

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ГІРНИЧО-МЕТАЛУРГІЙНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

КАФЕДРА МЕТАЛУРГІЇ ЧОРНИХ МЕТАЛІВ І ЛИВАРНОГО ВИРОБНИЦТВА

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**  
до випускної атестаційної роботи бакалавра

зі спеціальності 136 – **Металургія**

**РОЗРОБКА ПРОЕКТУ СТАЛЕЛИВАРНОГО ЦЕХУ ПОТУЖНІСТЮ 2000  
ТОН ВИЛИВКІВ НА РІК РОЗВІСОМ ЛИТТЯ ДО 2 КГ З  
УДОСКОНАЛЕНОЮ ТЕХНОЛОГІЄЮ ЛИТТЯ ПО ВИТОПЛЮВАНИМ  
МОДЕЛЯМ**

Виконав:

Студент групи ЗМТ 21ск

\_\_\_\_\_ Назар КОНДРАТЕНКО

Керівник кваліфікаційної роботи

\_\_\_\_\_ Леван САІТГАРЕЄВ

Нормоконтролер

\_\_\_\_\_ Леван САІТГАРЕЄВ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Сергій САВЕЛЬЄВ

Кривий Ріг  
2024 р.

## Реферат

Бакалаврська робота на тему «Розробка проекту сталеливарного цеху потужністю 2000 тон виливків на рік розвісом лиття до 2 кг з удосконаленою технологією лиття по витоплюваним моделям» складається з трьох частин, вступу та висновків, викладена на \_\_\_\_ сторінках, містить \_\_\_\_ таблиць та \_\_\_\_ рисунків

Розроблений проект цеху передбачає будівництво спеціалізованого цеху лиття по моделях, що виплавляються, потужністю 2 000 тон виливків в рік. Номенклатура виливків різноманітна, можливий випуск виливків з розважуванням до 2 кг

В основній частині бакалаврської роботи виконані розрахунки виробничих відділень цеху.

В технологічній частині - розроблений технологічний процес виготовлення виливка «корпус» методом ЛВМ.

В спеціальній частині проведено опис та аналіз основних технологічних операцій, матеріалів та обладнання для виготовлення точних виливків методом ЛВМ.

*Ключові слова:* ЛВМ, модельний склад, етил-силікат, технологічність, ливарний цех, модельна дільниця, оболонкова форма

# 1 Загальна частина

## 1.1 Техніко-економічне обґрунтування проекту (ТЕО)

Техніко-економічне обґрунтування є найважливішим первісним документом будь-якого проекту. Без ТЕО не починається фінансування не тільки будівництва, але й конструкторсько-технологічних розробок. При розробці ТЕО даного проекту був виконаний ретельний якісний і кількісний аналіз наступних питань:

- 0) потреба в продукції, що планується випускати в проектованому цеху;
- 1) обґрунтування району й площадки для будівництва;
- 2) наявність енергетичних ресурсів (електроенергії, палива й ін.), води, сировини, транспортних магістралей;
- 3) наявність виробничих робочих і досвідчених інженерно-технічних працівників, рівень їхньої підготовки й підвищення кваліфікації;

Аналіз вищевказаних питань показує, що створення в Кривому Розі спеціалізованого цеху лиття по витоплюваних моделях є економічно обґрунтованим. По-перше, у місті й області є значна кількість промислових підприємств, а отже є потреба в литих деталях. По-друге в регіоні немає труднощів з набором виробничих робочих і інженерно-технічних працівників, а також можливості їхньої підготовки й підвищення кваліфікації, оскільки є кілька спеціалізованих навчальних закладів.

При виборі майданчика для будівництва ливарного цеху враховані виробничі, транспортні і санітарно-гігієнічні чинники. Згідно СН 245 – 71, СН і П 89 – 80, СН і П 2.01.02 – 85, СН і П - П□- 4 – 79, СН і П 2.04.05 - 86 проектований ливарний цех доцільно розташувати в районі минулого КрТЗ «Констар», де є всі необхідні комунікації і транспортна магістраль, що сприяє вільному транспортуванню матеріалів.

Місце розташування даного цеху забезпечує дотримання санітарних норм по граничній концентрації шкідливих викидів в атмосферу оскільки він розташований по відношенню до житлового масиву з підвітряної сторони до вітрів переважаючого напрямку (по середній розі вітрів - це північно-західний напрям).

## 1.2 Характеристика проектованого цеху

Ливарний сплав відноситься до розряду корозійностійких жароміцних сталей мартенситного і мартенситоферитного класу. Марки сплавів, які передбачено отримувати та заливати в цеху, обмежуються номенклатурою виливків: 14X17H2Л і 20X13Л.

По технологічному процесу виробництва виливків, проектований цех є цехом спеціального способу лиття (лиття по витоплюваним моделям).

По розвісу - цех дрібного лиття. У виробничій програмі цеху передбачений випуск виливків масою до 2 кілограм.

При проектуванні устаткування було обрано один технологічний потік.

Перспективним напрямком є потужність цеху, обрана з урахуванням розширення й удосконалення виробництва продукції. Для обраного способу виробництва лиття дана потужність (2000 т/р) є масовою. Номенклатура виливків містить у собі 9 найменувань.

По ступені механізації - проєктований цех відноситься до цехів з повною автоматизацією виробництва.

## **1.5 Обґрунтування й розрахунок виробничої програми цеху**

Розрахунок проєкту виконується по наведеній програмі. Для цього підбираються технологічні дані тільки для частини номенклатури виливків і вибираються найбільш характерні виливки - представники. У проєкті складена точна виробнича програма. Вона складається з 9 найменувань виливків.

## **1.6 Плавильне відділення**

### **1.6.1 Програма відділення (баланс металу та шихти)**

Проєктування плавильного відділення починається з складання балансу металу, вибору плавильного агрегату, визначення необхідної кількості устаткування.

При складанні відомості балансу металу й шихти керуємося даними цеху-аналога.

### **1.6.2 Характеристика сплавів**

При виборі ливарного сплаву чітко формулюють вимоги до матеріалу виливків, згруповують ці вимоги по їхній значимості з урахуванням призначення й умов служби деталей. Виходячи з вимог визначають основу сплаву, далі уточнюють марку сплаву, властивості якого найбільш близькі до вимог, причому враховують технологічність цього сплаву в специфічних умовах виготовлення виливків по ЛВМ.

У проєктованому цеху 6 із 9 деталей відливають зі сталі марки 14X17H2Л, у тому числі деталь-представник. Сталь марки 14X17H2Л використовують для різних деталей хімічної та авіаційної промисловості.

Призначення виливків з сталі марки 14X17H2Л: робочі лопатки, диски, вали, втулки, фланці, кріпильні й інші деталі; деталі компресорних машин; деталі, що працюють в агресивних середовищах і при знижених температурах. Сталь корозійностійка, жароміцна мартенситоферитного класу.

Відповідно до призначення, деталь-представник можна віднести до особливо відповідальних, що має наступні характеристики: деталь експлуатується в умовах високих навантажень (динамічних і температурних),

високому тиску й сильному агресивному середовищі. Полумка даної деталі веде до аварії машини. Це пов'язано з ризиком для здоров'я й життя обслуговуючого персоналу.

Механічні властивості сплавів наведені в таблиці 1.4 і 1.5. Технічні вимоги до сплавів - у таблиці 1.6. Інші спеціальні властивості сталі марки 14X17H2Л такі як температура критичних точок, корозійні властивості, жаростійкість та фізичні властивості наведені відповідно в таблицях 1.7 – 1.9.

Таблиця 1.4 - Механічні властивості сплаву 20X13Л

t випробування, °C	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\sigma_B$ , МПа	$\sigma_5$ , %	$\sigma$ , %
100	385-455	560-630	21-23	57-66
200	355-445	520-600	18-22	55-65
300	360-395	510-540	17-19	51-62
400	335-405	470-530	14-19	51-61
500	300-380	390-465	14-20	52-64

Таблиця 1.5 – Механічні властивості сталі 14X17H2Л в залежності від температури відпуску (Відпал 760 – 780 С°, , охолодження з піччю. Закалка 950 - 975 С°, , масло).

t відпуску, C°	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\sigma_B$ , МПа	$\sigma_5$ , %	$\sigma$ , %	КСУ, Дж/м <sup>2</sup>	НВ
300	930 - 950	1260 – 1280	16	59-61	78-95	400-444
400	980 - 1050	1290 – 1330	16-17	60-62	61-68	388-444
500	970 - 1000	1110 - 1200	14-15	60	54-98	363-388

Таблиця 1.6 - Технічні вимоги до сплавів

Масова частка елементів, %	Елемент	14X17H2Л	20X13Л
	C	0,14	0,2
	Ni	1,5 - 2,5	0,50 (не більше)
	Cr	16 - 18	12,0-14,0
	Ti	0,2 (не більше)	-
	Mn	0,8 (не більше)	0,30-0,80
	Si	0,8 (не більше)	0,20-0,80
	P	0,03 (не більше)	0,03 (не більше)
	S	0,025 (не більше)	0,025 (не більше)
	Cu	0,3 (не більше)	0,30 (не більше)

Таблиця 1.7 – Температура критичних точок сталі 14X17H2Л

Критична точка	°C
Ac1	720
Ac3	830
Ar1	700

Таблиця 1.8 – Корозійні властивості сталі 14X17H2Л

Середовище	Температура випробування, °C	Тривалість випробування, г	Глибина, мм/рік
Вода дистильована	300	50	0,08
Пар, повітря	100	100	0,005

Таблиця 1.9 – Жаростійкість сталі 14X17H2Л

Середовище	Температура, °C	Глибина, мм/рік	Група стійкості
Повітря	900	0,904	знижено-стійка
Повітря	1000	2,010	малостійка

### 1.6.3 Обґрунтування і вибір плавильних агрегатів

З огляду на хімічний склад сплавів, їх властивості, температури заливання й випуску металу, їх собівартість і для зменшення вигару дорогих елементів доцільно застосовувати індукційно-вакуумні печі. Застосування вакууму при виплавці сталі дозволяє одержувати метал практично будь-якого хімічного складу з низьким вмістом газів, неметалевих включень, домішок кольорових металів.

