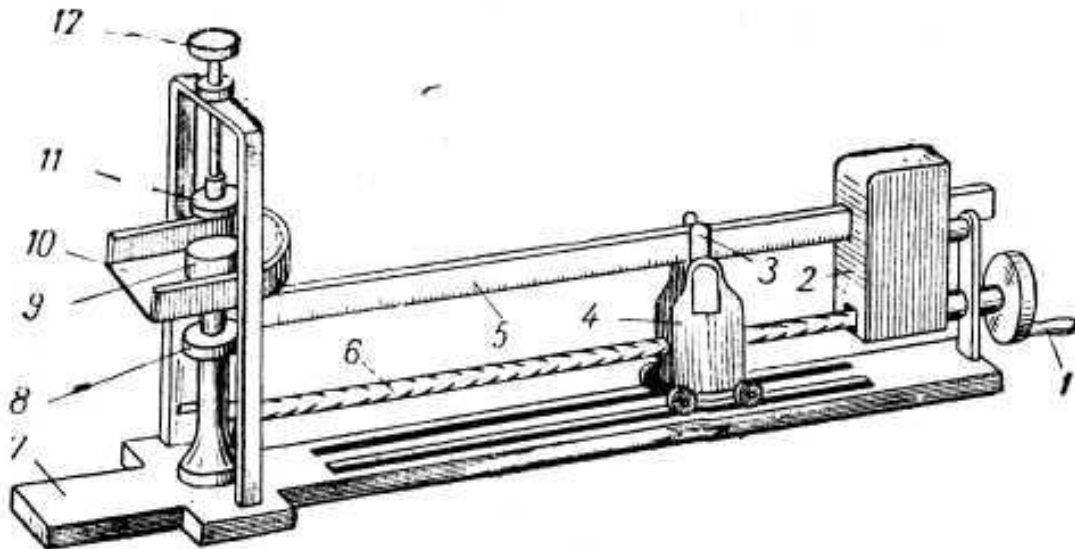


Рис.11. Прилад для визначення границі міцності формової суміші при стисканні

Прилад складається із станини 7, ходового гвинта 6, каретки 4 із стрілкою 3, вантажу 2, проградуйованого важеля 5, вертикальної стійки 8, лотка 10 з підставкою для зразка 9, верхнього упору 11, гвинта 12 та рукоятки 1.

Випробування проводять в такій послідовності. Встановлюють стрілку 3 каретки 4 на „0” позначку шкали важеля 5. Зразок 9 ставлять на нижню підставку лотка 10 і гвинтом 12 підводять до легкого стискання з ним верхню шайбу 11. Обертаючи рукоятку 1 (60 об/хв) переміщують каретку 4 в напрямку зразка. Внаслідок зменшення величини лівого плеча важеля 5 і збільшення правого плеча, на якому

розміщений вантаж 2, на зразок зростає стискуюче зусилля. В момент руйнування зразка рух каретки 4 зупиняють і по стрільці каретки 3 із шкали важеля 5 записують значення величини міцності формівної суміші при стисканні.

### Визначення границі міцності стержневої суміші на розтяг

Міцність стержневих сумішей на розтяг визначають на зразках-вісімках. Зразки випробовують на приладі (рис. 12), що складається із станини з двома стійками 7 і 8.

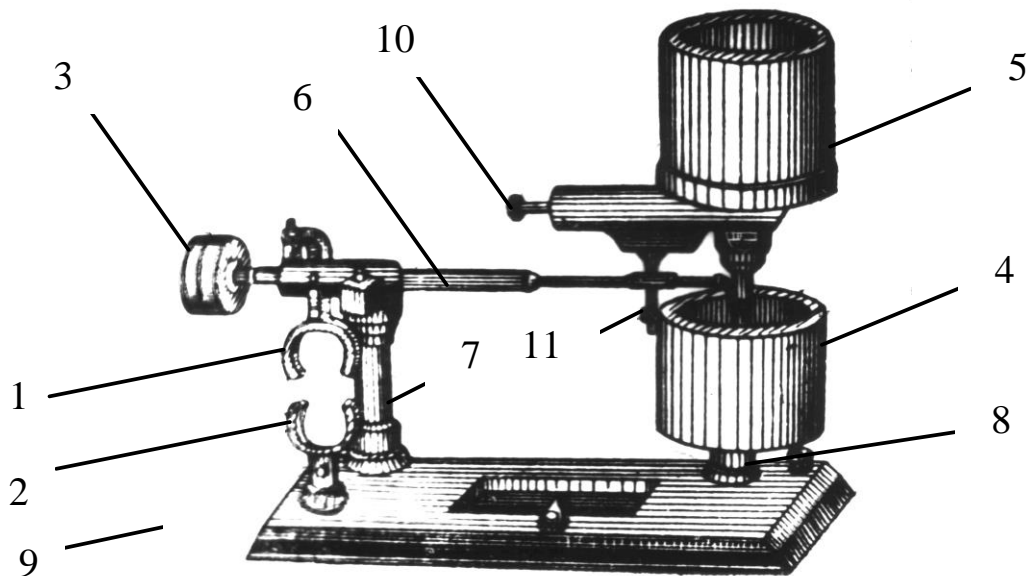


Рис.12. Прилад для випробування зразків із стержневих сумішів на розтяг

На лівій стійці 7 встановлено двоплечний важіль 6, на правій – кріпиться бункер 5. Вантаж 3 урівноважує вагу важеля 6, який опирається ножем на призму стійки 7 і вагу відра 4, що підвішене на його правому кінці. Захвати для закріплення зразків: верхній 1 – шарнірно підвішений до важеля 6, нижній 2 – з'єднаний із станиною пристроєм 9, що регулює відстань між захватами. У бункер засипають чавунний або сталевий шрїт. Отвір, що знаходиться на дні бункера 5, відкривається вручну затвором 10, а закривається автоматично, якщо потягнути вниз за фіксатор 11.

Випробування зразків на розтяг проводять в наступній послїдовності. Встановлюють зразок в захватах 1 і 2. За допомогою пристрою 9, обертаючи гайку, усувають зазор між зразком та захватами. Рукою відтягують затвор 10 і шрїт висипається через отвір з бункера у відро. Вага шроту через важіль 6 спричиняє розтягуюче

зусилля на верхній захват 1, в якому знаходиться випробуваний зразок. В момент розриву зразка важіль 6 падає на фіксатор 11 і випуск шроту з бункера 5 припиняється. Відро 4 знімають і зважують шріт. Границю на розтяг стержневої суміші визначають за формулою (4):

$$\sigma = \frac{G \cdot 10}{F} \quad (4)$$

де : G - вага шроту, кг;

F = (a x в)– площа поперечного перерізу зразка , см<sup>2</sup>;

10 – співвідношення плеч важеля.

Таблиця 4. Стандартизовані властивості стержневих сумішей для чавунних і сталевих виливків

Газо-проникність, см/хв	Границя міцності на розтяг, кгс/см <sup>2</sup>	Клас стержнів	Характеристики стержнів
101 - 130	7 -.10	I	Стержні складної конфігурації, які утворюють у виливках необроблювані поверхні, до чистоти яких ставляться високі вимоги
91 - 100	5 -.7	II	Стержні складної конфігурації, які мають крім масивних частин, тонкі перемички, виступи. Вони утворюють у виливках повністю або частково оброблювальні поверхні.
81 - 90	3,5 -.6,0	III	Стержні, що мають форму середньої складності. Вони не мають особливо тонких частин, але утворюють у виливках порожнини з поверхнями високої чистоти.
71 - 80	2 -.3	IV	Стержні простої конфігурації, які утворюють у виливках оброблювальні і не оброблювальні поверхні. Особливих вимог до чистоти їх поверхонь не ставиться.
до 70	0,8 -.1,5	V	Масивні стержні, які утворюють значні порожнини у великих виливках.

### Ливникова система

**Ливникова система** – це сукупність каналів, якими рідкий метал надходить у ливарну форму. Ливникова система складається з ливникової чаші 1, стояка 2, шлаковловлювача 3, живильників 4 (рис. 13), а також випору (6) та надливу (5) (рис. 13 б).

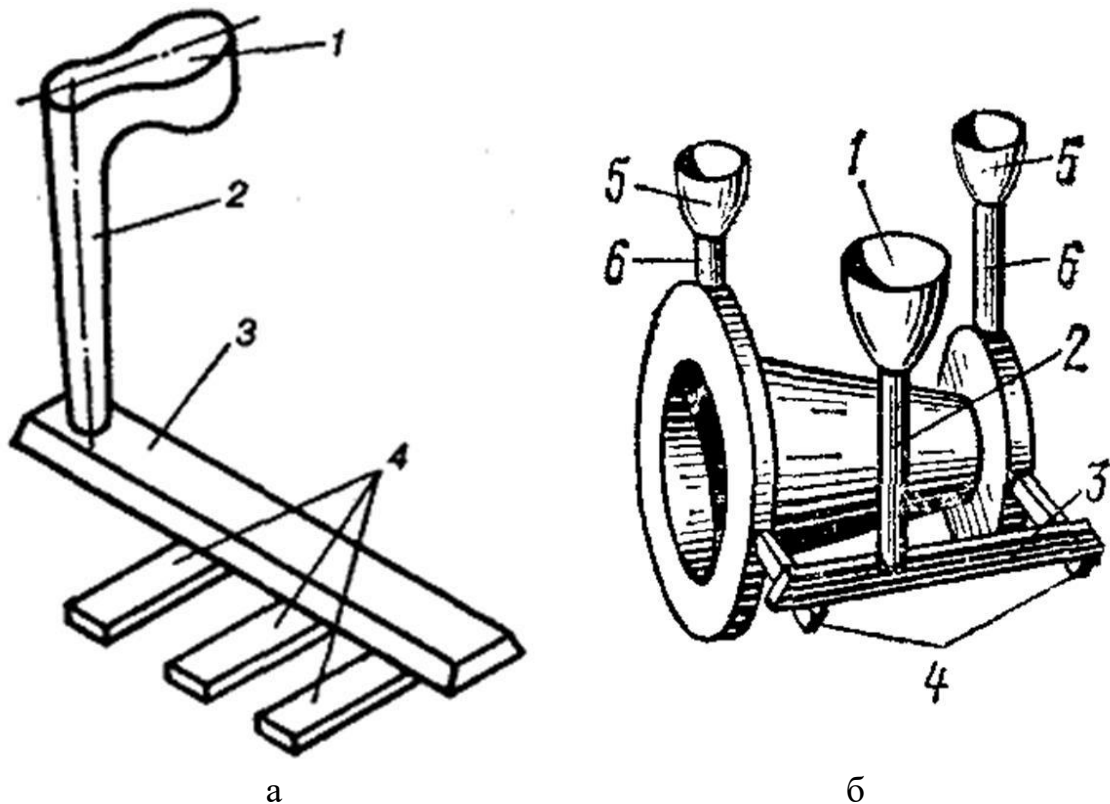


Рис. 13. Ливникова система:

а,б: 1 - ливникова чаша, 2 - стояк, 3 - шлаковловлювач, 4 – живильники; б: 5 - надлив, 6 - випор.

**Ливникова чаша (1)** призначена для приймання рідкого металу з ковша.

По **стояку** конічної форми (2) метал надходить у **шлаковловлювач** (переріз у формі трапеції) (3), який розміщено у верхній половині ливарної форми.

**Шлаковловлювач** призначений для затримування шлакових і земляних включень, які спливають на поверхню металу.

**Живильники (4)** підводять рідкий метал у порожнину ливарної форми.

**Випор (6)** встановлюють у найвищій точці виливка. Рідкий метал заповнює випор останнім, що дає змогу контролювати заливання форми. Повітря виходить крізь випор при заповненні ливарної форми рідким металом.

**Надлив (5)** застосовують для отримання виливків без усадкових раковин і пористості, які можуть утворюватися внаслідок зменшення об'єму розплаву при його кристалізації. Надливи розміщують біля масивних частин виливків, де усадка виявляється найбільш значною.

#### Модельне оснащення



**Модельним оснащенням** називають пристосування для виготовлення форм і стержнів. Моделі, підмодельні плити (рис. 14), стержньові ящики відносяться до модельного оснащення.

**Моделі** – це пристосування, за допомогою яких у формувальній суміші одержують відбитки порожнини, що відповідають зовнішній конфігурації виливків.

**Розміри** моделі роблять **більшими** за відповідні розміри виливків на величину **лінійної усадки сплаву** (для вуглецевої сталі 1,8—2%, для чавуну 0,8—1,2%, для кольорових сплавів – 0,8 – 1,7%). Моделі роблять з деревини, металевих сплавів і пластмас.

Для отримання у формі відбитків **знакових частин** стержнів, якими стержень кріпиться у формі, модель має знаки — виступаючі частини. Щоб при витяганні моделі форма не руйнувалася, вертикальні стінки моделі роблять з ухилами. Для плавного сполучення стінок виливків моделі роблять з заокругленнями. Заокруглення внутрішніх кутів називається **галтеллю**.