У наш час вакуумні індукційні печі діляться на періодичні й напівбезперервні. У печах періодичної дії після кожної плавки піч відкривають для виймання блоку й завантаження шихти. У печах напівбезперервної дії завантаження шихти, зміна блоків і виймання виливка проводяться без порушення вакууму в плавильній камері.

У промисловості застосовують печі напівбезперервної дії (рис.1.1 та рис. 1.2). Печі періодичної дії використовують в основному в лабораторіях і для фасонного лиття.

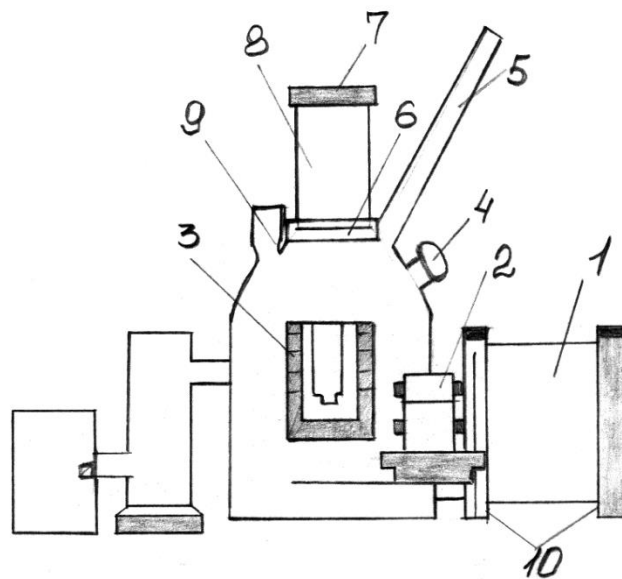
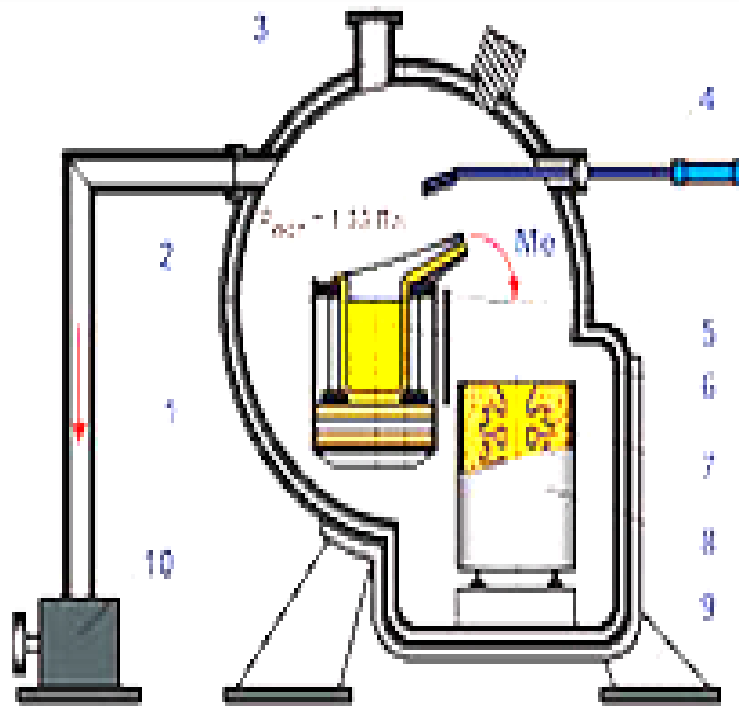


Рисунок 1.1 Схема вакуумної індукційної печі напівбезперервної дії

- 1 - камера блоків; 2 - плавильна камера; 3 - вогнетривкий тигель;  
4 - оглядове вікно; 5 – термопара; 6, 10 - вакуумні затвори; 7 - кришка печі;  
8 - завантажувальна камера; 9 - дозатор.

Рисунок 1.2  
вакуумна  
заливочна  
розрізі  
1 -  
корпус  
плавильна  
пристрій



Індукційна  
плавильно-  
установка в  
  
сталевий  
печі, 2 -  
камера, 3 -  
для

завантаження шихти, 4 - механізм очищення тигля, 5 - поворотна індукційна піч, 6 - розплав металу, 7 - ливарна форма, 8 - піч-термостат, 9 - опора, 10 - вакуум-насос.

Найдосконаліші металургійні процеси у вакуумі, такі як дегазація сталі, позапічна обробка, вакуумне переплавлення, точне лиття ЛВМ сьогодні дозволяють одержувати високоякісні виливки, як по складу матеріалу, так і по якості самого лиття. Звичайно для проведення прецизійних процесів вакуумної плавки використовують піч з індукційним нагріванням.

Переваги вакуумної плавки з індукційним нагріванням полягають у наступному:

1. Можливість тривалої витримки рідкого металу в глибокому вакуумі.
2. Високий ступінь дегазації.
3. Можливість робити дозагрузку печі в процесі плавки, активного впливу на інтенсифікацію процесів розкислення й рафінування в будь-який момент плавки.
4. Можливість ефективного контролю й регулювання стану розплаву по його температурі й хімічному складі протягом усього процесу.
5. Особлива чистота одержуваних виливків за рахунок відсутності будь-яких неметалічних включень.
6. Можливість робити швидке нагрівання (прямий нагрів за рахунок тепла, яке виділяється в розплаві), а отже висока швидкість плавки і висока продуктивність.
7. Висока гомогенність розплаву за рахунок активного перемішування металу.
8. Довільна форма сировини (кускові матеріали, брикети, порошок і т.д.)



9. Висока економічність і екологічна чистота.

На рисунку 1.3 зображена вакуумна установка з індукційно–вакуумною піччю. Суть методу полягає в тому, що метал плавиться у вакуумній камері плавлення, безпосередньо над штампом - блоком до моменту проплавлення переплавляємої заготовки. Даний момент фіксується світловими датчиками, після чого на розплав впливають газовим тиском і ультразвуковими коливаннями. Далі, розплав надходить у штамп-блок. При цьому кристалізація відбувається швидко, а під впливом ультразвукових коливань забезпечується дрібнозерниста, щільна структура виробу. Дана технологія дозволяє одержувати вироби складної форми прямо з розплаву (наприклад, лопатки турбін, фасонні вироби типу сопел, автомобільні клапана, складні штампи й ін.) як зі звичайних сплавів так і із тих, що важко піддаються деформації, без зайвої механічної обробки.



Рисунок 1.3 Вакуумна установка з індукційно–вакуумною піччю.

#### 1.6.4 Розрахунок кількості плавильних агрегатів

Число плавильних індукційно-вакуумних печей періодичної дії визначають по формулі:

$$П = \frac{M \times K_n \times Ц}{E \times \Phi_0},$$

де П - число плавильних печей для виплавки даної групи сплавів або для забезпечення металом даного технологічного потоку;

М - річна кількість шихти технологічного потоку;

Ц - тривалість циклу однієї плавки, включаючи час на завантаження печі й на випуск рідкого металу, г;

$\Phi_0$  - дійсний річний фонд часу роботи печі, ч;

Е - місткість печі, т;

Розрахунок для прийнятого потоку:

$$\dot{i} = \frac{3081,4 \times 1,0 \times 1,3}{0,5 \times 3510} = 2,28$$

У результаті розрахунків до установки прийнято 3 печі

Визначаємо коефіцієнт завантаження печі:

$$K_c = \frac{2,28}{3} = 0,76$$

### 1.6.5 Розрахунок шихти й потреби в шихтових і вогнетривких матеріалах

При розрахуванні шихти користуємося наступними вихідними даними:

- 1) необхідним хімічним складом сплаву
- 2) хімічним складом шихтових матеріалів
- 3) вигаром елементів

Розрахунок шихти ведемо на основні елементи й перевіряємо на припустиму величину шкідливих домішок.

Шихта повинна складатися з заготівель для переплаву марки 14Х17Н2Л і ливарних повернень власного виробництва. Свіжі шихтові матеріали, що надійшли зі складу, повинні мати сертифікат заводу-постачальника й відповідати ТУ на даний сплав. Ливарні повернення власного виробництва ріжуться на зручні для завалки шматки й завантажуються в контейнера. На контейнері фарбою наносять маркування сплаву.

Шихтові матеріали з відхиленнями по хімічному складі ізолюються. Дозвіл на запуск їх у роботу приймає головний металург виробництва.

Футеровочну суміш готуємо наступного складу:

- 1) хромомагнетитовий порошок (крихта) - 78%;
- 2) борна кислоти - 2,0%;
- 3) електрокорунд - 20%.

Магнетитову крихту одержуємо шляхом бою магнетитової цегли. Здрібнену крихту просіваємо через сито 4 мм, потім з вычком 1 мм. Залишки

на ситі використовуємо для футеровки тигля. Борну кислоту просіваємо через сито з вычком 0,4 мм. Відміряну кількість сухих компонентів ретельно перемішуємо до одержання однорідної маси.

Роблячи зволоження футеровочної суміші з розрахунку 3 - 4 % води понад 100% сухих складових починаємо футеровку тигля. Футеровку починають із подини, засипавши в індуктор футеровочну суміш і ретельно втрамбувавши її. Схема футеровки індукційної печі зображена на рисунку 1.4.

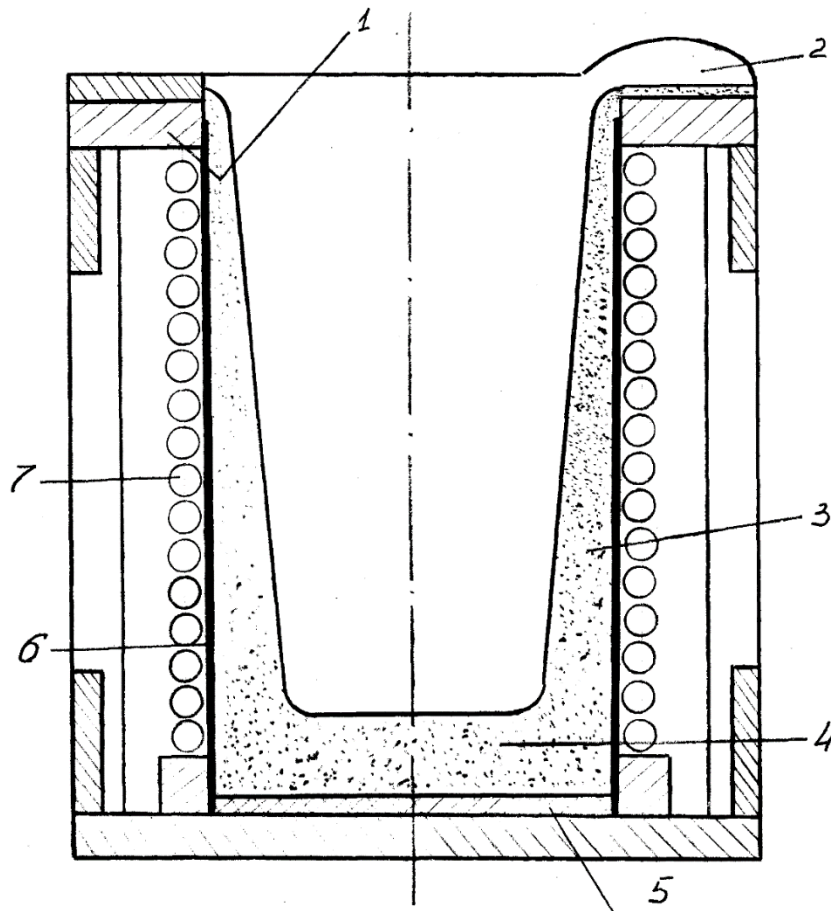


Рисунок 1.4 Футеровка індукційної печі:

1 - верхнє кільце (комір); 2 – носок; 3 - стінка тигля; 4 – подина; 5 – азбест;  
6 - азбестова тканина; 7 – індуктор.

Розпушивши поверхню втрамбованого шару засипаємо удруге шар футеровочної суміші товщиною 20-30 мм і ретельно втрамбуємо його.

Футеровку подини ведемо до другого нижнього витка індуктора. Подина повинна мати товщину не менш 70 мм. На зафутеровану подину встановлюємо по центру індуктора шаблон, зварений з листової сталі товщиною 1,5 - 2 мм.

У шаблон кладемо вантаж 80 - 100 кг. Розпушивши поверхню втрамбованого шару засипаємо шар футеровочної суміші товщиною 20-30 мм і ретельно втрамбуванням ущільнюємо його. Набивання тигля робимо рівномірними шарами з ретельним ущільненням кожного шару й підготовки поверхні верхнього шару для надійного з'єднання з наступними шарами. Набивання стінок індуктора робимо до верхнього рівня асбоцементної плити. Вище асбоцементної плити викладаємо шамотною цеглою й ретельно

зашпаровуємо комір сумішшю хромомагнезиту з 5 % рідкого скла. Після закінчення футеровки із шаблону видаляємо вантаж. Футеровку індуктора підсушуємо лампою накаливання 1кВт протягом 12-24 годин.

Розрахункова кількість шлакоутворюючих матеріалів становить 1 - 2% від ваги плавки. У розрахунку шлакоутворюючої суміші застосовуємо склад (по об'єму):

- 1) вапно - 82%;
- 2) магнезитовий порошок - 13%;
- 3) плавиковий шпат - 5%.

Розрахунок потреби в шихтових і вогнетривких матеріалах виконують по існуючих методиках або вибирають по таблицях, складених на підставі багаторічного досвіду роботи ливарних цехів. У даному проекті використані норми цеху-аналога . У таблиці 1.10 наведені річні величини витрат шихти, вогнетривів і флюсів

Таблиця 1.10 – Річні витрати шихти, флюсів і вогнетривів

Матеріал		Норма на 1 т		Річні витрати, т
		%	кг/т	
Шихта	Заготовка	50	500	1510,5
	Повернення	50	500	1510,5
	Разом	100	1000	3021
Флюси	Вапно	82	16,4	49,5
	Магнезитовий порошок	13	2,6	7,85
	Плавиковий шпат	5	1	3,02
	Разом	100	20	60,37
Вогнетриви	Хромомагнезитовий порошок	78	31,2	94,25
	Борна кислота	2	0,8	2,42
	Електрокорунд	20	8	24,2
	Разом	100	40	120,87

### 1.6.6 Технологія плавки й видачі металу

Плавку металу починаємо із процесу підготовки шихти й плавильного тигля. У процесі ЛВМ найбільше поширення одержали індукційні печі малої ємності. Одною з переваг цих печей є малий вигар елементів, тому що процес плавки протікає швидко й ведеться під шаром нейтрального або відновлювального шлаків.

Плавка шихти в проектованому цеху виконується, як було сказано вище, в індукційно-вакуумній плавильній печі УППФ - 05. Для плавки сплаву 14X17H2Л застосовуємо основну футеровку тигля.

Перед футеровкою оглядаємо індуктор на відсутність ушкоджень і течі шляхом подачі води в індуктор під тиском 2 - 4 атм.

У процесі експлуатації потрібно стежити за станом тигля. При зменшенні товщини стінок або подини більш ніж на 3% від первісної або при наявності грубих тріщин, у яких після зливу плавки залишається метал, тигель є непридатним і підлягає перефутеруванню. Після кожної плавки оглядаємо тигель і встановлюємо придатність його до подальшої експлуатації.

Плавка металу характеризується складними фізико-хімічними процесами, що протікають при високих температурах. Процес плавки складається з фізичних перетворень вихідних матеріалів і хімічних реакцій, у яких беруть участь складові сплаву й флюси, а також футеровка печі.

Марка сплаву, шихта, температура заливання для конкретних виливків оговорюється в технологічній карті.

Проводимо завантаження шихти завантажувальним коробом через завантажувальну камеру в тигель печі. При цьому дотримуємося рівномірної й щільної загрузки шихти в тиглі.

Створюємо вакуум в плавильній камері печі. При досягненні вакууму не менше 1,75 Па, включаємо піч.

Проводимо нагрівання печі до максимальної потужності в 100 кВт. Не допускаємо розбризкування, кипіння металу, зависання шихти в тиглі.

Для видалення плівок і неметалічних включень із розплаву допускається перегрів металу до 1600°C з витримкою при цьому до 3 хвилин.

Температуру рідкого металу контролюємо по другій плавці оптичним радіаційним пірометром із записом його показань на діаграмі. Щодня, перед початком роботи на першій плавці робиться контрольний вимір температури термопарою занурення.

Витягаємо із прокалочної печі гарячу керамічну форму, ставимо її в муфель печі підігріву, розташувавши літникову чашу під зливАННЯ металу з тигля. Температура печі підігріву 950±50°C. Закриваємо кришку шлюзової камери, створюємо в ній вакуум. Доводимо температуру металу в тиглі до заданої технологічної температури заливання, відкриваємо шлюзовий

затвір, підводимо форму в зону заливання, нахилом тигля зливаємо метал у форму. У момент заливання залишковий тиск у печі допускається не більше 10,5 Па. Заливання металу в блок, що знаходиться у термостаті й контроль температури термопарою занурення робимо при відключеній потужності печі. Виводимо залитий блок в шлюзову камеру, закриваємо шлюзовий затвір, знімаємо вакуум в шлюзовій камері, відкриваємо її кришку. Витримуємо залитий блок при цьому в печі підігріву не менше 5 хвилин.

Витягаємо залитий блок з печі і термостату для подальшого охолодження.

Особливості плавки й заливання для кожного конкретного виливка оговорюються в технологічних процесах.

## 1.7 Формовочно – заливочне відділення

### 1.7.1 Програма відділення

Програма формовочно-заливочного відділення розроблена на основі даних програми виробництва виливків у цеху. Розрахункові дані зведені в таблиці 1.11.

Таблиця 1.11 – Зведені дані розрахунку програми формовочно-заливочного відділення

Група виливків по масі, кг	Річний випуск виливків, шт	Маса одного виливка, кг	Кількість виливків у формі, шт	Річна кількість форм, шт
0,5-1	1 104 314	0,75 0,87 0,92	4	276 078
1-1,5	549 880	1,05 1,20 1,45	8	68 735
1,5-2	276 915	1,55 1,68 1,87	8	34 614
Усього по цеху	1 931 109			379 427

## 1.7.2 Організація технологічних потоків

Враховуючи номенклатуру лиття доцільно об'єднати все лиття в один технологічний потік.