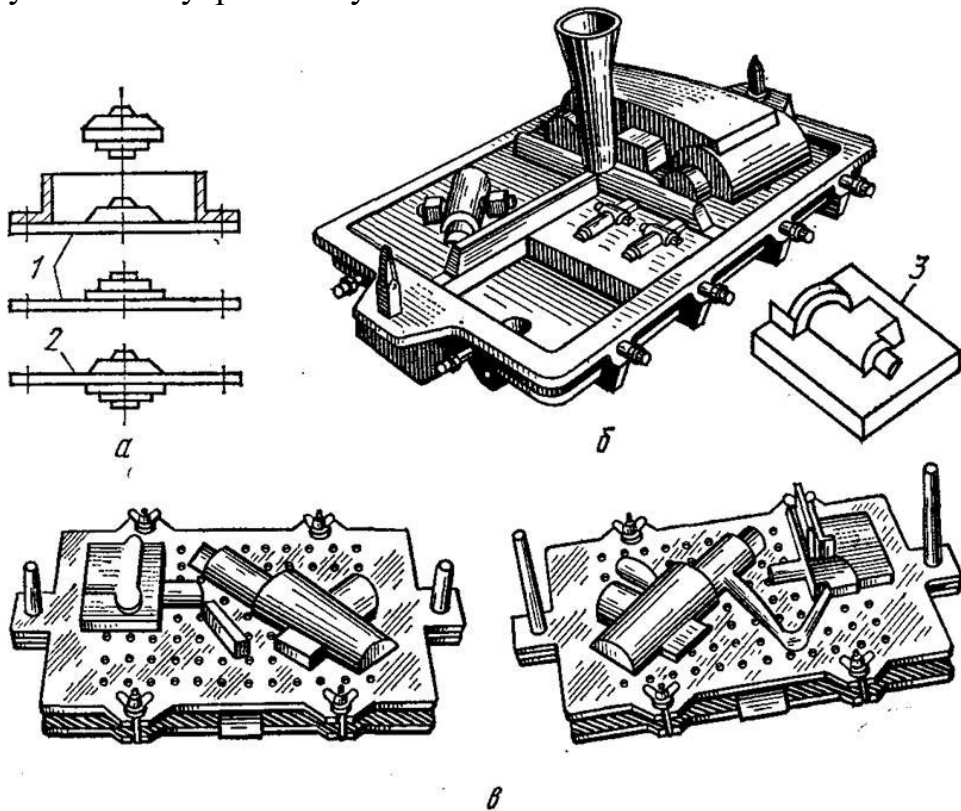


Рис. 14. Підмодельні плити  
 а — одностороння (1) і двостороння (2) підмодельна плита;  
 б — підмодельна плита зі змінними вкладишами 3;  
 в — координатна плита.

## Стержневі ящики

**Стержневі ящики** використовують для виготовлення стержнів. Стержні встановлюються у ливарних формах при їх зборці. Стержні утворюють отвори і порожнини всередині виливків. Стержневі ящики мають ливарні ухили, при визначенні їх розмірів враховують розмір усадки сплаву та припуск на механічну обробку (рис. 15).

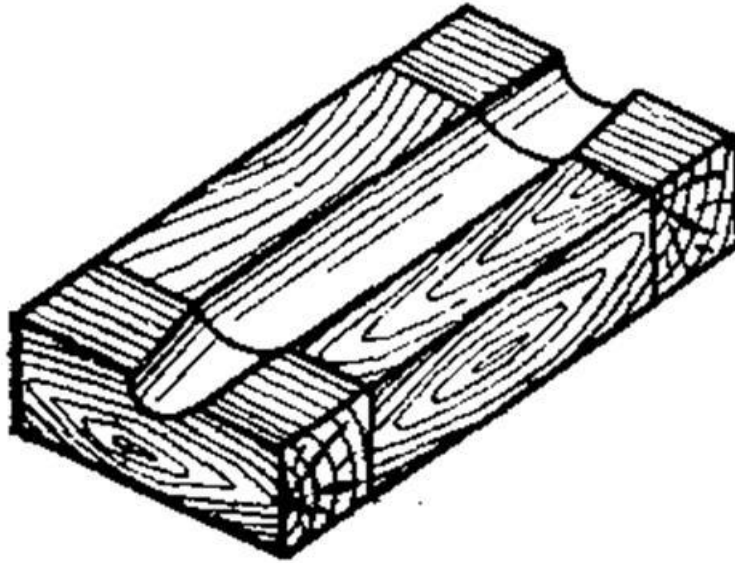


Рис. 15. Половина дерев'яного стержневого ящика

Стержневі ящики роблять із тих же матеріалів, що й моделі. Стержневі ящики можуть бути нероз'ємними (які витрушують) і роз'ємними. Стержневі ящики для виготовлення стрижнів із сумішей гарячого затвердіння мають електричні або газові нагрівачі.

## Опоки

**Опоки** – це міцні металеві рами різної форми, призначені для виготовлення ливарних напівформ із формувальних. Опоки виготовляють із сірого чавуну, сталі, алюмінієвих сплавів. Вони можуть бути суцільнолитими, зварними або збірними з окремих литих частин (рис. 16).

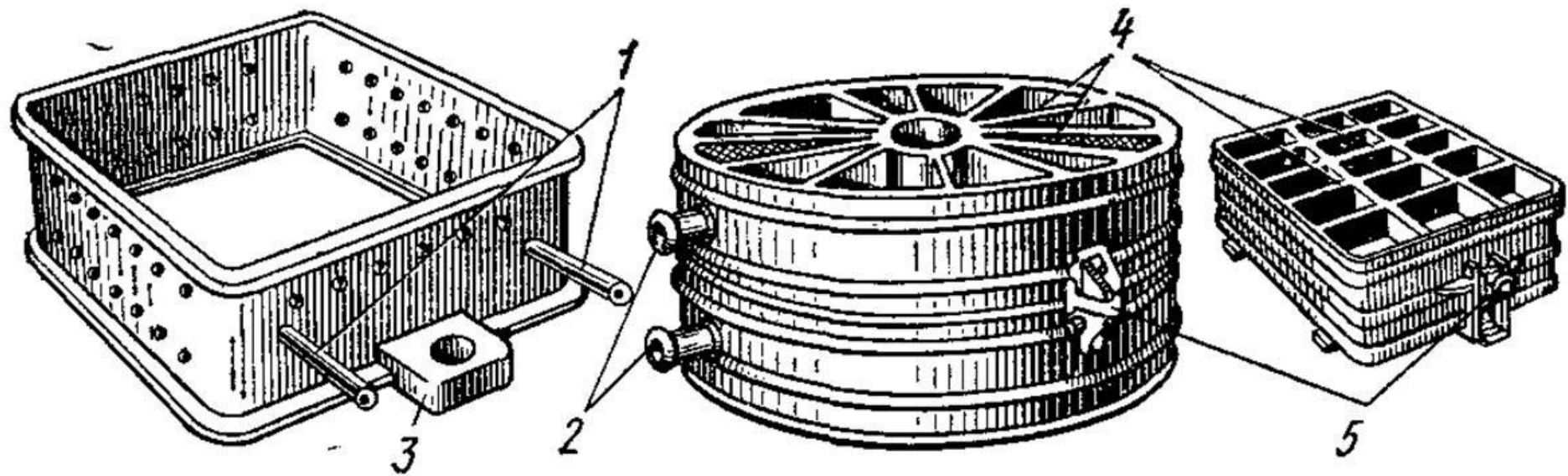


Рис. 16. Опоки.

1 – ручка; 2 – цапфа; 3 – центруючий отвір; 4 – внутрішні ребра; 5 – скріплення опок.

Стінки опоки часто роблять з отворами для зменшення їх маси, видалення газів із форми при заливці та для кращого зчеплення формувальної землі з опокою. Для утримання ущільненої землі роблять внутрішні ребра. Сполучають опоки штирями і центруючими отворами в приливах. Для скріплення опоки застосовують скоби або інші пристосування.

### **Класифікація ливарних форм**

Ливарні форми розрізняють за:

- терміном служби (разові, багаторазові);
- станом перед заливанням (сухі, напівсухі, вологі, хімічно тверднучі, самотверднучі);
- технологією виготовлення (ручне, машинне формування).

### **Технологія формування в двох опоках за роз'ємною моделлю**

1. Нижню половинку моделі кладуть на підмодельну дошку, посипають її пудрою і накривають опокою (рис. 17 а);
2. Шар облицьовуваної, а потім наповнювальної суміші наносять на модель;
3. Формову суміш ущільнюють в опоці та наколюють вентиляційною голкою для збільшення газопроникності форми (рис. 17 б);
4. Виготовлену форму перевертають разом із підмодельною дошкою і на нижню половинку моделі встановлюють верхню;
5. Верхню опоку ставлять і центрують її з нижньою по штирях;
6. Моделі стояка, шлаковловлювача і випорів встановлюють, а поверхню роз'єму посипають піском для розділу (рис. 17 в);
7. Моделі стояка, випорів і ливникової чаші видаляють після засипання формової суміші у верхню опоку і ущільнивши її (рис. 17 г);
8. Верхню півформу знімають з нижньої й перевертають її площиною роз'єму догори (рис. 17 д);
9. Формову суміш змочують водою навколо моделей, а потім моделі розштовхують за допомогою підйомника і видаляють із форми;
10. Встановлюють стержні у форму, складають її, скріплюють опоки й укладають вантаж на верхню півформу (рис. 17 е);
11. Ливарні форми та стержні перед заливанням металевим розплавом покривають фарбою та припилком. **Фарба** складається з вогнетривкої глини, графіту, кварцового піску, зв'язуючого. **Припил** складається з порошкового графіту та вугілля деревини.
12. Готовий виливок з невиділеною ливниковою системою наведено на рис. 17 є.

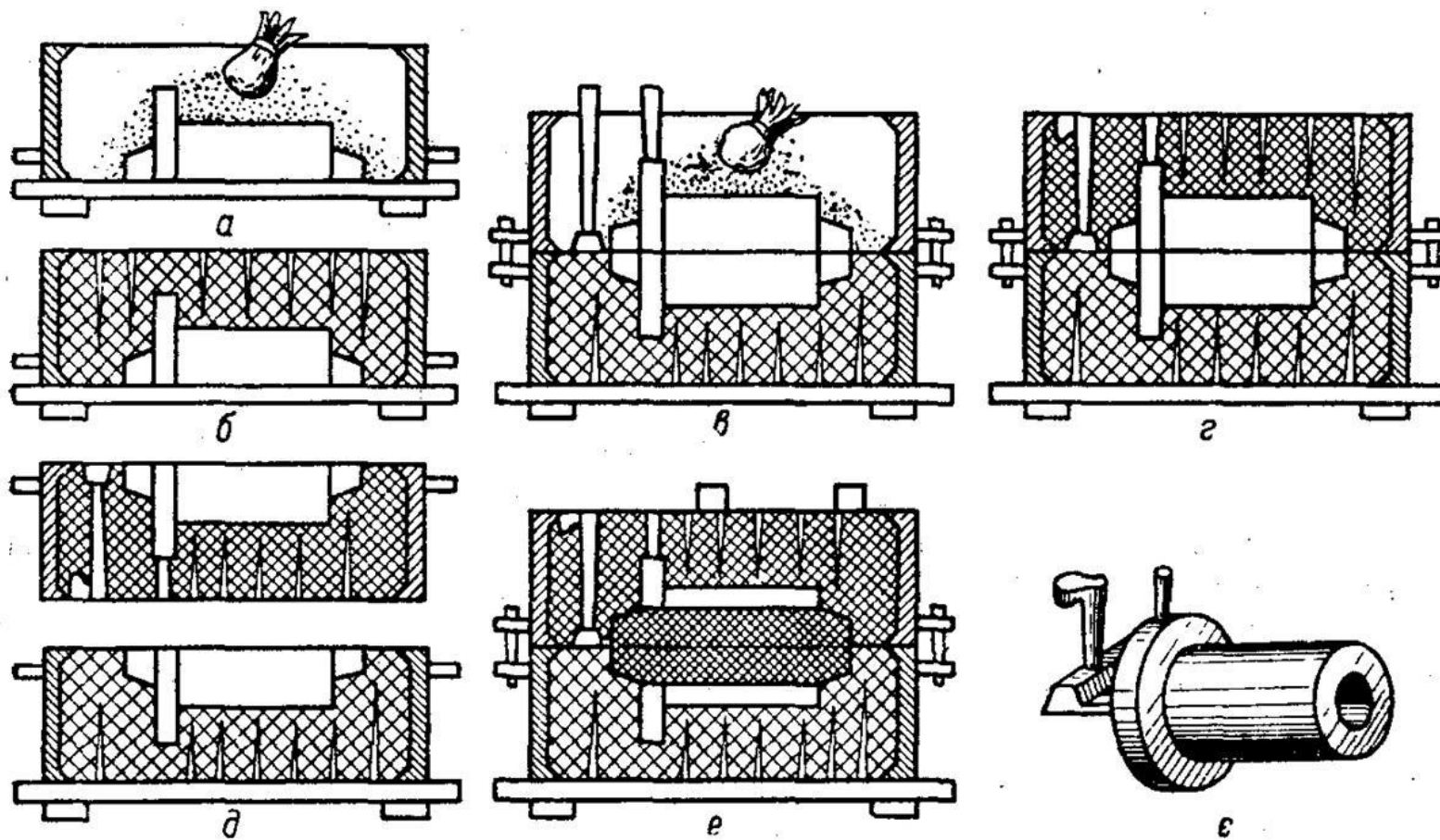


Рис. 17. Послідовність технологічних операцій формування в двох опоках за роз'ємною моделлю

При ручному виготовленні ливарних форм суміш ущільнюють трамбівками (рис. 18 а), вентиляційні отвори наколюють роблять голками (рис. 18 б), а зайву суміш видаляють кистю або щіткою (рис. 18 в).