Даний процес - багатоступінчастий і досить складний. Тому при проектуванні даного цеху використовуються лінії лиття по ЛВМ, що автоматизують окремі шаблі процесу, тобто автономні автоматизовані лінії виготовлення модельних ланок, керамічних блоків, відпалу керамічних форм, їхнього заливання, охолодження й т.д. Даним проектом передбачено, що моделі й блоки від однієї лінії до іншої передаються за допомогою підвісних конвеєрів.

Основні процеси по виготовленню керамічних блоків здійснюємо на автоматичній лінії моделі АЛВМ-145. Весь технологічний цикл по виготовленню блоків виконуємо на підвісному ланцюговому конвеєрі.

На рисунку 1.5 показана схема автоматизованих ліній виготовлення модельних блоків і керамічних форм моделі АЛВМ-145. До складу входять плавильний і мазеприготувальний агрегати, автомати для одержання модельних ланок і ділянок зборки керамічних блоків.

У плавильній установці, що складається із двох баків, матеріал плавимо за рахунок тепла гарячої води, що циркулює по трубах усередині бака. Розплавлену суміш фільтруємо й подаємо насосом по трубах у бак-збірник б.

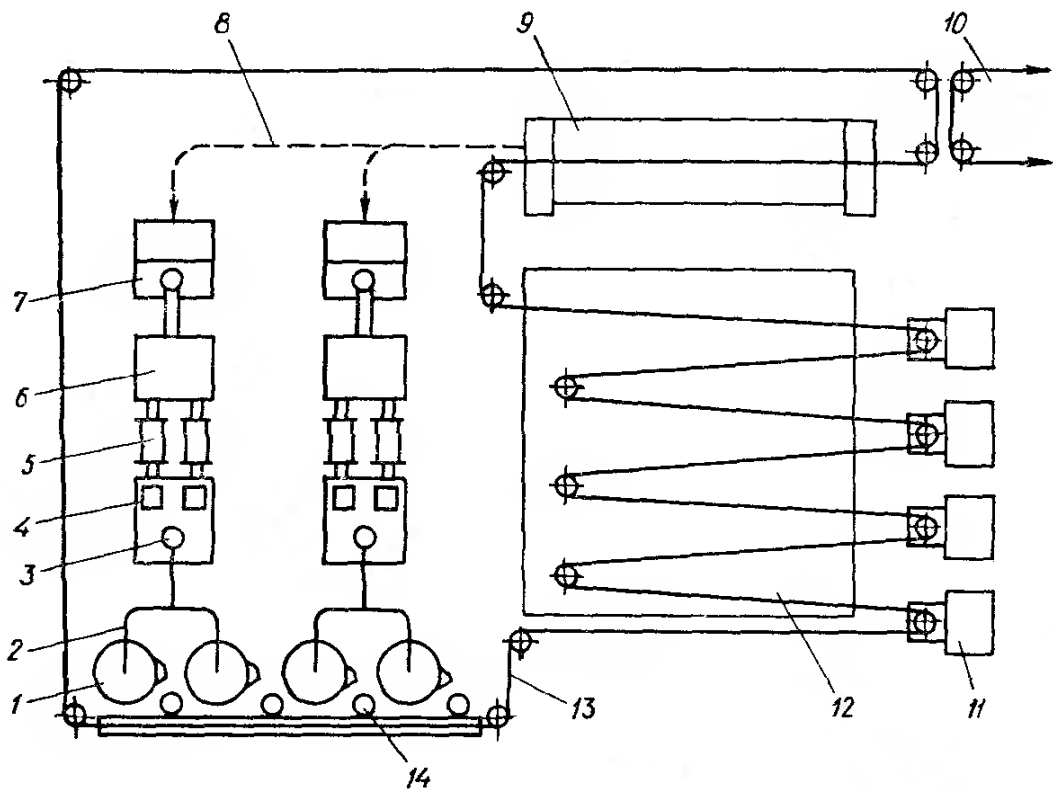


Рисунок 1.5 Схема автоматизованих ліній виготовлення модельних блоків і керамічних форм моделі АЛВМ-145

1 - автомат для виготовлення модельних блоків; 2 - трубопровід для подачі рідкої модельної суміші; 3 - поршневий насос; 4 - баки готової пасту; 5 - поршневі мішалки; 6 - бак для розплавленої суміші; 7 - плавильний бак; 8 - трубопровід для повернення модельної суміші; 9 - ванна для виплавлення моделей; 10 - ланцюговий конвеєр для керамічних оболонок; 11 - автомати обмазки й обсипання блоків; 12 - камера сушіння; 13 - ланцюговий конвеєр; 14 - місця зборки модельних блоків

Установка для приготування модельної суміші має дві поршневі мішалки й баки з готовою пастою 4, звідки поршневим насосом пасту подаємо у шприц карусельного десятипозиційного автомата для одержання модельних ланок. Готові ланки викидаємо у водяний конвеєр, а потім збираємо в модельні блоки.

Зібраний модельний блок транспортуємо підвісним конвеєром 13 до лінії виготовлення керамічних форм, там його обмазують, обсипають піском, а потім сушать. Модельні блоки подаємо послідовно до кожного із чотирьох автоматів 11 і після обмазки й обсипання - у камеру повітряно-аміачного сушіння. Таким чином, утворюємо чотирьохшарові керамічні блоки, які потім транспортуємо до ванни з гарячою водою для виплавки з них модельної суміші.

Готові керамічні блоки перевантажуємо на транспортер 10 і направляємо до лінії випалу, заливання й охолодження, де їх заформовують у спеціальні опоки й подають у піч випалу. Зазори між блоками й стінками опоки заповнюємо піском.



Форми прожарюємо при температурі 1223-1273 К у прохідній печі з газовим підігрівом, а потім подаємо на заливальну карусель, де їх після заливання металом охолоджуємо.

Кераміку й стояки відокремлюємо від виливків на спеціальному напівавтоматі, що має відбійний молоток і гідравлічний прес. Залишки кераміки обробляємо лугом в спеціальній установці барабанного типу. Потім виливки направляємо на термообробку.

Застосування автоматичних ліній ЛВМ дозволяє скоротити цикл виготовлення виливків майже в три рази.

В таблиці 1.12 наведена технічна характеристика автоматичної лінії

Таблиця 1.12 - Технічна характеристика автоматичної лінії

	АЛВМ-145
Продуктивність, форм/год	145
Метод нанесення вогнетривкого покриття	Послідовним зануренням обертового блоку у вогнетривку суспензію й в «киплячий шар» кварцового піску.
Час сушіння одного шару, хв	100
Метод виплавки модельного состава	У воді
Час виплавки ,хв.	Не менш 15
Установлена потужність, кВт	13,85
Габарит лінії, мм	16000x12000x2000
Маса комплекту, т	150

### 1.7.3 Приготування вогнетривких покриттів і виготовлення оболочок.

Обмазка для утворення вогнетривких покриттів (керамічних оболочок) являє собою в'язку суспензію, яка складається із зв'язуючого розчину і тонкозернистого кварцу.

Блок окунають в обмазку і отримують тонку плівку суспензії, яку негайно обсипають піском. Розрахунок ведемо на чотирикратну обмазку. Кожен шар після нанесення сушать. В проектуваному цеху використовують суспензію на основі етилсилікату для отримання високоякісної поверхні.

Кількість обмазки визначають із розрахунку 400 кг на 1 т придатного лиття; склад суспензії (по масі) приймаємо: етилсилікат 10%, ацетону 6%, води 1%, пилоподібного кварцу 75%.

Річна кількість обмазки складає 1119 т. Середні показники витрат допоміжних матеріалів на 1 т виливків з урахування придатних виливків на

рівні 30% від залитих приймаємо (кг): етилсилікат (104), ацетон (62), спирт (80), пиловидний кварц (765), пісок (200), аміак (30), соляна кислота (4,5), сульфатна кислота (0,6).

#### 1.7.4 Розрахунок потрібної кількості технологічного устаткування

Кількість потокових ліній визначаємо по формулі:

$$P_{л} = \frac{N \cdot K_{н}}{n \cdot \Phi_{д}}$$

Коефіцієнт загрузки визначаємо по формулі:

$$K_{з} = \frac{P_{л}}{P_{у}}$$

де  $P_{л}$  и  $P_{у}$  - кількість ліній з розрахунку й прийнята до установки, шт;  
 $N$  - річна кількість форм, шт;  
 $n$  - продуктивність ліній, форм/год;  
 $\Phi_{д}$  - дійсний річний фонд часу, год;  
 $K_{н}$  - коефіцієнт нерівномірності роботи формувальної лінії, що приймаємо 1,1.

Кількість потокових ліній для проектного цеху:

$$P_{л} = \frac{N \cdot K_{н}}{n \cdot \Phi_{д}} = \frac{381427,7 \cdot 1,1}{145 \cdot 3645} = 0,79$$

$$K_{з} = \frac{P_{л}}{P_{у}} = \frac{0,79}{1} = 0,79$$

Приймаємо до встановлення 1 формовочну лінію.

У таблиці 1.13 представлена відомість розрахунку технологічного устаткування формовочно-заливочного відділення.

Таблиця 1.13 – Відомість розрахунку технологічного устаткування формовочно-заливочного відділення

Річна кількість форм, шт.	Продуктивність, форм/год	Кількість устаткування, од		К <sub>з</sub>
		По розрахунку	Прийнято	
381 427,7	145	0,79	1	0,79

Для прожарювання форм служить спеціальний агрегат (рис.1. б). Агрегат являє собою піч з газовим підігрівом прохідного типу, де форми обпалюються, переміщаючись на підвісному конвеєрі, при температурі 950-1000 °С на протязі 20 хв.

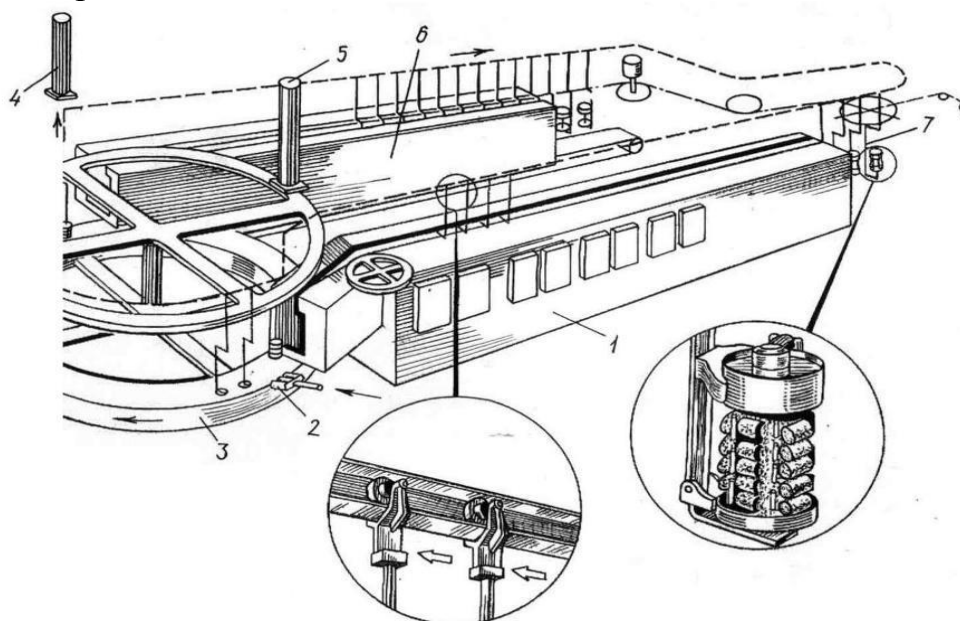


Рисунок 1.6 Агрегат для прокалювання форм  
1 - піч, 2 - форсунки, 3 - заливочна карусель, 4,5 - патрубки, 6 - кожух,  
7 - підвісний конвеєр

## 1.8 Модельне відділення

### 1.8.1 Програма відділення

Розробляючи програму відділення, кількість моделей відповідних обсягів і мас визначаємо за усередненими даними потреби моделей на 1 тону придатних виливків.

Розрахункові дані зведені в таблиці 1.14.

Табл. 1.14 Розрахункові дані кількості моделей і витрат матеріалів на програму цеху

№ груп	Група моделей по масі, кг (по об'єму, дм <sup>3</sup> )	Норма кількості моделей на 1 т, (об'єм суміші в дм <sup>3</sup> )	Кількість моделей на 2014 т (об'єм суміші в дм <sup>3</sup> )	Витрати матеріалу МПВС-2	
				м <sup>3</sup>	т
1	0,5 (0,3)	46,0 (16,1)	92 644 (32 425)	32,425	24,1
2	1,75 (1,05)	21,0 (24,26)	42 294 (48 856)	48,856	34,2
Разом			134 938 (81 281)	81,281	58,3

### 1.8.2 Розробка схеми технологічного процесу виготовлення моделей

На підставі програми відділення групуємо моделі в один виробничий потік. Моделі, що виплавляються, передбачається виготовляти з модельної маси МПВС-2, яка готується в баках з автоматичним регулюванням температури.

Для виготовлення пасти, що легко виплавляється в цеху передбачена система баків. Далі паста надходить по трубопроводу, який нагрівається водою на карусельний автомат. Далі готова модель надходить на автоматичну формувальну лінію на ділянку виготовлення моделей.

Для виготовлення моделей, що виплавляються, приймаємо до установки автомат карусельного типу моделі 653 (рис. 1.7). Приготований модельний склад поступає на автомат карусельного типу. Карусельний стіл обертається за допомогою спеціального приводу, синхронно з роботою автоматичного шприца. Відкриття прес-форм, що мають вертикальний роз'єм, виштовхування секцій моделей і закривання прес-форм виконується автоматично за допомогою пневматичних циліндрів, встановлених на кожній позиції.

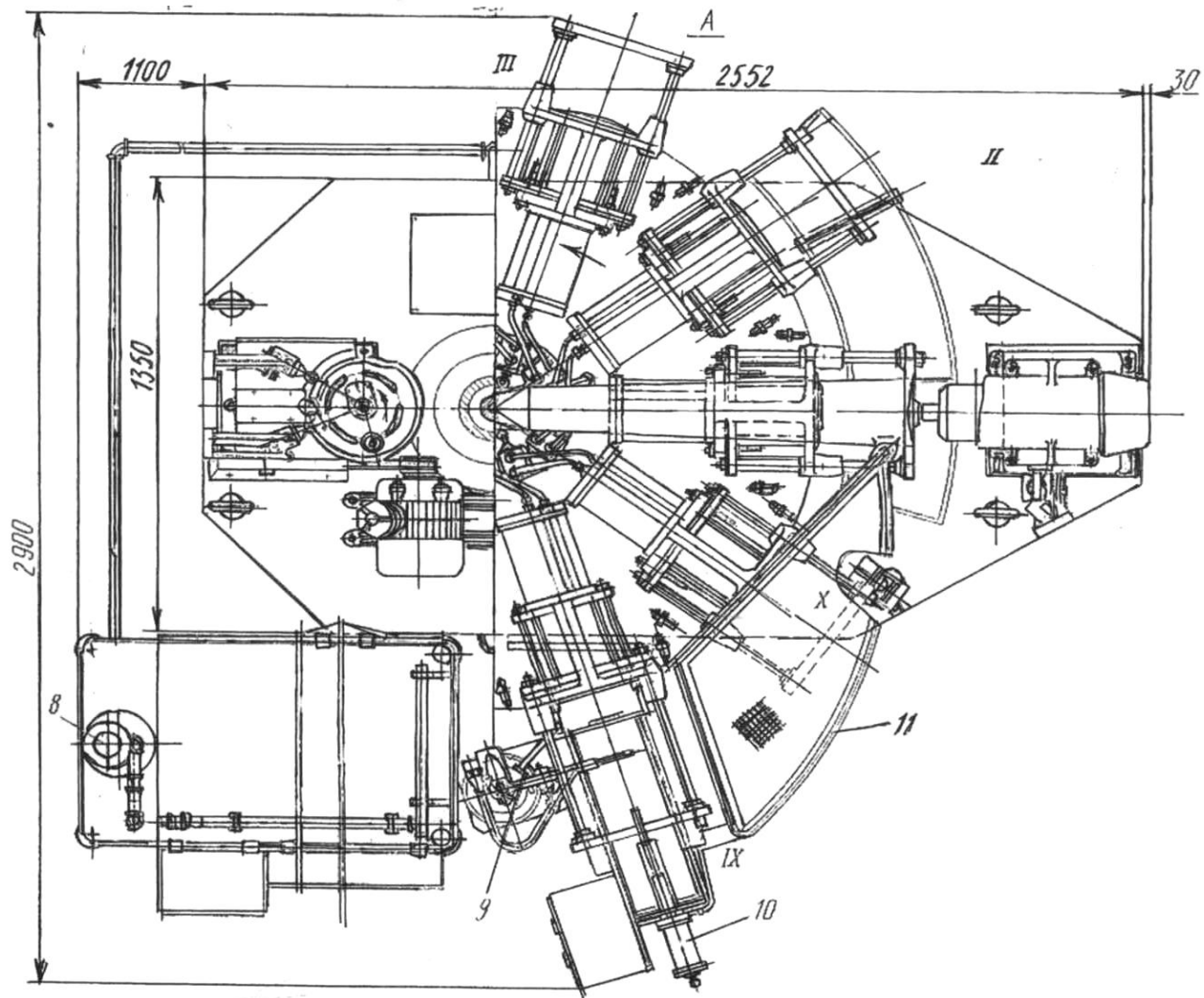


Рисунок 1.7 Автомат для виготовлення моделей типу 653

1 – привід, 2 – карусельний стіл, 3 – пневматичний циліндр, 4 – кожух,  
 5 – шприц, 6 – трубопровід, 7 – рама, 8 – постамент для монтажу прес-  
 форм, 9 – огорожа, 10 – механізм для очищення порожнини прес-форм, 11 –  
 ванна для прийому стрижнів.

Прес-форми охолоджуються циркулюючою в них проточною водою. Стіл забезпечений автоматичними пристроями для продування і прочищення прес-форм. Водяний конвеєр виконаний у вигляді жолоба з проточною водою.

Управління автомата проводиться з пульта. Автомат працює спільно з установкою приготування стрижньового складу.

Із збірки пневматичним насосом модельний склад подається по трубопроводу, що обігрівается, в шприц, за допомогою якого нагнітається в прес-форми, встановлені на десятипозиційному столі. Прес-форми охолоджуються проточною водою з температурою 8 – 12 °С. Для підтримки постійної температури суміші (43 – 45 °С) в системі сумішопріготування і шприцювання циркулює тепла вода. Робочі позиції автомата захищені кожухом і огорожею.