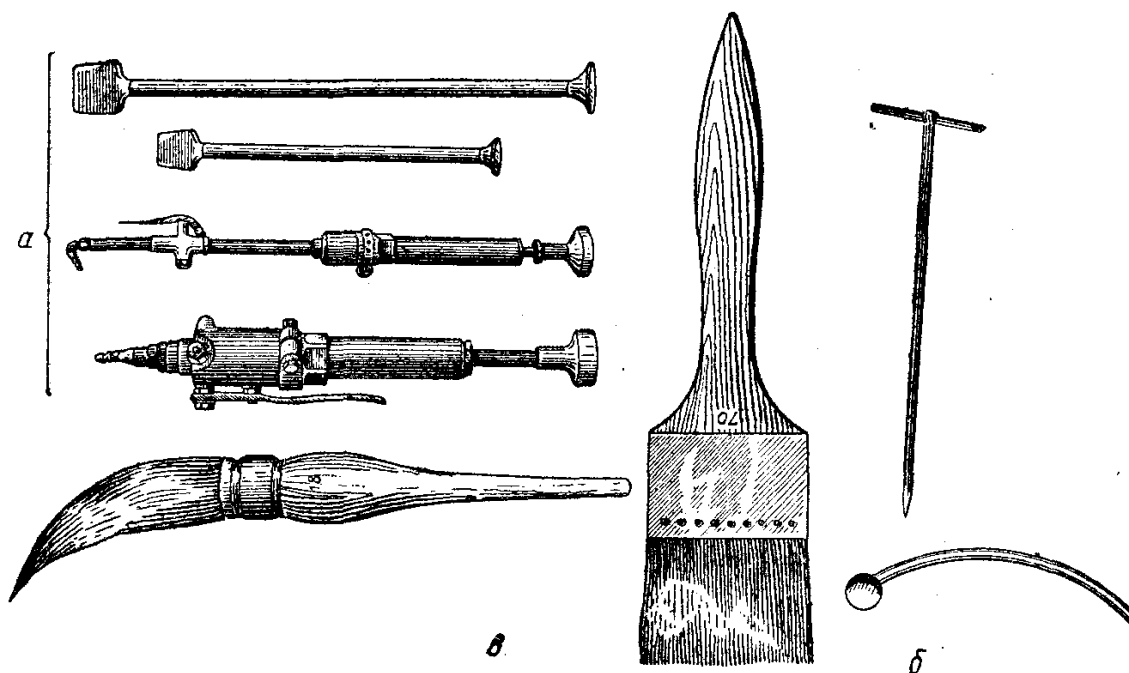


Рис. 18. Формівний інструмент  
а - трамбівками; б - голками для утворення вентиляційних отворів;  
в – формівна кисть і щітка.

### Технологія виготовлення стержнів

Стержні виготовляють у стержневих ящиках. Технологія виготовлення стержнів наведена на рис 19. Стержневий ящик складається з двох половинок (1) з направляючими (2), які перед формуванням скріплюють струбцинами і потім набивають стержневою сумішшю. У стержень встановлюють дротяний каркас (4) і наколюють вентиляційні канали (3). Потім після ущільнення суміші стержневий ящик розбирають і виймають стержень.

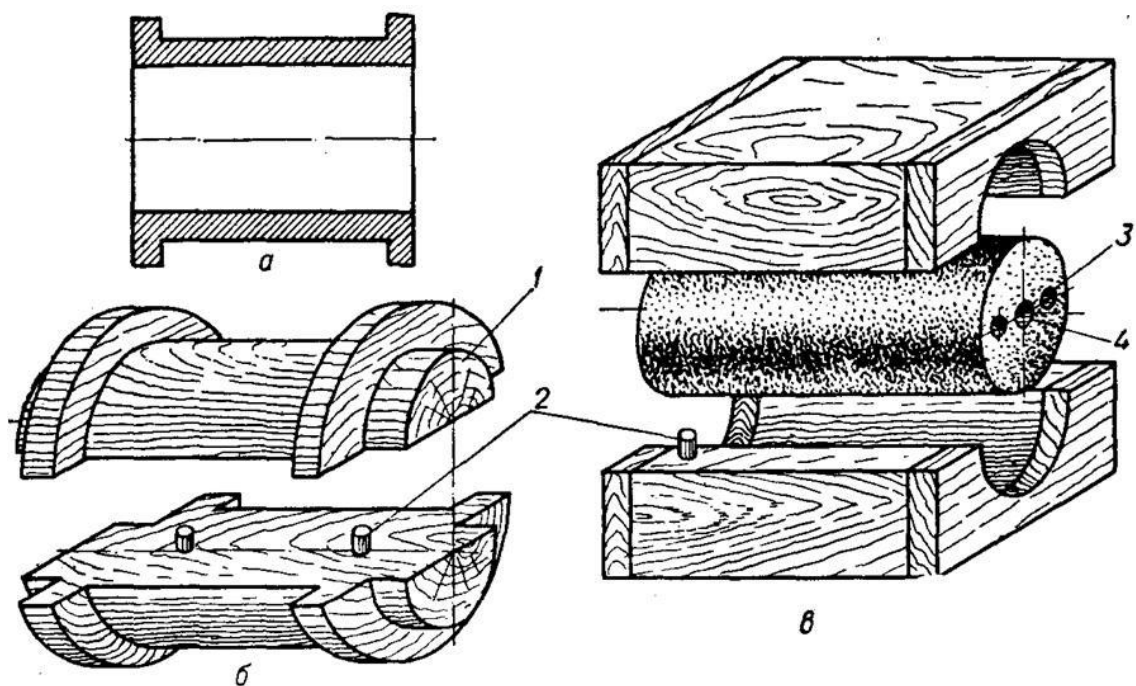


Рис. 19. Схема виготовлення стержня (в) у стержневому ящику (б) для виливка (а).

## Виплавка сплавів у ливарних цехах

### Виплавка сталі

Сталі виплавляють у конверторах, мартенах та електродпечах

#### Конвертерний процес отримання сталі

*Вихідні матеріали для отримання сталі в конвертері.*

Основною сировиною для виробництва сталі є переробний чавун і скрап (металобрухт, металеві відходи заводів). Сталь у порівнянні з чавуном містить меншу кількість вуглецю, марганцю, кремнію, фосфору та сірки. Зменшення надлишків вуглецю, марганцю, кремнію і фосфору відбувається шляхом їх окислення. Під час окислення вуглець у вигляді газоподібного оксиду вуглецю  $CO$  виходить в атмосферу, а марганець і кремній утворюють нерозчинні в розплавленому металі оксиди  $MnO$  і  $SiO_2$ . Фосфор оксидується до  $P_2O_5$ , який, сполучаючись із флюсом  $CaO$ , переходить у нерозчинний у металі фосфат кальцію  $(CaO)_3 \times P_2O_5$ . Сірку з розчиненого в металі сульфиду заліза  $FeS$  переводять у нерозчинний сульфід кальцію  $CaS$ . Сполуки  $MnO$ ,  $SiO_2$ ,  $(CaO)_3 \times P_2O_5$  мають меншу від заліза густину та спливають на поверхню як шлак. Окислення домішок здійснюють

продуванням розплаву повітрям або киснем у конвертерах або відбувається його обробка окислами заліза (рудною та окалиною) в мартенівських і електричних печах.

*Конвертер із нижнім дуттям повітрям* – це посудина грушовидної форми (рис. 20).

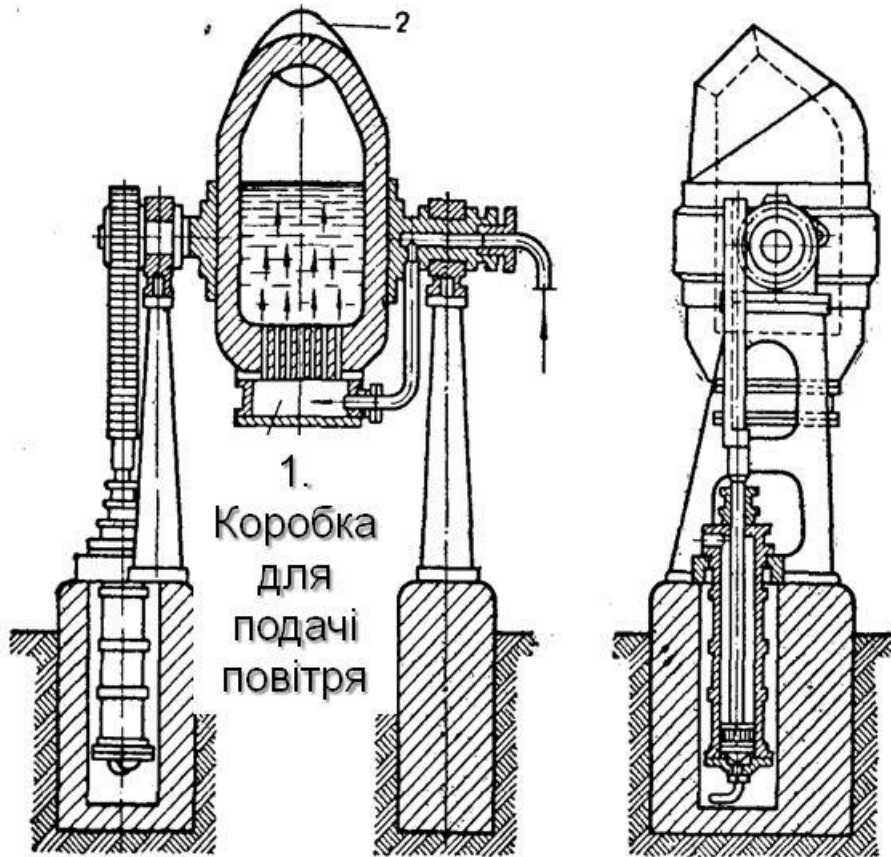


Рис. 20. Схема конвертеру із нижнім дуттям повітрям

Сталевий корпус футерують вогнетривким матеріалом. Повітря подається в коробку 1 під тиском 2,0 - 2,5 ат) крізь фурми в днищі. Рідкий чавун заливають через горловину 2, для чого конвертер повертають у горизонтальне положення. Після заливання чавуну подають дуття, повертають конвертер у вертикальне (робоче) положення та починають процес плавлення сталі. По закінченню плавлення конвертер повертають у горизонтальне положення і припиняють дуття. Місткість конвертерів на повітряному дутті досягає 10 - 75 т. Час продування становить від 8 до 12 хв.



Конвертер з верхнім кисневим дуттям (рис. 21).



Рис. 21. Схема конвертеру з верхнім кисневим дуттям

Місткість досягає 250 - 270 т. Шихтові матеріали: 70 % рідкого переробного чавуну, до 25 % скрапу, до 10 % залізної руди, вапняк  $\text{CaO}$  і плавиковий шпат  $\text{CaF}_2$ . Кисень подають за допомогою фурми, яку охолоджують водою та вводять у конвертер зверху крізь горловину.

Обертаючи конвертер на цапфах, можна встановлювати його в положення для завантаження твердої шихти, заливання чавуну, а також для випускання сталі та шлаку. На рисунку 9 показано положення конвертера під час продування.

### Виплавка сталі в мартенівських печах

*Вихідні матеріали.* Чавун, сталевий скрап (брухт), флюси, окислювачі та розкислювачі. У печах з основною футеровкою застосовується чавун, який містить до 1,25 %Si; до 1,75 %Mn; P = 0,15 - 0,3%; S = 0,03 - 0,07%. У печах з кислою футеровкою — чавун з низьким вмістом S і P: до 1,75 %Si; до 1,75 %Mn; P = 0,02 - 0,06%; S =

0,015 - 0,025%.

*Флюс.* Вапняк і випалене вапно застосовують як флюс в основних мартенівських печах, у кислих — кварцовий пісок.

*Окислювачі.* Залізна руда з високим вмістом окислів заліза і малим – шкідливих домішок.

*Розкислювачі.* Феромарганець, силікомарганець, феросиліцій, силікокальцій і алюміній.

*Легуючі.* У виробництві легованих сталей добавками є нікель і такі феросплави, як феровольфрам, феромолібден, ферохром тощо.

*Будова мартенівської печі*

Мартенівська піч – це регенеративна полуменева піч, у якій розвивається температура 1650 – 1800 °С. Газ і повітря, які беруть участь у процесі горіння, попередньо нагріваються до 1100—1300 °С теплом вихідних газів у регенераторах.

Мартенівська піч (рис. 22) складається з плавильного простору 7, каналів 3 і 4, регенераторів 1, 2 і 8, 9, перекидних пристроїв 10, 12 і димової труби 11. Завантаження вихідних матеріалів у плавильний простір відбувається крізь завалочні вікна 5. Плавильний простір печі обмежено ванною з подом, передньою і задньою стінками, склепінням і головками, розміщеними з обох кінців плавильного простору.

Ванна печі — це чаша овального перерізу, футерована кислими або основними вогнетривкими матеріалами. Місткість печі визначається розмірами цієї ванни і становить 650, 800 і навіть 900 т.

Під печі 6 нахилений до задньої стінки, у нижній частині якої є отвір для випускання готової рідкої сталі. Під час плавки отвір закривають вогнетривкою пробкою. Для підведення у плавильний простір печі нагрітих газів і повітря, а також для відведення продуктів горіння в його торцях розміщено головки, які залежно від напрямку потоку газу і повітря поперемінно працюють як пальник або як димовий канал.

Для підігрівання газу і повітря, що надходять у піч, є дві пари регенераторів, які являють собою камери з решітчастою кладкою з вогнетривкої цегли. Регенератори працюють попарно і поперемінно (рис. 10): коли перша пара 1 і 2 нагріває газ і повітря, друга пара 8 і 9 акумулює теплоту вихідних продуктів горіння.

Після охолодження першої пари регенераторів напрям руху газів за допомогою клапанів 10 і 12 змінюється: газ і повітря надходять у плавильний простір крізь другу пару регенераторів, а продукти горіння нагрівають першу пару.