Десять позицій столу розподілені таким чином: I - шпріцювання; II - VII - охолодження; VIII - розкриття прес-форм і видача готових моделей; IX - обдуб прес-форм; X - закриття прес-форм.

### 1.8.3 Розрахунок потрібної кількості технологічного і підйомно-транспортного устаткування

Необхідну кількість устаткування і його завантаження визначаємо по формулах:

$$P_c = \frac{A \cdot K_n}{\Phi_d \cdot n},$$

де  $A$  - річна кількість знімачів по даному потоку, шт;

$K_n$  - коефіцієнт нерівномірності споживання моделей приймаємо 1,2;

$\Phi_d$  - дійсний річний фонд часу роботи устаткування, г;

$n$  - розрахункова продуктивність устаткування, знімачів / г.

$$D_c = \frac{134\,938 \cdot 1,2}{3645 \cdot 60} = 0,74$$

$$K = 0,74 / 1 = 0,74$$

Приймаємо до встановлення 1 карусельний автомат

## 1.9 Сумішоприготувальне відділення

### 1.9.1 Програма сумішоприготувального відділення

Розробка програми сумішоприготувального відділення передбачає розрахунок витрати відповідних видів формувальних і стрижньових сумішей, а також їх компонентів по технологічному потоку і по цеху в цілому. Початковими даними для розрахунку служать виробнича програма цеху по випуску виливків, програми формувального і стрижньового відділень.

Розрахункові дані по витраті формувальних сумішей для проєктованого цеху зведені в таблицю 1.15.

Таблиця 1.15 - Розрахункова відомість витрати формувальної суміші

Група відливань по масі, кг	Річне виробництво виливків з браком, т	Витрата	
		Норма, т/т	Річна витрата, т
0,5 – 1,0	907,2	7,0	6350,4
1,0 – 1,5	644,5	7,5	4833,75
1,5 – 2,0	462,3	8,0	3698,4
Разом:	2014		14 882,55

Для кожного виду сумішей визначаємо рецептуру і на підставі їх потреби розраховуємо кількість необхідних компонентів на річну програму випуску виливків.

### 1.9.2 Розробка програми і схеми технологічного процесу очищення виливків

Враховуючи масове виробництво, відділення кераміки від виливків і виливків від стояків об'єднуємо в одну операцію і виконуємо на спеціальному напівавтоматі.

До складу напівавтомата входять: I установка для відбиття кераміки, II гідравлічний прес для відділення відливань від стояка і III конвеєр. При його роботі на призмі візка конвеєра укладається блок відливання з керамікою. Візок переміщається по направляючим за допомогою гідроциліндра, при цьому блок передається на позицію відбиття кераміки. Кераміку відбивають відбійним молотком, до якого блок притискається циліндром. Далі очищений від кераміки блок передається на гідравлічний прес, де стояк проштовхується через філь'єру за допомогою гідроциліндра обрізання і підпирного гідроциліндра. Кромки філь'єри сколюють живильники, вилівок подають на похилий конвеєр на подальшу обробку.

Залишки кераміки вилуговують з відливань в лужному барабані. Тут вони промиваються в барабані (0,29 об/хв), що поволі обертається, спочатку в розчині лугу, підігрітому газом до 125-130 °С, а потім у водяному розчині при температурі 60 °С. Продуктивність установки 350 кг/г.

У середині барабана виливки переміщаються в кожній зоні гвинтовими спіралями і, закріпленими усередині обичайки. Перехід виливків із зони в зону відбувається по лотках. Перед вивантаженням з барабана вилівок додатково промивається за допомогою водяного душу в промивальній частині барабана. Далі готові виливки проходять ОТК і поступають на склад готової продукції.

Технічні характеристики установок наведені відповідно в таблицях 1.16 і 1.17

Таблиця 1.16 – Технічні характеристики гідравлічного пресу

Найбільші розміри блоків, мм:	
діаметр	250
довжина	500
Продуктивність, блоків/год	20 - 45
Потужність, кВт	23,5
Габаритні розміри, мм	
довжина	4 500
ширина	4 200
висота	1 700
Маса, кг	6 000

Таблиця 1.17 – Технічні характеристики лужного барабану

Продуктивність при обробці відливань, кг/год:	
типу циліндрів	355
простої форми	250
розвинена поверхня і порожнини	125
Найбільший габаритний розмір відливань, мм	140
Габаритні розміри, мм	
довжина	5 200
ширина	1 800
висота	2 720
Маса, кг	6 420

### 1.9.3 Розрахунок кількості устаткування

Розрахунок кількості устаткування проводиться по формулі:

$$P_o = \frac{A \cdot K}{\Phi_o \cdot \Pi},$$



де  $P_o$  - кількість одиниць устаткування, шт;

$A$  - кількість відливань, що піддаються обробці на даному устаткуванні;

$D_o$  - коефіцієнт нерівномірності роботи устаткування;

$\Phi_o$  - дійсний річний фонд часу роботи устаткування, ч;

$\Pi$  - продуктивність устаткування т / ч.

Результати розрахунків по всіх видах устаткування зведені в таблиці 1.18.

Таблиця 1.18 - Завантаження відділення фінішних операцій і розрахункова відомість устаткування

Найменування операцій	Устаткування, од			Коеф. завантаження
	Найменування, модель	Розраховано	Прийнято	
Відрізання ливників і виливків від стояків	Напівавтомат мод. 693	0,7	1	0,7
Очищення відливань від кераміки і вилуговування залишків модельних складів	Лужний барабан мод. 695	0,7	1	0,7

### 1.10 Розрахунок площі цеху

У загальну площу цеху включено:

- ділянки технологічного устаткування;
- ділянки допоміжного і супутнього устаткування;
- складські приміщення.

При розрахунку площ відділень і ділянок цеху враховуємо наступні дані:

- габаритні розміри устаткування;
- планування робочих місць;
- розміщення вантажопідйомних засобів;
- норми проходів і проїздів.

До загальної розрахункової площі додаємо ділянки, що не обслуговуються вантажопідйомними засобами: по 1 м уздовж кожного ряду колон і по 3 м від торців прольоту.

Найбільшу площу займають склади шихтових і формувальних матеріалів, розміщені в одному прольоті. Площу для зберігання шихтових і формувальних матеріалів визначаємо по формулі:

$$S = \frac{M \cdot t}{D_p \cdot \rho \cdot H},$$

де  $M$  - річна потреба в даному матеріалі, т;

$t$  - тривалість зберігання на складі, дні;

$D_p$  - число робочих днів в році;

$\rho$  - об'ємна маса матеріалу, т / м<sup>3</sup>;

$H$  - допустима висота зберігання, м

В результаті розрахунків площа шихтового відділення складає 59,5 м<sup>2</sup>.

Загальна площа цеху – 972 м<sup>2</sup> (ширина – 18, довжина – 54).

## 2. Технологічна частина

### 2.1 Аналіз замовлення

Початкові дані: деталь – корпус  
маса – 0,75 кг  
сплав – 14X17H2Л

Згідно вимогам креслення і враховуючи серійність, специфічність виливка – його доцільно виготовляти способом ЛВМ.

Даний виливок є виливком - представником проектного цеху. Доцільність виготовлення даного виливка в цеху литвом по моделях, що виплавляються, обґрунтовано тим, що цех має в своєму розпорядженні необхідне устаткування, матеріали, оснащення і підйомно-транспортні засоби. Як плавильні агрегати використовують індукційно-вакуумні печі. Завод має в своєму розпорядженні всі методи контролю. Зважаючи на специфіку литва групи складності визначаємо за прејскурантом 25-02-91.

Таблиця 2.1 – Класифікаційні ознаки груп складності.

№	Ознаки	1	2	3	4	5	6
1	Конфігурація поверхні						+
2	Маса виливка					+	
3	Габаритні розміри						+
4	Товщина основної стінки						+
5	Характеристика виступів та ребер						+
6	Кількість стрижнів	+					
7	Механічна обробка					+	
8	Відповідальність призначення						+
9	Особливі технічні вимоги						+

В результаті аналізу привласнюється 6 група складності.

## **2.2 Аналіз технологічності конструкції литої деталі і вибір способу виготовлення виливка**

Аналізуючи виливок «Корпус» з погляду технологічності можна зробити висновок, що по конфігурації виливок компактний, без виступів, тонких перетинів, великої протяжності, без піднутрень, не має різких перепадів висот.

Виливок «Корпус» тонкостінний, дрібний, виготовлений з жароміцного сплаву.

Розробка креслення виливка проводиться по кресленню деталі, призначаються припуски на механічну обробку, технологічні припуски, ухили, допуски на розміри, ливарну усадку.

Після проведеного аналізу конструкції деталі слідує висновок, що враховуючи масу литва і конструкційні розміри найдоцільніше даний виливок виготовляти литвом по моделях, що виплавляються, що сприяє економічності. Схема процесу виготовлення виливків ЛВМ представлена на рис. 2.1.