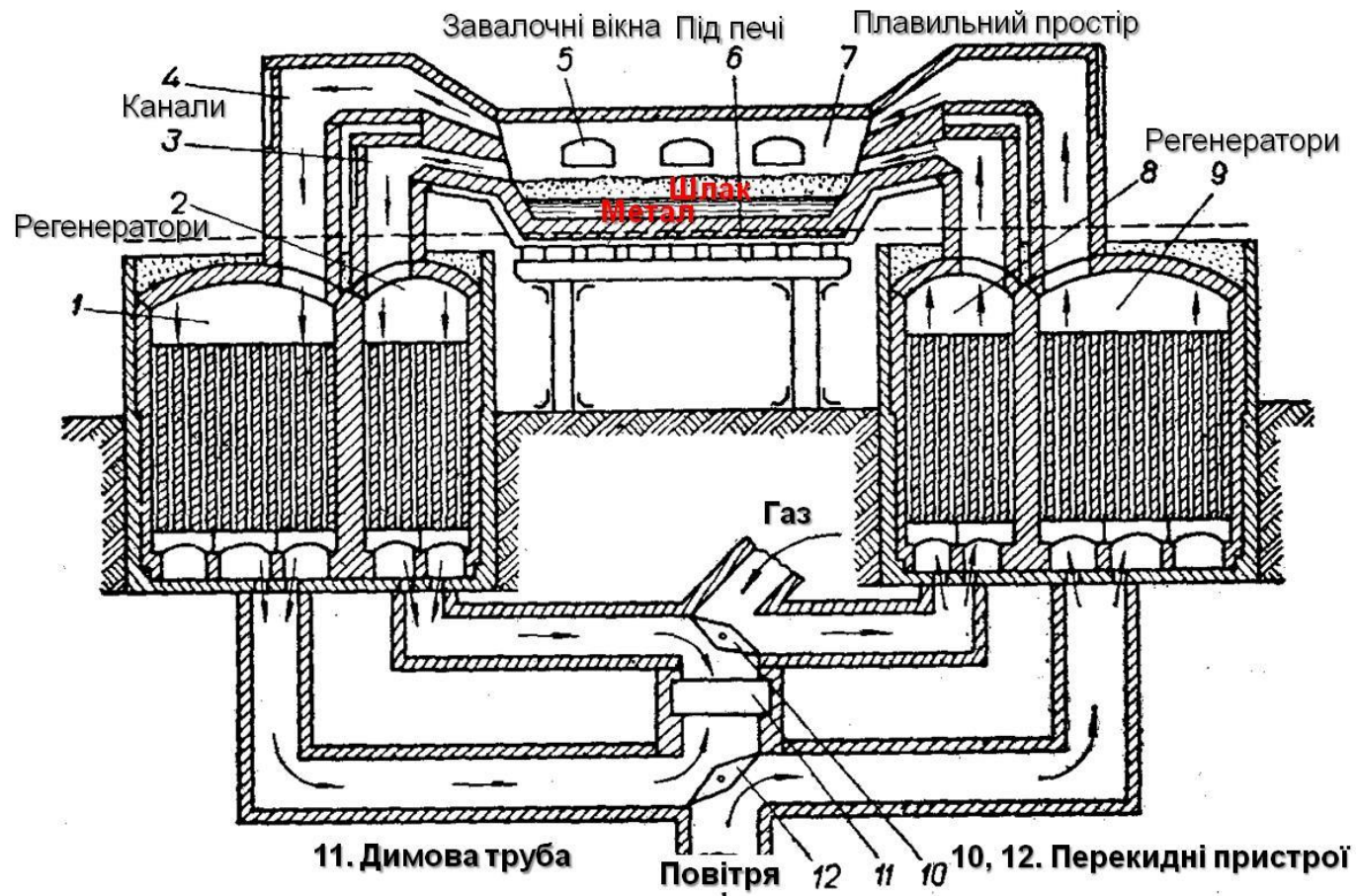
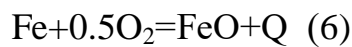
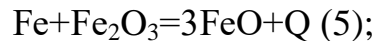


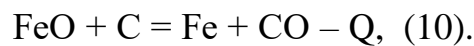
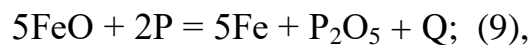
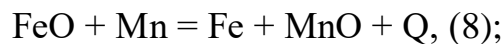
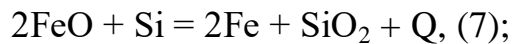
Рис. 22. Будова мартенівської печі

### *Виплавка сталі в мартенівських печах*

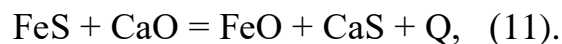
*Скрап-рудний процес* застосовують там, де є доменне виробництво. Шихта складається з рідкого чавуну (60 – 70%), сталевих брухту (40 – 30%), залізної руди і флюсів. Завалюють шихту пошарово: руда, флюс і сталевий брухт. Рідкий чавун заливають після 1 – 1,5 год прогрівання твердої шихти. При розплавленні шихти рідкий метал, рідкий шлак і газоподібні продукти згорання палива та розкладання флюсу і руди взаємодіють між собою внаслідок окислювальних



та відновлювальних реакцій:



Окисли, що утворилися, переходять у шлак. Окис фосфору  $\text{P}_2\text{O}_5$  утворює в шлаку нерозчинну в металі сполуку  $\text{CaO}_4 \cdot \text{P}_2\text{O}_5$ . Сірка видаляється в шлак у результаті взаємодії розчиненого в металі сірчастого заліза з вапном шлаку



### *Виплавка сталі в основних мартенівських печах*

Під час плавлення беруть проби металу і шлаку, щоб виявити, наскільки окислилися домішки. Досягнувши бажаного ступеня дефосфорації (видалення фосфору) і потрібного вмісту вуглецю в металі, металеву ванну переводять на чисте (безрудне) кипіння. Воно посилюється з підвищенням температури і характеризується виділенням на поверхні шлаку бульбашок. Протягом цього періоду метал звільняється від вуглецю, газів і неметалевих включень. Як тільки заданого вмісту вуглецю досягнуто, процес кипіння припиняють і починають останній період плавки — розкислення.

*Киплячу* сталь розкислюють феромарганцем за 3—5 хв до випускання з печі.

*Спокійну* сталь розкислюють спочатку в печі  $FeMn$  і  $FeSi$ , а остаточно — у ковші  $FeSi$  і  $Al$ .

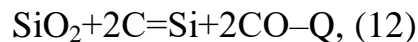
При плавленні легованої сталі  $FeCr$  і  $FeW$  вводять у піч після попереднього розкислення,  $FeV$  і  $FeTi$  добавляють у ківш після остаточного розкислення, а  $Ni$  і  $Mo$  — у період завалювання шихти, оскільки вони не окислюються в розплавленій ванні.

*Скрап процес* застосовують на заводах, де немає доменного виробництва. Шихта складається з 65—80% сталевих відходів і брухту, решта — чушковий чавун. Відрізняється цей процес від скрап-рудного лише методами завалювання і плавлення шихти.

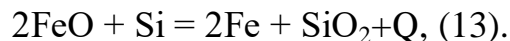
Шихту завалюють у такій послідовності: на під завантажують 15 – 30% скрапу, покривають його вапняком і прогрівають 25 – 35 хв, а потім завантажують решту скрапу, ще раз прогрівають і зверху засипають чавун.

Щоб скоротити час плавки, при завалюванні і розплавленні шихти печі дають повне теплове навантаження. Коли шихта нагрівається, першим починає плавитись чавун, що прискорює процес плавлення сталевого брухту.

Скрап-процес плавлення ведуть шляхом переробки чавуну і відібраного сталевого брухту із вмістом фосфору та сірки до 0,03% кожного. Кварцовий пісок і шлак попередніх кислих мартенівських плавок застосовують як флюс. Процес полягає у видаленні  $C$ ,  $Mn$  і  $Si$  з металу під шаром кислого шлаку, який містить 55—60% кремнезему і є майже непроникним для димових газів. Особливістю процесу є саморозкислення металу кремнієм, який відновлюється з кремнезему шлаку



та відновлює залізо з оксиду заліза:



Сталь, відновлена кремнієм, не потребує додаткового розкислення. Кисла сталь має більшу густину та однорідність, ніж сталь, що виплавлена в основному процесі, вона краще розкислена, містить менше неметалевих включень і має поліпшені механічні властивості. Проте через дефіцит і дорожнечу сировинних матеріалів

кислий мартенівський процес зараз застосовують тільки у виробництві виливків дуже відповідального призначення.

#### *Основні показники роботи мартенівських печей*

Середнє виробництво сталі з 1 м<sup>2</sup> поду печі становить 7 - 15 т. Витрата палива на 1 т виплавленої сталі становлять 100-180 кг при скрап-рудному процесі та 170 - 250 кг при скрап процесі. Менше умовного палива витрачається в печах більшої місткості. При введенні кисню у ванну процеси плавлення прискорюються та продуктивність печей збільшуючи на 20—30% .

### **Виплавка сталі в електричних печах**

*Вихідні матеріали.*

Стальний скрап (брухт).

Чавун (5—10%).

Флюси (вапно в основних печах, кварцевий пісок – у кислих).

Окислювачі (залізна руда або кисень).

Розкислювачі.

Феросплави.

#### *Будова дугової електричної печі*

Електрична дуга утворюється між графітовими електродами 1 і завантаженою в піч металевою шихтою 5 (рис. 23). Плавильний простір печі обмежений подом, склепінням 2 і боковими стінками. Крізь отвори у склепінні пропущено три електроди. У стінках зроблено вікно 3 для завантаження та отвір 4 для випускання металу. За допомогою механізму 6 піч можна нахилити. Футерують печі основними або кислими вогнетривкими матеріалами.

Більш поширені печі з основною футеровкою, оскільки в них можна видаляти з рідких сталей сірку і фосфор.

#### *Виплавка в основних дугових електронечах*

Сталь виплавляють з повним окисленням домішок (Вуглець, шкідливі домішки та гази видаляють внаслідок інтенсивного кипіння металу), з частковим окисленням домішок (Вміст вуглецю і фосфору знижують шляхом слабого кипіння внаслідок присадки залізної руди), без окислення домішок або переплавлення (застосовують при переробці металевих відходів, склад яких відповідає складу сталі, що виплавляється).

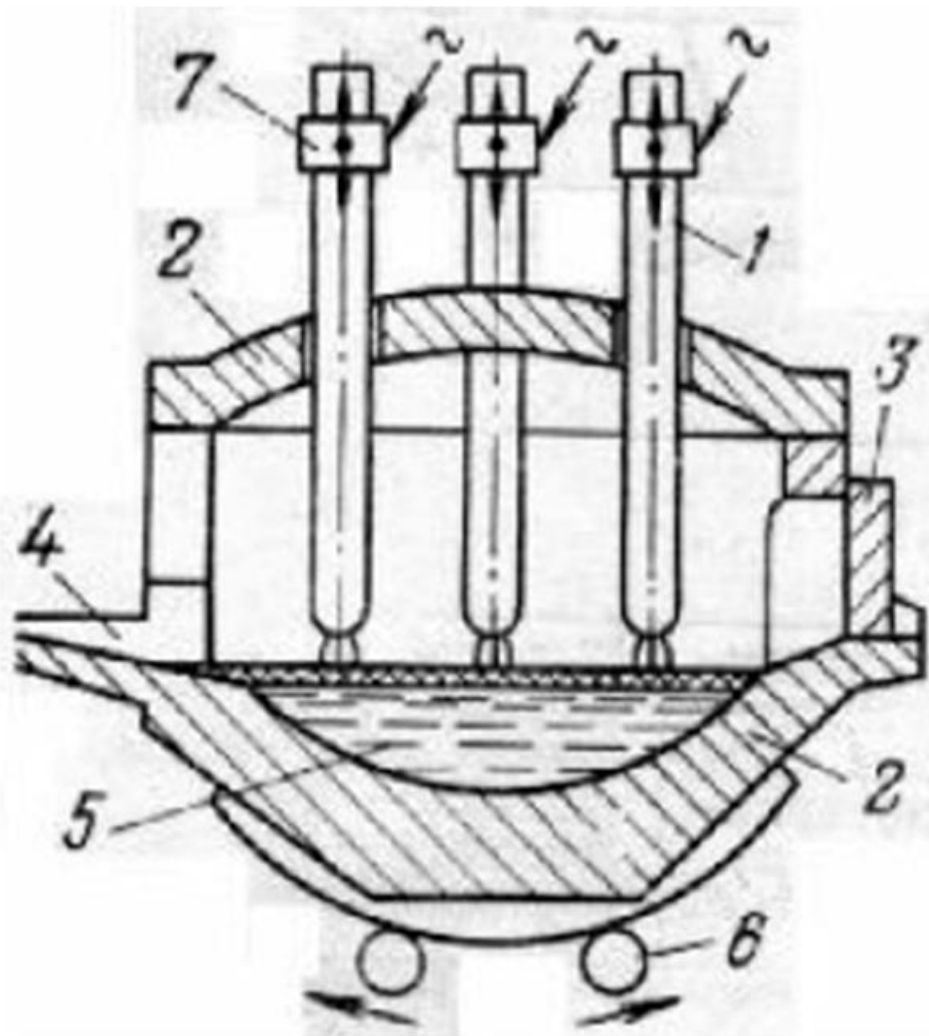


Рис. 23. Будова дугової електричної печі  
 1 – електрод, 2 – футеровка, 3 – робоче вікно;  
 4 – отвір для випуску рідкої сталі, 5 – розплав,  
 6 – механізм нахилу, 7 – держателі електродів

*Особливості плавлення електросталі з окисненням.*

Після окислення елементів і розплавлення шихти утворюється шлак, який сприяє видаленню фосфору з рідкого металу. Після досягнення потрібного вмісту вуглецю і фосфору кипіння припиняють, скачують окислювальний шлак і приступають до розкислення металу, яке ведуть дифузійним методом, тобто через шлак.

Розкислення сталі завершують за 2—3 хв до її випускання шляхом вводу 0,4—1 кг/т алюмінію або до 1 кг/т силікокальцію. При плавленні легованих сталей для доведення їх до заданого хімічного

складу в розкислений метал вводять легуючі феросплави.

#### *Виплавка сталі в кислих дугових електропечах*

У кислих електропечах домішки окислюються окалиною та іржею, а під час плавлення з окисленням – залізною рудою. Дифузійне розкислення ведуть, застосовуючи попереднє скачування окислювального шлаку та наведення нового — з феромарганцю, піску, шамотного бою і меленого феросиліцію, коксу або деревного вугілля.

При плавленні сталі в кислих дугових електропечах (порівняно з основними печами) спостерігається більш висока – у 2,5-3,0 рази – продуктивність, більша стійкість і менша вартість футеровки, менші витрати енергії, електродів і легуючих елементів.

Проте при кислому процесі фосфор і сірка не видаляються та застосовується, в основному, у виробництві фасонного сталюого литва.

#### *Виплавка сталі в індукційних печах*

##### *Будова індукційної печі*

Індукційні плавильні печі працюють на струмі з частотою 500 - 2000 гц, що виробляється спеціальним генератором. Піч складається з вогнетривкого тигля, розміщеного всередині спіралі, виготовленої з мідної трубки (індуктора), що охолоджується водою (рис. 24).

По індуктору проходить струм високої частоти, який збуджує в металі, що є в тиглі, вихрові струми, які нагрівають метал до температури плавлення.

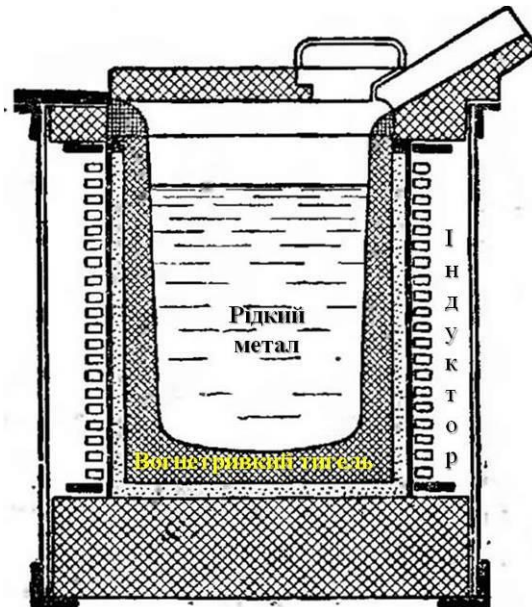


Рис. 24. Будова індукційної печі



### *Технологія виплавки сталі в індукційних печах*

Плавлення сталі в індукційних електропечах ведуть методом переплавлення шихтових матеріалів. Склад шихти визначають залежно від необхідного хімічного складу виплавленого металу. Під час плавлення шихти на поверхню металу періодично додають шлакову суміш, а після розплавлення шлак видаляють і вводять новий такого самого складу.

Попередньо розкисляють сталь, вводячи у ванну кускові розкислювачі, а в шлакову суміш – мелений кокс, феросиліцій і алюміній. Остаточо сталь розкисляють алюмінієм при випусканні з печі.

Індукційні електропечі високої частоти найбільш раціонально використовувати для плавлення високолегованих сталей — нержавіючих, жароміцних, жаростійких тощо. У цих печах можна вести плавку сталі під вакуумом, що важко здійснити в дугових електропечах.

### **Виплавка чавуну**

Чавуни виплавляють у ливарних цехах у **вагранках** або **електропечах**.

Шихта складається з 30—40% доменного ливарного чавуну, 40—60% повороту власного виробництва і чавунного брухту, до 20% сталевих брухтів і до 10% феросплавів.

Флюсами є вапняк, доломіт і мартенівський шлак.

### **Будова вагранки**

**Вагранка** – це циліндрична шахтна піч (рис. 25). Кожух шахти 6 зварено зі сталі та зсередини футеровано шамотною цеглою 7. Шахта спирається на опорну плиту 2, закріплену на чотирьох колонах 1. Отвір плити закривають відкидним дном 16. Крізь вікно, яке під час роботи вагранки замурують і закривають кришкою 3, дно набивають формовою сумішшю. Угорі вагранка закінчується трубою 10 і розміщеним над нею іскровловлювачем 11, що вловлює розжарені часточки палива, винесені з вагранки разом із потоком відхідних газів. Шахту завантажують крізь вікно 9.

Щоб футеровка не зазнавала ударів шихти, на рівні завалочного вікна шахту викладають чавунною цеглою 8. Розплавлений чавун і шлак крізь отвір 12 стікають до накопичувача 13, де їх збирають і відстоюють. Звідси в міру потреби чавун випускають крізь чавунну льотку 15, а шлак — крізь шлакову льотку 14.

Повітря для горіння палива подається у вагранку з кільцевого

повітропроводу 5 крізь фурми 4.

Корисною висотою вагранки називають відстань від основного ряду фурм до нижньої кромки завалочного вікна. У цій зоні відбувається взаємодія гарячих газів із шихтою.

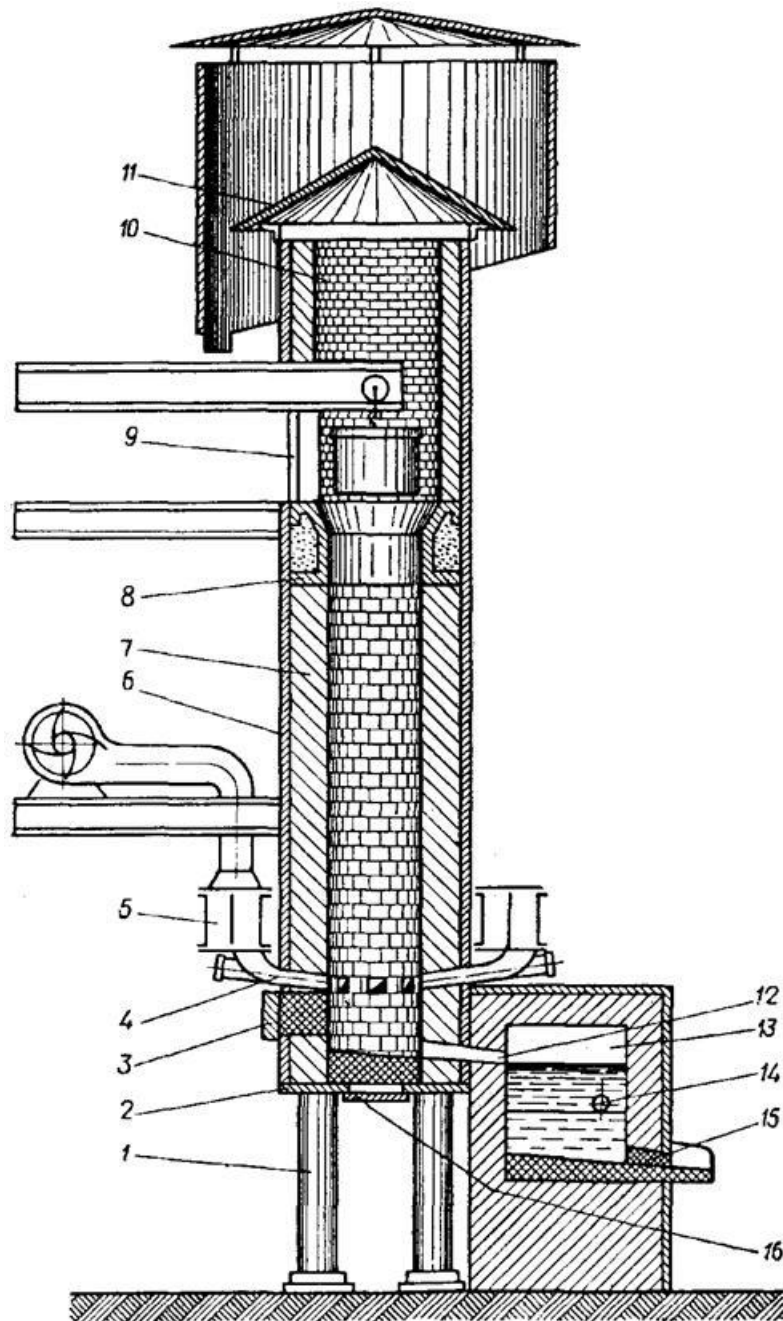


Рис. 25. Будова вагранки

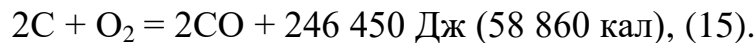
## Принцип роботи вагранки

Крізь завалочне вікно засипати кокс холостої колоші, що розігріває вагранку і підтримує стовп шихти.

На холосту колошу коксу завантажують металеву частину шихти, потім робочу паливну колошу коксу, а далі — флюс. У ході плавлення шихтові матеріали поступово опускаються, а крізь завалочне вікно вагранку завантажують новими порціями шихти. Гази, що утворюються внаслідок горіння вуглецю, піднімаються назустріч шихті, яка опускається, і віддають їй своє тепло, за рахунок якого шихта плавиться:



Частина коксу згоряє вище фурм і також виділяє деяку кількість тепла:



Розплавлений чавун, стікаючи по кусках розжареного коксу, розчиняє в собі вуглець. Перед закінченням плавки завантаження вагранки та подачу повітря припиняють і випускають чавун.

### Виплавка кольорових металів і сплавів

Кольорові метали та сплави в ливарних цехах плавлять у тигельних, полумєневих та дугових і індукційних електричних печах. Місткість печей буває від 50 кг до 5—10 т.

**Тигельна піч.** Тигельна піч футерована вогнетривкою кладкою 1 (рис. 26). Газ і повітря в піч подають крізь пальник 3. Метал плавиться у вогнетривких або металевих тиглях 4.

Паливом є мазут, природний газ або кокс. Алюмінієві і магнієві сплави плавлять у чавунних або сталєних тиглях, а мідні — у графітових або графіто-шамотних.

### Електродугова піч (місткість 100 - 1000 кг) для плавлення мідєних сплавів

Дуга горить між горизонтальними електродами 5, відстань між якими підтримується автоматично механізмом 6 (рис. 27). Під час плавлення піч періодично коливається за допомогою механізму повертання печі 7. Це прискорює перегрівання металу внаслідок стикання його з розжареними стінками печі.