## Схема процесу виготовлення виливків по виплавляємим моделям



### 2.3 Визначення ділянок поверхні виливка, що виконуються стрижнями

Для виконання порожнини в проєктованому виливку передбачено 1 вертикальний центровий стрижень (рис. 2.2)

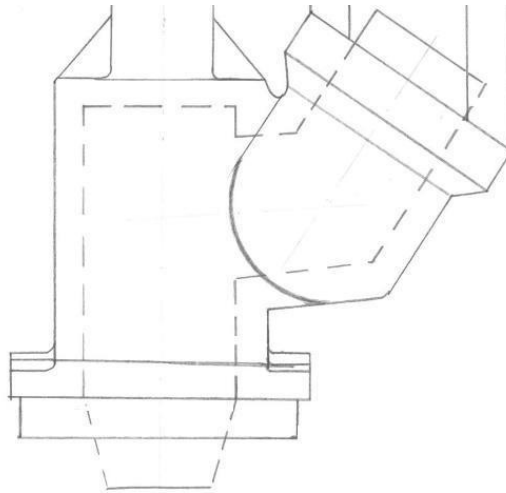
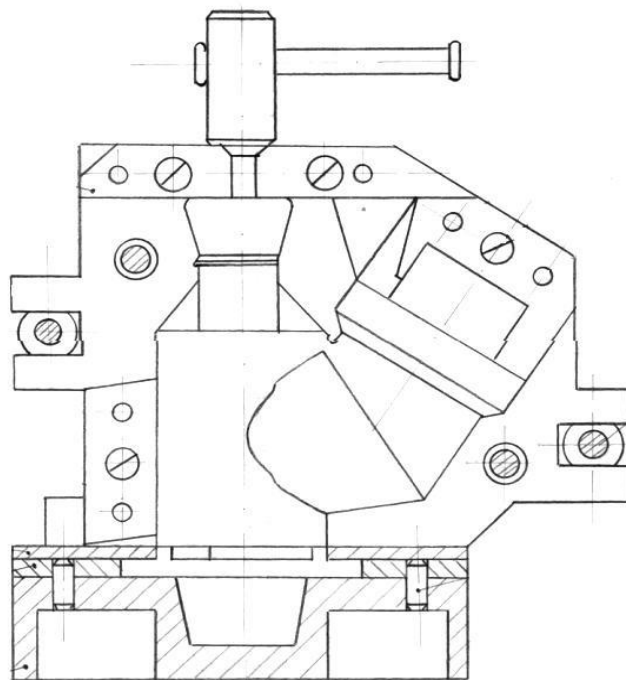


Рисунок 2.2 Знакові частини при вертикальному розташуванні стрижня

#### 2.4 Вибір матеріалу для виготовлення модельного комплекту

На рисунку 2.3 зображена прес-форма для моделі корпусу.



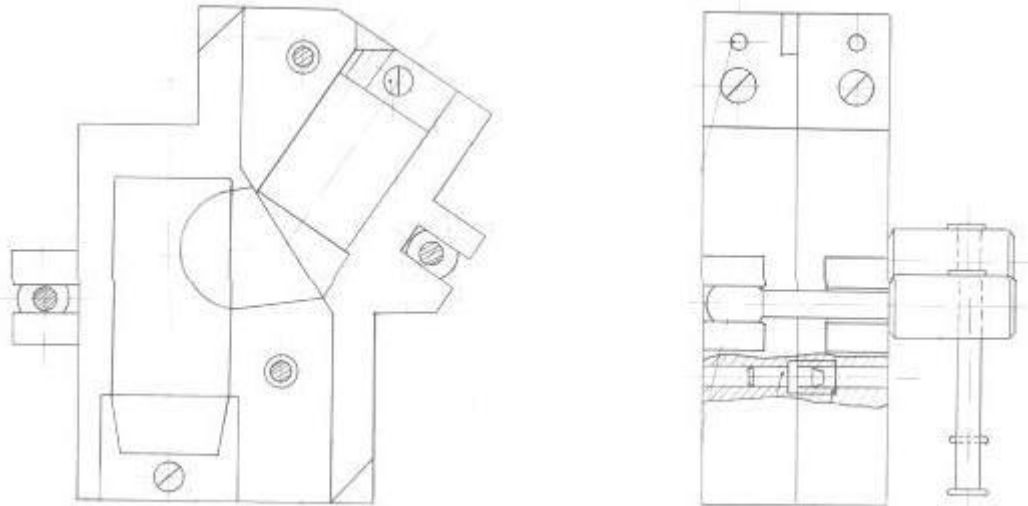


Рисунок 2.3 Прес-форма для моделі корпусу

Моделний склрд Р-3 надходить до цеху в готовому вигляді. В цеху Р-3 плавлять до рідкого стану, перемішують. Моделна маса має бути однорідною та мати температуру 45 – 60 °С.

Моделна маса МПВС має наступний склад по вазі:

- сечовина технічна (карбамід)	94-96,5%
- спирт полівініловий	1,5-3%
- гідрат сірчанокислоного магнію	2-3%

Початкові матеріали готують. Просівають полівініловий спирт через сито з осередком 0,4мм. Просушують карбамід в деках з неіржавіючої сталі в камерній електрошафі протягом 2-3 годин, потім розмільчують в змішувачі з фарфоровим барабаном. Карбамід, що поступає в гранулах, можна не подрібнювати. Магній сірчанокислий не сушать. Беруть в роботу тільки заздалегідь подрібнений і просушений карбамід, і спирт полівініловий. Кожна партія матеріалу супроводжується документом (паспортом, сертифікатом) про якість.

Зважують необхідну порцію висушеного і подрібненого карбаміду і полівінілового спирту або набирають мірною тарою. Ретельно перемішують в ковші раніше зважені порції сечовини і спирту полівінілового, розплавляють масу на електроплитці, не доводячи до кипіння. Після повного розплавлення вводять в масу раніше зважений сірчанокислий магній. Масу злегка перемішують до повного розплавлення сірчанокислоного магнію. Температура заливання модельної маси 120-130 °С. Перегріта модельна маса для виготовлення моделей не допускається.

Для виготовлення системи ливників дозволяється застосовувати 100% переплавки бракованих моделей і залишків, якщо матеріал застосовувався для переплавки не більш 2х разів.

## 2.5 Конструкції і розміри модельних комплектів

Зважаючи на специфіку литва, моделі збираються в блоки по 4 вилівка. Форми для виготовлення моделей, що виплавляються, називаються прес-формами.

Прес-форми відповідають наступним основним вимогам:

- забезпечують отримання моделей із заданою точністю і чистотою поверхні;

- мають мінімальне число роз'ємів при забезпеченні зручного і швидкого витягання моделей;

- передбачають видалення повітря з її порожнин;

- технологічні у виготовленні, довговічні і зручні в роботі.

Всі прес-форми класифікуються по ознаках (табл.2.2).

Таблиця 2.2 - Класифікація прес-форм для виготовлення виплавлюваних моделей (складена Шкленником)

Ознака	Група прес-форм	Примітка
Точність	З високою точністю розмірів (до 7-го класу по ОСТу 1010)	Турбінні лопатки, роторні колеса
	З точними розмірами (до 9-го класу по ОСТу 1010)	Виробництво деталей машин і інструментів
	Із чітким відтворенням контурів еталона	Художнє лиття
Складність	Прості	Залежно від складності виливків, ступеня механізації, кількості гнізд у прес-формі
	Середньої складності	
	Складні	
Матеріал прес-форм	Неметалічні: гіпсові, цементні, смоляні, гумові, дерев'яні	Одиничне й дрібносерійне виробництво
	Металеві: свинцево-олов'яні, цинкові, алюмінієві, сталеві	Серійне й масове виробництво
	Комбіновані (в основному з металевими вставками)	



Спосіб виготовлення прес-форм	Виготовлені по майстра-моделі: литтям, напилюванням, гальванопластикою	При відпрацьовуванні процесу, спеціальні випадки, художнє лиття, дрібносерійне виробництво
	Механічно оброблені з алюмінієвих сплавів і сталей	Масове й серійне виробництво деталей машин
	Комбіновані	Серійне виробництво деталей машин
Спосіб заповнення модельним составом	Вільне заливання	Виробництво елементів ливникової системи й порожніх моделей
	Заливання під тиском	Виготовлення порожніх і суцільних моделей
	Заповнення під тиском пастоподібним модельним составом	Виготовлення моделей і їхніх секцій (найпоширеніший спосіб)
Спосіб охолодження	У навколишнім середовищі (на повітрі, у воді)	Одиничне й серійне виробництво
	Водою, що протікає по каналах у стінках прес-форм	Масове виробництво
Механізація	Ручні	Одиничне й дрібносерійне виробництво
	Механізовані	Серійне й масове виробництво
	Автоматизовані	Масове виробництво
Кількість одночасно одержуваних моделей	Одномісні	Великогабаритні й складні моделі, одиничне й серійне виробництво
	Багатомісні	Масове виробництво
Положення порожнини рознімання	Вертикальні	Прес-форми для автоматів
	Горизонтальні	Ручні й механізовані прес-форми

У проектованому цеху застосовуються сталеві прес-форми, виготовлені механічним способом. Прес-форму проектують на підставі креслення виливка, який складає технолог-ливарник по кресленню деталі. На кресленні указується лінія роз'єму прес-форми, припуски на обробку, місце підведення модельної маси, розмір ливників і технічні вимоги, що пред'являються до виливка.

Прес-форми, що виготовляються на металоріжучих верстатах, характеризуються найбільшою точністю, надійністю і зручностями. Після виконання операцій на металоріжучих верстатах формоутворювальні поверхні прес-форми полірують. Застосовують прес-форми з вертикальним роз'ємом.

Прес-форми готуються до роботи. Очищають поверхні прес-форми від забруднень, залишків модельної маси. Перевіряють комплектність прес-форми і стан робочих поверхонь. У підготовлену прес-форму при необхідності встановлюють керамічний стрижень, прес-форма збирається і наповнюється модельним складом.

Після охолодження розбирають прес-форму, витягують модель (стрижень), оглядають її на відсутність дефектів, протирають марлею. Виявлені дефекти закладають масою МПВС-2 або спеціальною масою для закладення дефектів. Після закладення дефектів масу, що остигнула, зачищають урівень з поверхнею моделі, не порушуючи геометрії і чистоти поверхні.