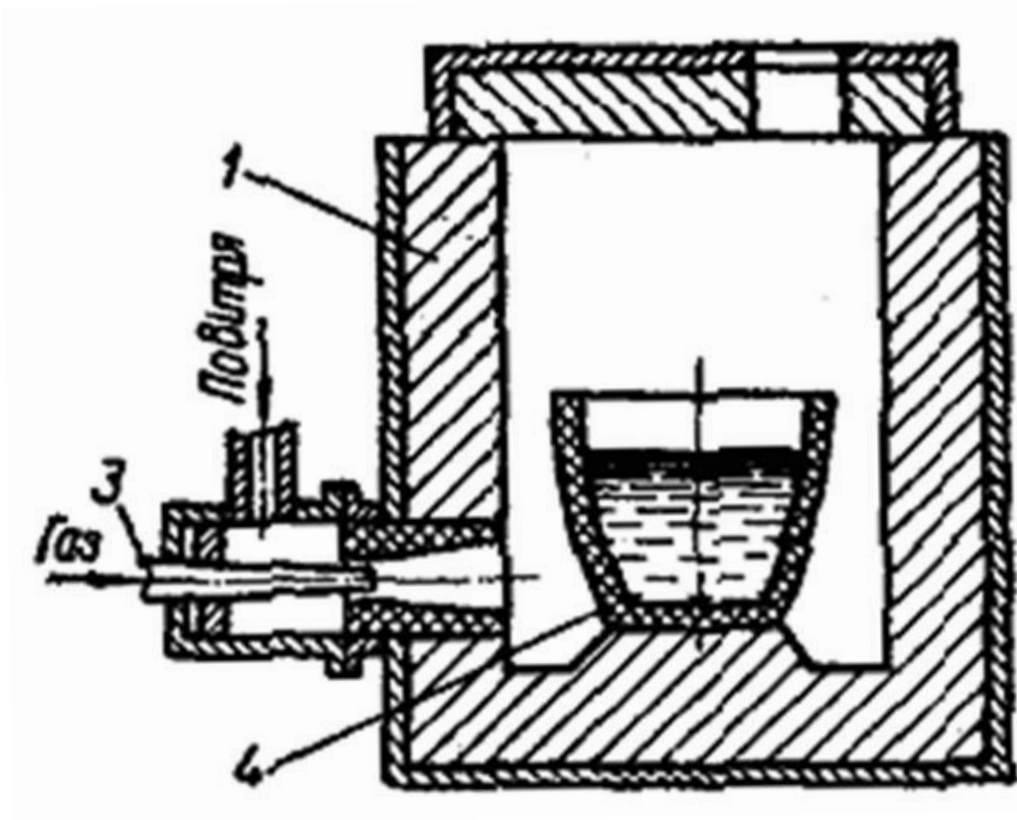


Рис. 26. Схема тигельної печі

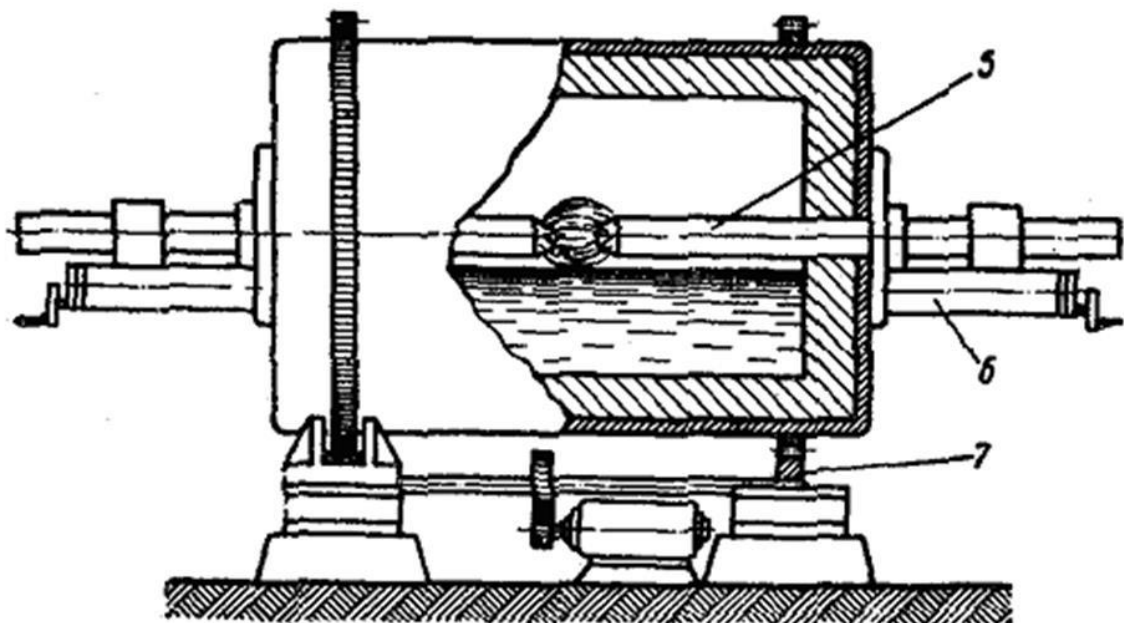


Рис. 27. Схема електродугової печі для плавлення мідних сплавів

Місткість електродугової печі для плавлення мідних сплавів від 100 до 1000 кг

### Виплавка титану

Титан має високу хімічну активність до кисню, азоту та вогнетривких матеріалів. Плавку й заливання титану та його сплавів ведуть у вакуумі або в нейтральній атмосфері. Титан плавлять в індукційній печі з графітовим тиглем 1, що охолоджується холодильником 2 з водою (рис. 28). На внутрішній поверхні тигля створюється шар з твердого титану (гарнісаж) 3, що захищає розплав від науглецьовування в процесі плавлення.

Електрод 4 плавиться і наповнює тигель. Склад електрода відповідає складові сплаву, який плавлять.

Після наповнення тигля метал заливають у форму.

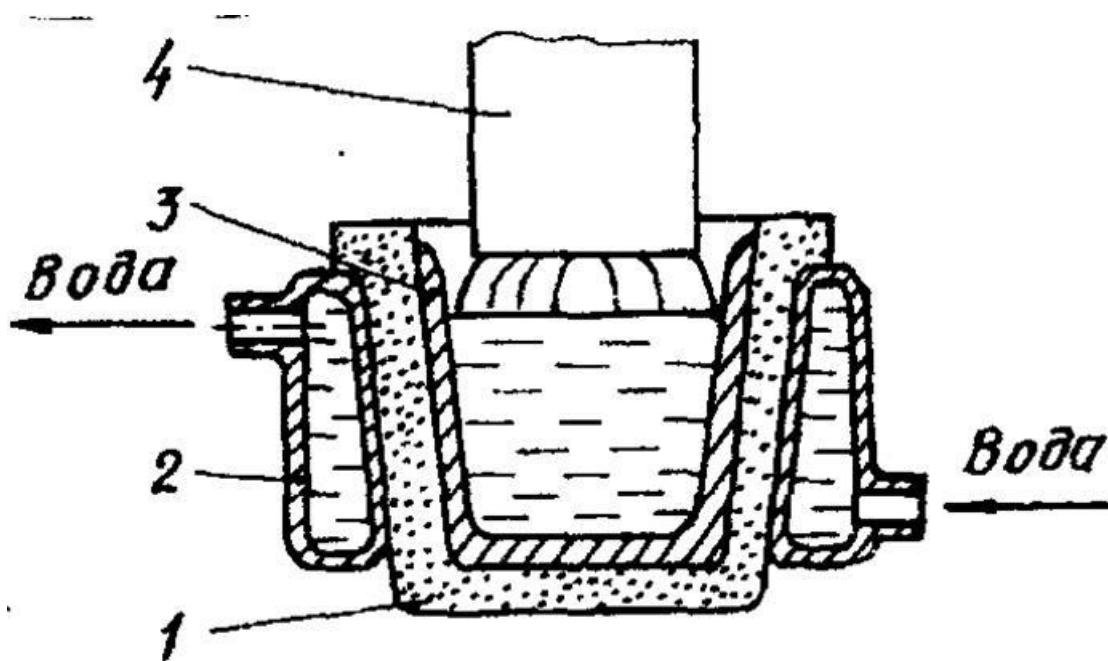


Рис. 28. Схема індукційної печі з графітовим тиглем для плавлення титану:

1 – тигель; 2 – холодильник; 3 – гарнісаж; 4 – електрод.

### Заливання розплавів у ливарні форми

Ливарні форми після виготовлення заливають розплавом сталі при температурі 1390 - 1550 °С, чавуну – 1220 – 1400 °С, бронзи –

1050 – 1200 °С, силуміну – 690 – 730 °С (нижня границя для великих товстостінних виливків, верхня – для дрібних тонкостінних).

Заливання здійснюється розливними ківшами, футерованими зсередини вогнетривом так, щоб струмінь металу не переривався, а ливникова чаша весь час була заповнена металом.

Заливання розплавів у ливарні форми відбувається розливними стопорними або поворотними ківшами.

*Стопорний розливний ківш* служить для короткотермінового зберігання, транспортування та розливання сталі. Ківш складається зі зварного кожуха 3, двох цапф 5, футеровки 2 з шамотної цегли, вкладки 1 із магнезиту або шамоту та стопора 4 (рис. 29).

Місткість ковша залежить від ємкості плавильного агрегату та може бути від 5 до 450 т.

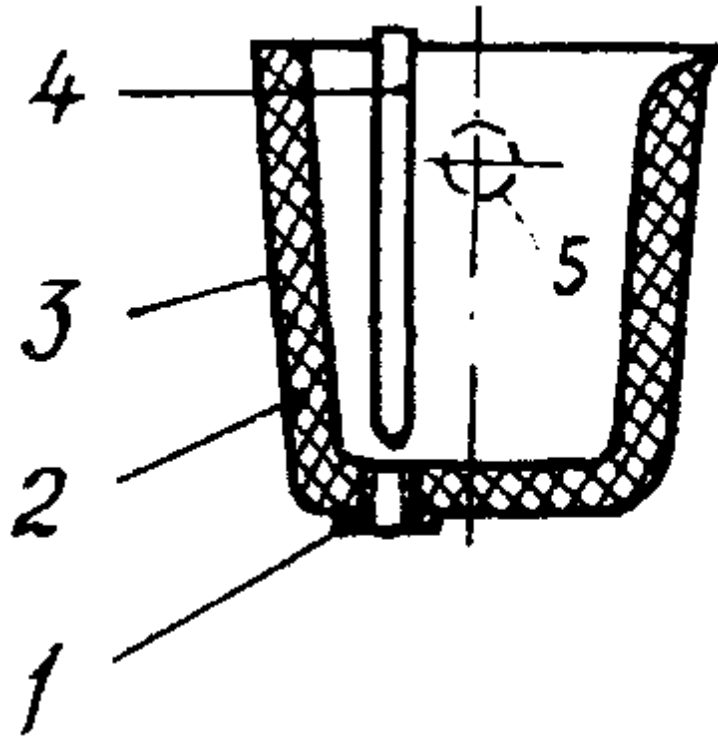


Рис. 29. Стопорний розливний ківш

#### **Поворотний розливний ківш.**

Поворотний ківш монтується на балки та за допомогою скоби пересовується краном до місця розливання розплаву (рис. 30).

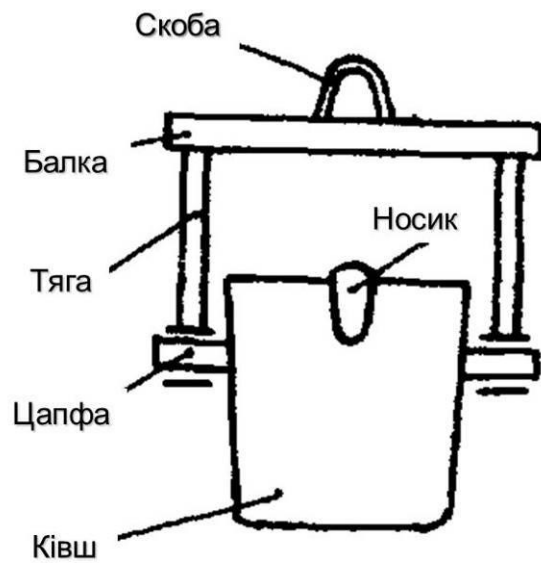


Рис. 30. Поворотний розливний ківш

**Чайниковий розливний ківш.**

Чайниковий розливний ківш включає вогнетривку перегородку для затримання шлаку (рис. 31).



Рис. 31. Чайниковий розливний ківш

## Охолодження виливок

Метал охолоджують протягом деякого часу після заливання ливарної форми. Тривалість охолодження металу в формі залежить від маси виливки, товщини стінок, теплофізичних властивостей металу та формової суміші. Охолодження триває від декількох хвилин для дрібних виливок до кількох годин і більше для масивних.

Особливістю затвердіння виливків є утворення та розвиток, в місцях зміни розмірів виливків та переходів від горизонтальних до вертикальних площин, в наслідок усадки металу при охолодженні після кристалізації, зусиль і напружень.

Приклад розвитку напружень наведено на рис. 32.

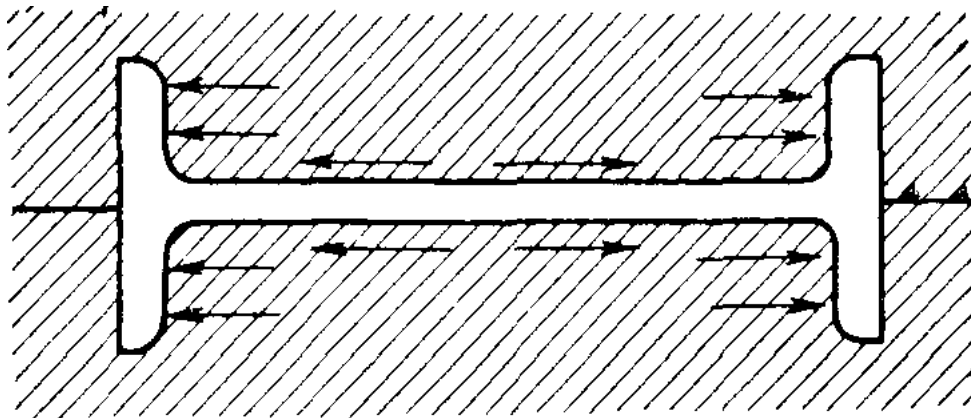


Рис. 32. Розвиток зусиль та напружень в виливку в ливарної формі при охолодженні після кристалізації

Напруження, що виникають у металу виливка ( $\sigma_m$ , МПа) в наслідок затрудненої усадки, розраховуються за наступною формулою:

$$\sigma_m = E_t \cdot \left[ \alpha_t \cdot (t_{sol} - t_o) - \frac{\Delta L}{L} \right], \quad (16)$$

де:  $t_{sol}$  - температура солідус металу виливка, °С;  $t_o$  - температура до якою виливок охолоджено, °С;  $\alpha_t$ ,  $E_t$  - середні значення коефіцієнта лінійної усадки ( $1/^\circ\text{C}$ ) та модулю пружності (МПа) в інтервалі температур ( $t_{sol} - t_o$ ), відповідно;

$\Delta L/L$  - податливість ливарної форми, де  $L$  - довжина виливка.



Якщо ливарна форма абсолютно податлива, то напруження в виливку дорівнює нулю. Якщо ливарна форма абсолютно не податлива ( $\Delta L = 0$ ), то напруження в виливку дорівнює нулю та формула (16) приймає наступний вигляд:

$$\sigma_m = E_t \cdot \alpha_t \cdot (t_{sol} - t_o), \quad (17)$$

Тріщина в виливку виникне у випадку, коли межа міцності металу виливку ( $\sigma_{мицн}$ , МПа) буде дорівнювати

$$\sigma_{мицн} = E_t \cdot \alpha_t \cdot (t_{sol} - t_{триц}), \quad (18)$$

де:  $t_{триц}$  - температура утворення тріщини в виливку.

При наявності відомостей про межу міцності ( $\sigma_{мицн}$ ), температуру солідус ( $t_{sol}$ ), середні значення коефіцієнту лінійної усадки ( $\alpha_t$ ) та модулю пружності ( $E_t$ ) металу виливку в інтервалі температур ( $t_{sol} - t_{триц}$ ) температуру утворення тріщини в виливку розраховують за наступною формулою:

$$t_{триц} = t_{sol} - \frac{\sigma_{мицн}}{\alpha_t \cdot E_t}, \quad (19).$$

На рисунках 33 - 35 показано вплив температури на мінімальні та максимальні значення межі міцності (рис. 33), модулю пружності (рис. 34), коефіцієнту лінійної усадки (рис. 35) конструкційних сталей 15Л, 20Л, 30Л, 35Л, 40Л, 45Л, 50Л, 60Л, 20ГЛ, 35ГЛ, 45ГЛ, 32ХЛ, 40ХЛ, 60ХЛ, 20ФЛ, 45ФЛ, 20ГСЛ, 35ХГСЛ, 30ГСЛ, 80ГСЛ, 15ХМФЛ, 20ХМЛ, 30ХНМЛ, 35ХМЛ, 35ХМФЛ.

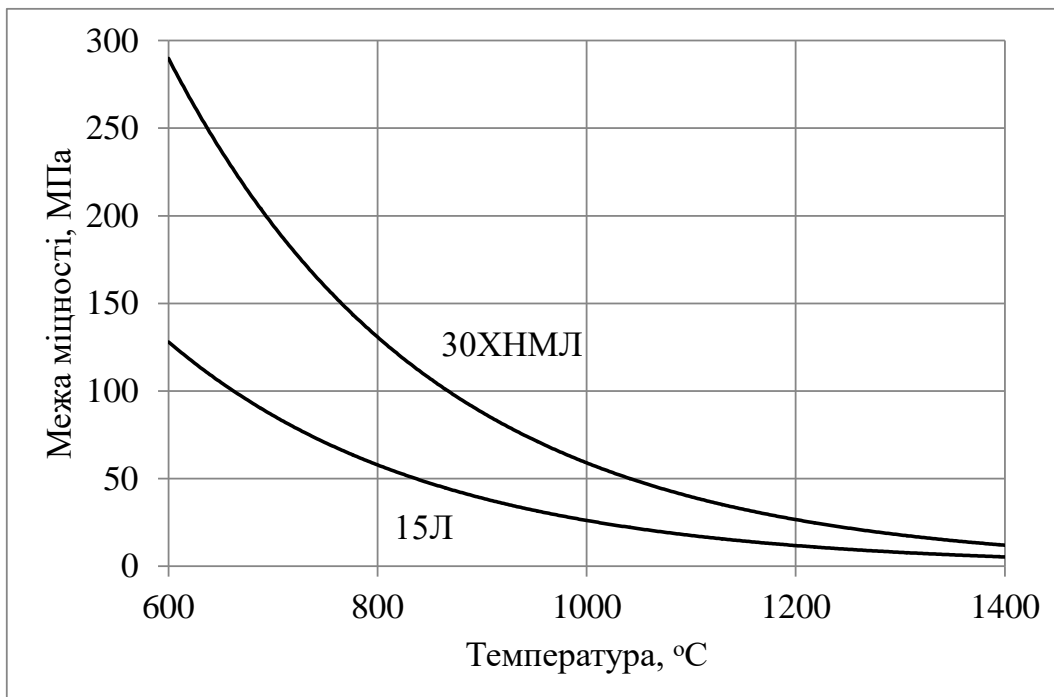


Рис. 33. Вплив температури на мінімальні та максимальні значення межі міцності конструкційних сталей 15Л, 20Л, 30Л, 35Л, 40Л, 45Л, 50Л, 60Л, 20ГЛ, 35ГЛ, 45ГЛ, 32ХЛ, 40ХЛ, 60ХЛ, 20ФЛ, 45ФЛ, 20ГСЛ, 35ХГСЛ, 30ГСЛ, 80ГСЛ, 15ХМФЛ, 20ХМЛ, 30ХНМЛ, 35ХМЛ, 35ХМФЛ.

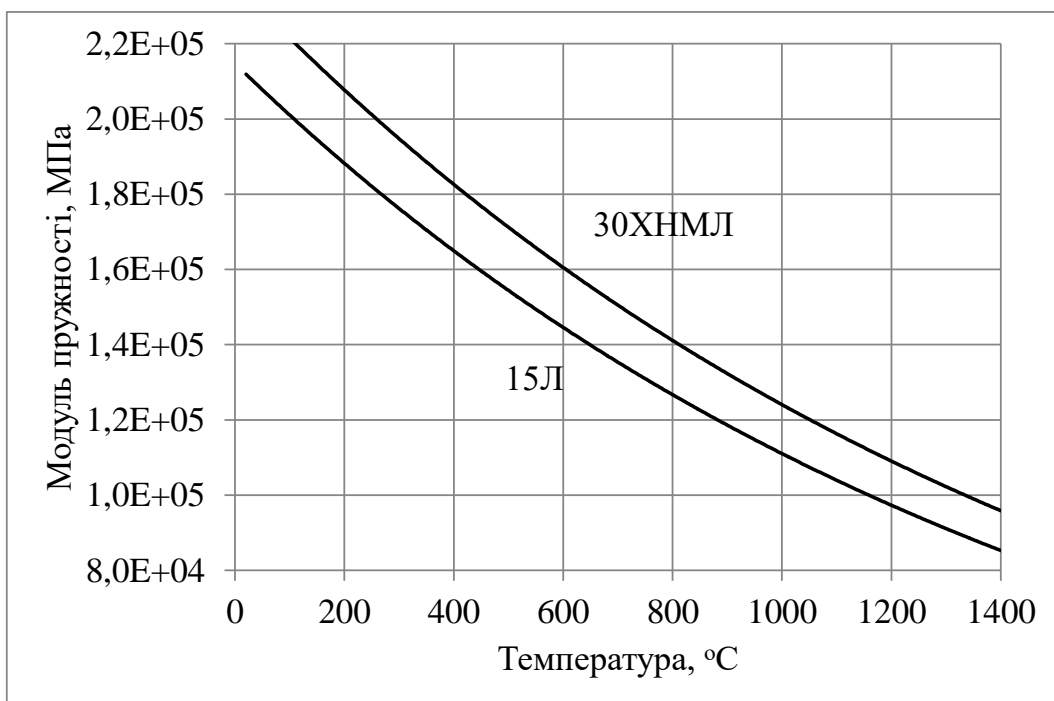


Рис. 34. Вплив температури на мінімальні та максимальні значення модулю пружності конструкційних сталей 15Л, 20Л, 30Л, 35Л, 40Л, 45Л, 50Л, 60Л, 20ГЛ, 35ГЛ, 45ГЛ, 32ХЛ, 40ХЛ, 60ХЛ, 20ФЛ, 45ФЛ, 20ГСЛ, 35ХГСЛ, 30ГСЛ, 80ГСЛ, 15ХМФЛ, 20ХМЛ, 30ХНМЛ, 35ХМЛ, 35ХМФЛ.

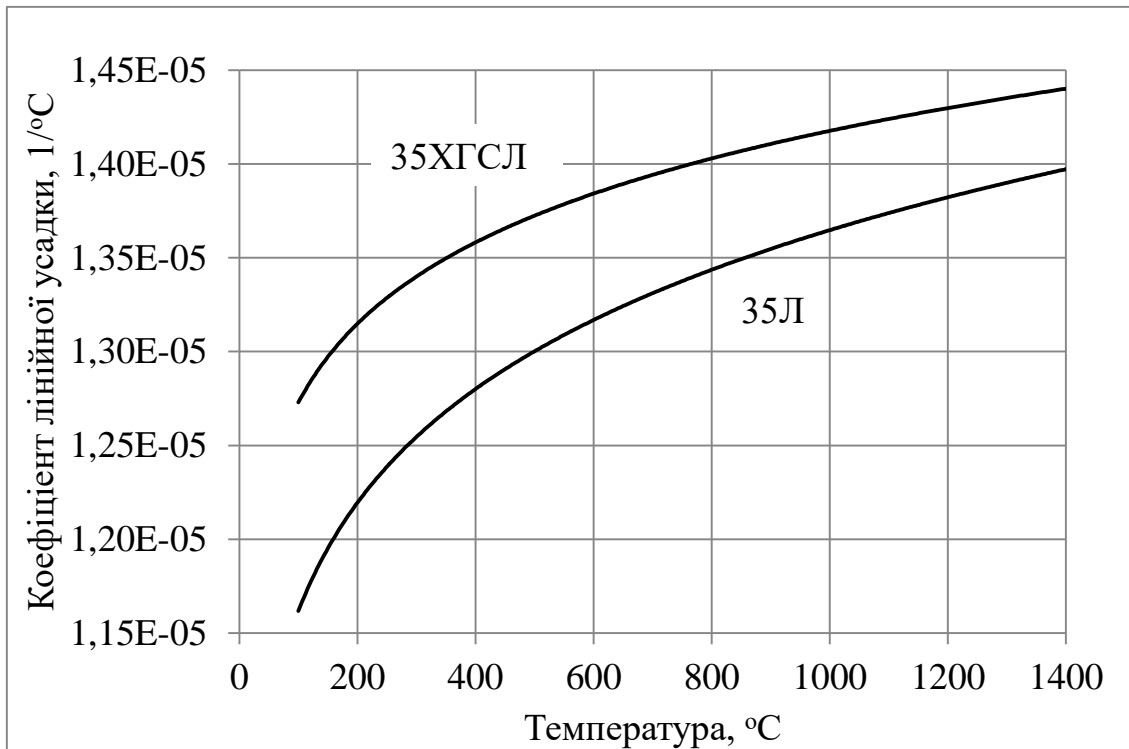


Рис. 35. Вплив температури на мінімальні та максимальні значення коефіцієнту лінійної усадки конструкційних сталей 15Л, 20Л, 30Л, 35Л, 40Л, 45Л, 50Л, 60Л, 20ГЛ, 35ГЛ, 45ГЛ, 32ХЛ, 40ХЛ, 60ХЛ, 20ФЛ, 45ФЛ, 20ГСЛ, 35ХГСЛ, 30ГСЛ, 80ГСЛ, 15ХМФЛ, 20ХМЛ, 30ХНМЛ, 35ХМЛ, 35ХМФЛ.

### Вибивання виливок

**Вибивання** полягає у руйнуванні форми та стрижня для відокремлення виливки. Вибивна машина складається з нерухомої рами 2, вібраційного вузла, ексцентрикового вала 6, електродвигуна Д, шківів 8, 10 і паса 9 (рис. 36). Ексцентриковий вал 6 змонтований шийку, на яку посаджено підшипники 11 вібраційного вузла. Вузол має внизу нахилені ґрати 1, вгорі – плиту 4 з вирізаним вікном за профілем опоки, на боках – стінки 3 з листової сталі.

Залиту форму 5 зіштовхують на плиту машини із конвеєра. Електродвигун (Д) передає обертання на ексцентриковий вал через пасову передачу. Ексцентриковий вал надає коливальний рух вібраційному вузлу. Форма руйнується внаслідок вібрації, і на ґрати відсипається все, що було в опоках. Форма провалюється крізь ґрати разом зі стержнем на стрічковий транспортер, а виливка сповзає, наприклад, у горловину очисного барабана, а звідти – на пластинчастий транспортер.

## **Обрубвання виливок**

**Обрубвання** – це відокремлювання від виливки ливникової системи, випору та заливів. Відокремлення відбувається газокисневими різачками, стрічковими та дисковими пилами, ексцентриковими пресами з відповідним інструментом, а для крихких виливок – очисними барабанами. Заливи відокремлюють пневматичними зубилами та шліфувальними кругами.

## **Очищення виливок**

Зовнішню та внутрішню поверхню виливок **очищують** від пригорілої землі дротяними щітками та кругами, пневматичними зубилами, очисними барабанами і дробометними установками.

Висока якість очищення досягається на *дробометних установках*, у камерах яких обертальні колеса з лопатками викидають на поверхню виливка металевий дріб.

Очисний барабан складається зі вхідної (1), середньої (3) і вихідної (4) циліндричних частин (рис. 37). Горловини мають форму зрізаного конуса. Два обручі (бандажі) 2 приварені до барабана. Очисний барабан опирається на чотири ролики 5, що обертають його. Виливки піднімаються на певну висоту та падають під час обертання.

## **Контроль якості литих виробів:**

**Візуальний огляд** на відповідність технічним вимогам на виливок.

**Хімічний аналіз і визначення механічних властивостей.**

**Спеціальні види контролю:**

- *фарбування* поверхні спеціальною фарбою;
- *ультразвуковий* контроль;
- *рентгенівський* контроль;
- випробування на *просочування* під тиском.

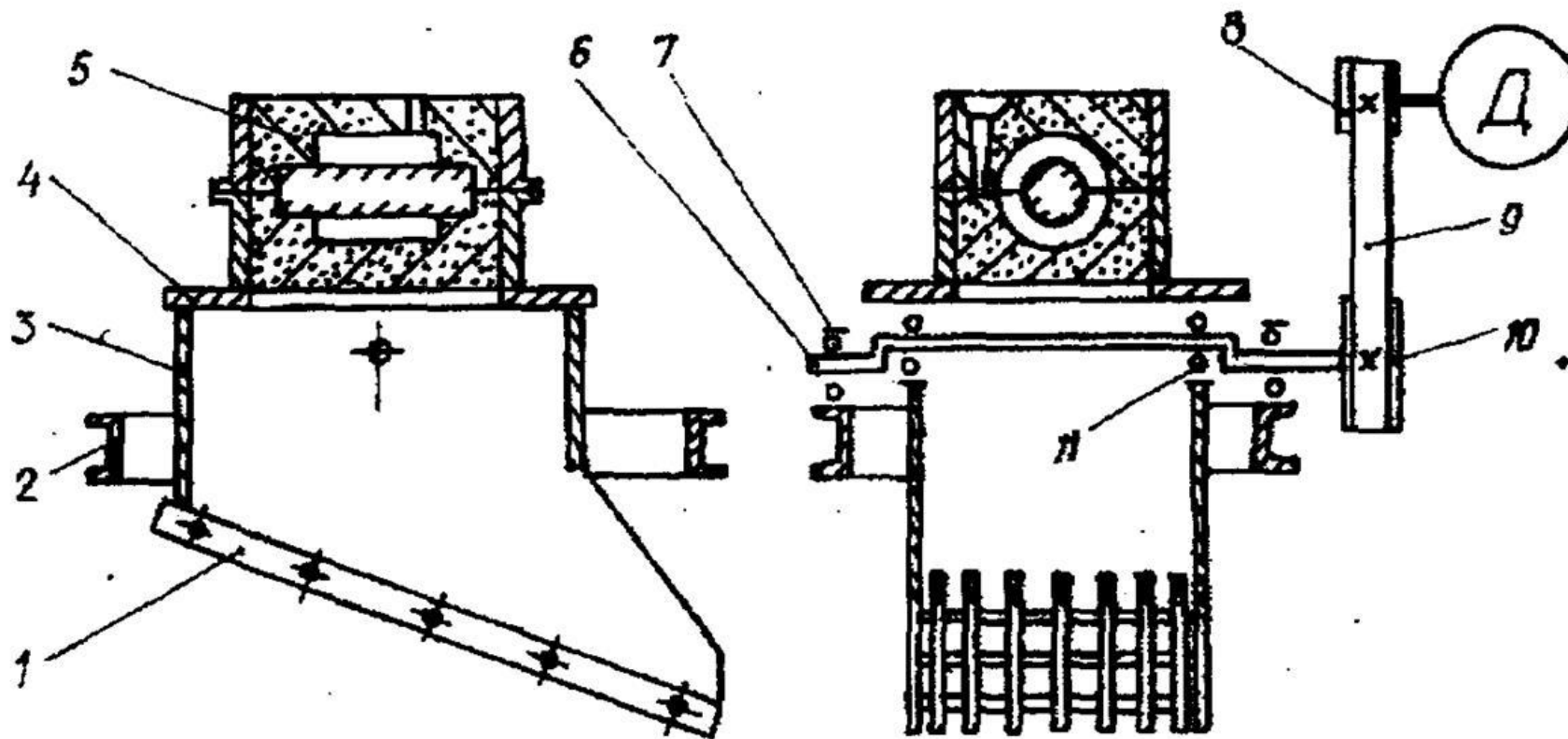


Рис. 36. Схема вибивної машини: 1 – ґрати; 2 – рама нерухома; 3 – стінка; 4 – плита; 5 – форма; 6 – ексцентриковий вал; 7 – підшипник рами; 8, 10 – шків; 9 – пас; 11- підшипник вібраційного вузла.

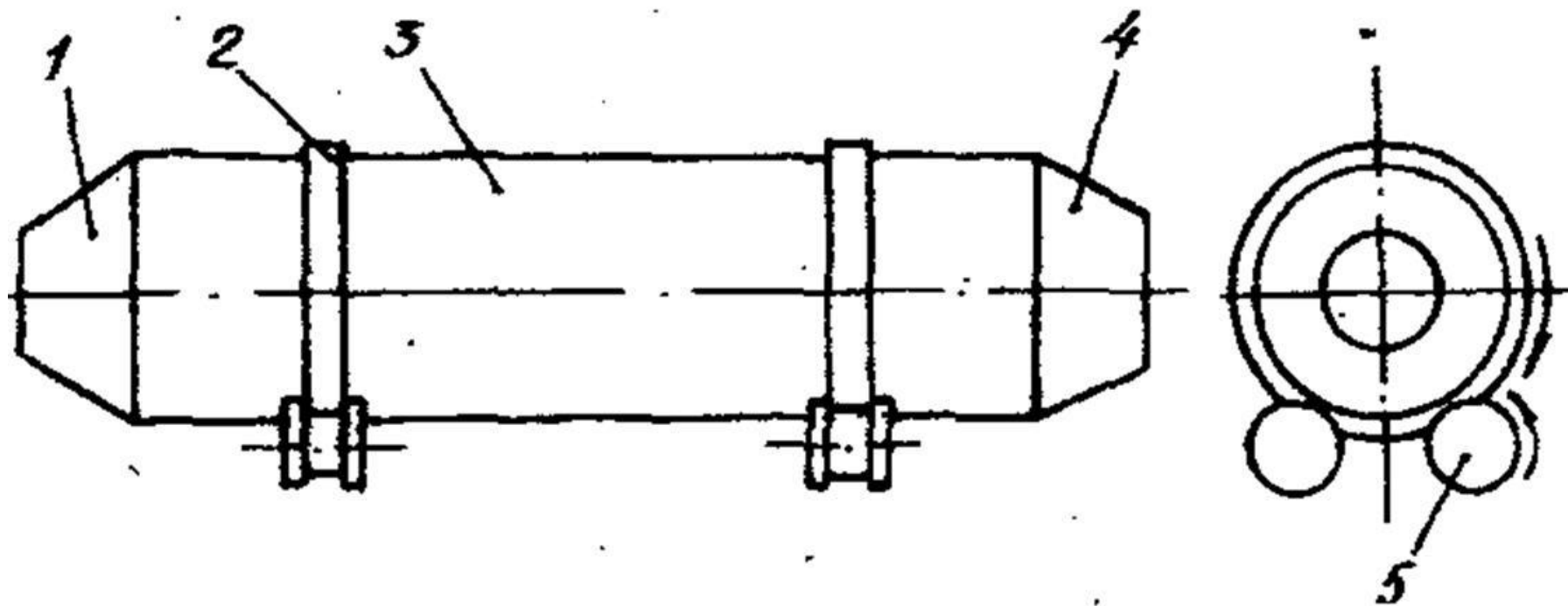


Рис. 37. Схема очисного барабана: 1 – вхідна горловина; 2 – обруч; 3 – середня частина барабана; 4 – вихідна горловина; 5 – ролик.

## Види ливарного браку

- 1) **Раковини** (газові, усадочні, земляні, шлакові, пористості).
- 2) **Холодні та гарячі тріщини**. Причина – неоднакова швидкість охолодження різних перерізів виливка, недостатня піддатливість стержнів і форми або недостатня витримка виливка у формі;
- 3) **Пошкодження поверхні виливка (спай, пригар, окисні плівки)**. **Пригар** виникає через недостатню вогнетривкість формових або стержневих сумішей. **Спай** виникає через заливання форми холодним металом і переривчастим струменем;
- 4) **Недолив** – неповний виливок. Причина – недостатня рідкотекучість металу, низька температура заливання, недостатній переріз живильників;
- 5) **Невідповідність розмірів, ваги і форми виливка кресленню деталі (заливи, недоливи, перекіс, короблення)**. Причина – слабе кріплення або недостатнє навантаження форми (заливи); заливання форми холодним металом (недоливи); неправильне складання форм і встановлення стержнів (перекіс); виникнення напруг при різкій різноспинності виливка (короблення).

### Практичні питання

1. Назвіть литі деталі в машинобудуванні
2. Яка різниця між деталлю і моделлю?
3. Навести види ливарних форм та їх використання.
4. Яке призначення стержнів?
5. Перерахувати основні компоненти формівних і стержневих сумішів.
6. За варіантом, що надав викладач визначити вологість (В), вміст глинистих речовин (Г), границю міцності ( $\sigma$ ) та газопроникність (К) формівних і стержневих сумішів за вихідними даними, що наведені в таблиці 4
7. Визначити клас стержня по розрахованим властивостям суміші
8. Яка послідовність операцій при виготовленні форми в двох опоках?
9. Замалювати схему технологічного процесу виготовлення виливків в разових формах.
10. Перерахувати, що входить в модельну оснастку.
11. Перерахувати інструмент, що використовується при ручному виготовленні ливарних форм.
12. Замалювати елементи ливникової системи.
13. Яка температура заливання сталей в ливарну форму?
14. За варіантом, що надав викладач визначити мінімальну та максимальну температуру утворення тріщин ( $t$ , °C) за вихідними даними, що наведені в таблиці 5. При розрахунках враховувати, що в інтервалі температур «солідус - температура утворення тріщини ( $t_{sol} - t_{трищ}$ )» межа міцності межа міцності сталі ( $\sigma_{міцн}$ ) змінюється від 5 до 12 МПа, модуль пружності ( $E_t$ ) - від 85000 до 96000 МПа, коефіцієнт лінійної усадки ( $\alpha_t$ ) - від  $1,40 \cdot 10^{-5}$  до  $1,44 \cdot 10^{-5} \text{ 1/}^\circ\text{C}$ .



Таблиця 4. Вихідні дані для розрахунку властивостей ливарних сумішей

№ варіанту	Вага наважки до сушіння 50 г		Межа міцності на розтяг ( $\sigma$ ), кгс/см <sup>2</sup>			Газопроникність (К), см/хв	
	Вологість (В), %	Вміст глинистих речовин (Г), %					
	Вага наважки після сушіння		G, кг	Ширина перерезу (а), см	Товщина перерезу (в), см	Тиск повітря (Р), см вод. ст.	Час, с
	G <sub>2</sub> , г	P <sub>2</sub> , г					
1	40	35	1	2,5	2,5	5	47
2	40,4	35,6	2	2,5	2,5	5,1	48
3	40,8	36,2	3	2,5	2,5	5,2	49
4	41,2	36,8	4	2,5	2,5	5,3	50
5	41,6	37,4	5	2,5	2,5	5,4	51
6	42	38	6	2,5	2,5	5,5	52
7	42,4	38,6	7	2,5	2,5	5,6	53
8	42,8	39,2	8	2,5	2,5	5,7	54
9	43,2	39,8	1	2,5	2	5,8	54
10	43,6	40,4	2	2,5	2	5,9	54
11	44	41	3	2,5	2	6	55
12	44,4	41,6	4	2,5	2	6,1	55
13	44,8	42,2	5	2,5	2	6,2	55
14	45,2	42,8	6	2,5	2	6,3	56
15	45,6	43,4	7	3	2	6,4	56
16	46	44	8	2	2	6,5	57
17	46,4	44,6	1	2	2	6,6	57
18	46,8	45,2	2	2	2	6,7	57
19	47,2	45,8	3	3	3	6,8	58
20	47,6	46,4	4	3	3	6,9	59
21	48	47	5	3	3	7	60
22	48,4	47,6	6	3	3	7,1	61
23	48,8	48,2	7	3	3	7,2	62
24	49,2	48,8	8	3	3	7,3	63
25	49,6	49,4	1	3	3	7,4	64

Таблиця 5. Вихідні дані для розрахунку мінімальної та максимальної температури утворення тріщин у сталевих виливках залитих у металеву ливарну форму.

№ варіанту	Марка сталі	Температура солідус, °С	
		мінімальна	максимальна
1	15Л	1512	1521
2	20Л	1506	1513
3	30Л	1490	1504
4	35Л	1484	1497
5	40Л	1480	1490
6	45Л	1475	1483
7	50Л	1466	1476
8	60Л	1456	1466
9	20ГЛ	1490	1501
10	35ГЛ	1497	1508
11	45ГЛ	1475	1486
12	32ХЛ	1495	1505
13	40ХЛ	1492	1503
14	60ХЛ	1458	1469
15	20ФЛ	1495	1505
16	45ФЛ	1490	1500
17	20ГСЛ	1482	1493
18	35ХГСЛ	1486	1495
19	30ГСЛ	1480	1491
20	80ГСЛ	1436	1466
21	15ХМФЛ	1495	1505
22	20ХМЛ	1494	1506
23	30ХНМЛ	1480	1493
24	35ХМЛ	1486	1498
25	35ХМФЛ	1560	1600

## Список використаної літератури

1. Афтанділянц Є.Г., Зазимко О. В., Лопатько К.Г. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. Частина 1. Металургія. Видавничий центр НАУ, 2005р.-с. 115.
2. Афтанділянц Є.Г., Зазимко О. В., Лопатько К.Г. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. Частина 2. Металознавство. Видавничий центр НАУ, 2006 р.-с. 386.
3. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. Підручник. /Опальчук А.С., Афтанділянц Є.Г., Клендій М.Б., Роговський Л.Л., Семеновський О.Є.// Ніжин.: ТОВ "Видавництво "Аспект-Поліграф"".2011. - 792с.
4. Афтанділянц Є.Г., Зазимко О.В., Лопатько К.Г. Матеріалознавство: Підручник Херсон: Олді Плюс, 2013.- с 548.
5. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів/ А.С. Опальчук, Афтанділянц Є.Г., Роговський Л.Л., Семеновський О.Є.// Ніжин, ПП Лисенко М.М., 2013р. - 752с
6. Практикум з матеріалознавства. Навчальний посібник / Котречко О. О. Зазимко, К.Г. Лопатько, Є.Г. Афтанділянц, В. В. Гнилокуруренко.// Херсон: Олді Плюс, 2013.-с. 500
7. Сологуб М.А., Рожнецький І.О., Некоз О.І. Технологія конструкційних матеріалів та матеріалознавство. К. Техніка, 2002. – с. 374.
8. Попович В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. Книга І. Львів. 2000.-с.264.
9. Попович В., Голубець В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. Книга ІІ. Суми. Університетська книга, 2002.-с.259.

## Зміст

	Стор.
Вступ	3
Вимоги техніки безпеки при виконанні практичних занять	4
1. Загальні теоретичні положення	6
2. Технологія виготовлення виливків в одноразових ливарних формах	6
3. Формові і стержневі матеріали	7
4. Виготовлення ливарних сумішей	12
5. Властивості ливарних сумішей	13
6. Ливникова система	23
7. Модельне оснащення	25
8. Стержневі ящики	26
9.Опоки	26
10. Класифікація ливарних форм	28
11. Технологія формування в двох опоках за роз'ємною моделлю	28
12. Технологія виготовлення стержнів	30
13. Виплавка сплавів у ливарних цехах	31
14. Заливання розплавів у ливарні форми	45
15. Охолодження виливок	48
16. Вибивання виливок	51
17.Обрубання виливок	52
18.Очищення виливок	52
19.Контроль якості литих виробів	52
20.Види ливарного браку	55
Практичні питання	56
Список використаної літератури	59
Зміст	60