Розкривають стрижньові знаки в кишнях замкової частини, якщо вони залиті модельною масою.

У підготовлену прес-форму при необхідності встановлюють керамічний стрижень. Збирають прес-форму, стягують затискачами, встановлюють на рівний стіл, заливають в неї через воронку модельний склад з ковша тонким безперервним струменем.

Збірку моделей в блок проводять згідно карті ескізів техпроцеса. У комплекті з моделями заздалегідь готують всі елементи живильної системи. Проводять контроль зібраних блоків шляхом зовнішнього огляду.

## **2.6 Проектування і розрахунок системи ливників**

Правильно побудована ливниково-живильна система при литті по виплавляємим моделям повинна задовольняти наступним основним вимогам:

- забезпечувати заповнення форми металом, уловлювання забруднень і живлення виливків у процесі їхнього затвердіння.
- сприяти одержанню виливків з точними розмірами, без поверхневих дефектів у вигляді засорів, шлакових включень і т.д.
- забезпечувати технологічність блоку моделей і виливків на всіх операціях технологічного процесу аж до обрізки виливків від ливникових систем.
- забезпечувати найбільший вихід придатного лиття й високу продуктивність процесу.

Конфігурація вільної поверхні рідкого металу в порожнині ливарної форми, як і всякої рідини в посудині, визначається в основному дією сили тяжіння, що спричиняє наявність горизонтальної ділянки поверхні й сили поверхневого натягу, що викликає утворення опуклого меніска радіусом  $R_M$  поблизу стінки форми (рис. 2,4).

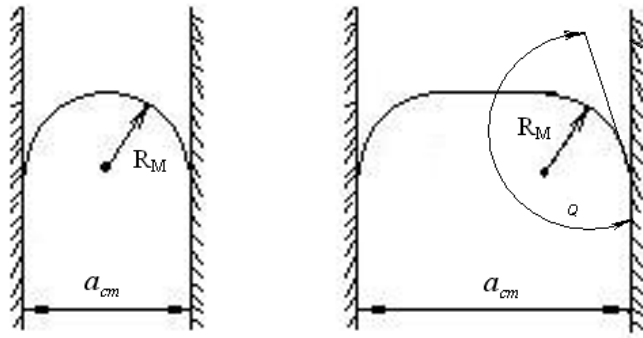


Рисунок 2.4 Утворення меніску в порожнині ливарної форми

Для заповнення форм необхідно забезпечити умови, при яких весь процес заповнення завершився б до початку утворення твердої кірки на передньому кінці потоку.

Щоб забезпечити заповнення металом вузької порожнини, необхідно створити певний гідростатичний напір  $H_p$ , що по відомій формулі дорівнює:

$$H_p = \frac{2 \times \delta \times \cos Q}{a_{cm} \times \gamma \times q}$$

де:  $\delta$  - поверхнева напруга (1500 дин/см)

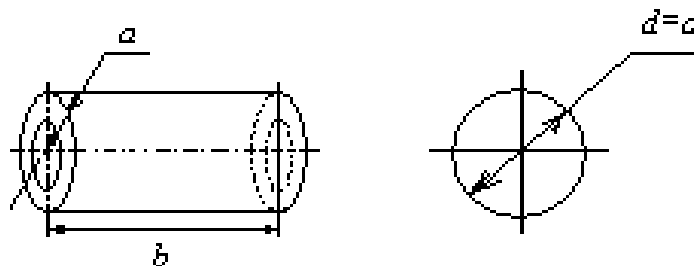
$a_{cm}$  - товщина стінки вилівка

$\gamma$  - щільність розплаву

$q$  - прискорення сили тяжіння

Розрахунки по цій формулі показують, що для заповнення порожнини форми шириною 1,5 мм рідкою сталлю достатній напір близько 3 см.

Недолив у верхніх ярусах пояснюється недостатнім напором. Мінімальна відстань від верхнього рівня ливникової воронки до місця з'єднання вилівок зі стояком повинен бути не менш 70 мм, щоб забезпечити заповнення вилівок. Застосування зумпфа глибиною 30-40 мм істотно поліпшує заповнення вилівок нижнього ярусу за рахунок зливу перших холодних порцій металу в нижню частину стояка й більш швидкого створення достатнього гідростатичного напору (рис. 2,5).



## Рисунок 2.5 Схема стояка

При недостатньому живленні у виливках розвивається пористість і різко знижується комплекс механічних властивостей. Необхідні розміри елементів ливниково-живильної системи (стояків, живильників) пов'язані з модулем охолодження й вагою виливка.

Розрахунок розмірів живильників або стояка виконується по формулі:

$$S_n = \frac{2 \times \sqrt[4]{z^3 \times G} \times \sqrt[3]{l_n}}{S_{cm}}$$

або

$$S_{cm} = \frac{2 \times \sqrt[4]{z^3 \times G} \times \sqrt[3]{l_n}}{S_n}$$

де:  $S_n$  - модуль охолодження перетину живильника (відношення площі перетину живильника до його периметра)

$S_{cm}$  - модуль охолодження перетину стояка (відношення площі перетину стояка до його периметра)

$z$  - модуль охолодження масивного вузла виливка

$G$  - вага виливка (у г)

$l_n$  - довжина живильника (у мм)

$$z = \frac{a \times b}{2 \times (a + b)}$$

$$z = \frac{6 \times 94}{2 \times (6 + 94)} \approx 2,8 \text{ (мм)}$$

$$z = \frac{d}{6}$$

$$z = \frac{25}{6} \approx 4,2 \text{ (мм)}$$

Довжину живильника ( $l_n$ ) підбираємо по способу відрізки виливка від ливникової системи. І вона дорівнює 8 мм.

Посилаючись на таблицю №27 в інженерній монографії за редакцією Шкленника одержуємо:

$$G = 1150 \text{ м}$$

$$z = 4,2 \text{ мм}$$

$$l_n = 8 \text{ мм}$$

$D_{ст} = 45 \text{ мм}$

$S = 6,5 \text{ мм}$

Вибираємо перетин живильника у вигляді прямокутника зі сторонами 4 мм і 11 мм і нормалізований стояк  $D_{ст} = 45 \text{ мм}$ ,  $H_{ст} = 400 \text{ мм}$ . Блок корпусів представлений на рисунку 2.6. В блоці 4 корпуси. На рис.2.7 зображена прес-форма для моделі ливникової системи.

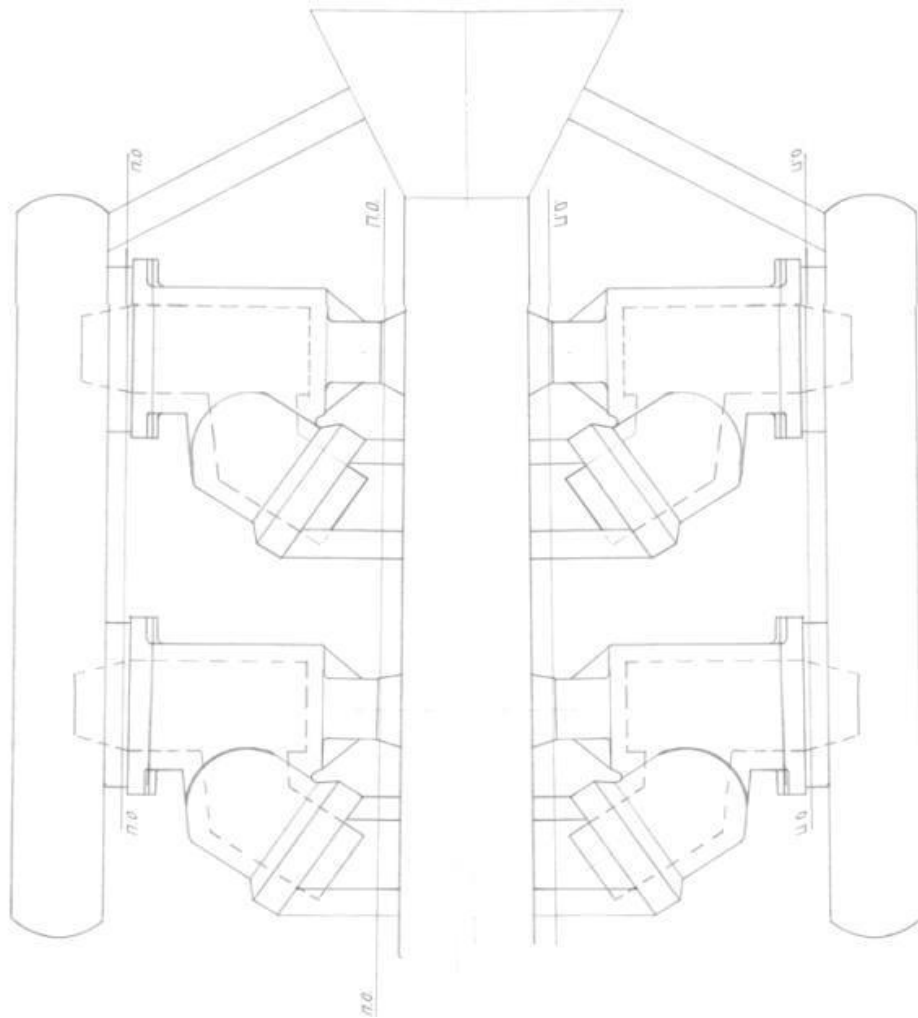


Рисунок 2.6 Схема літниково-живильної системи

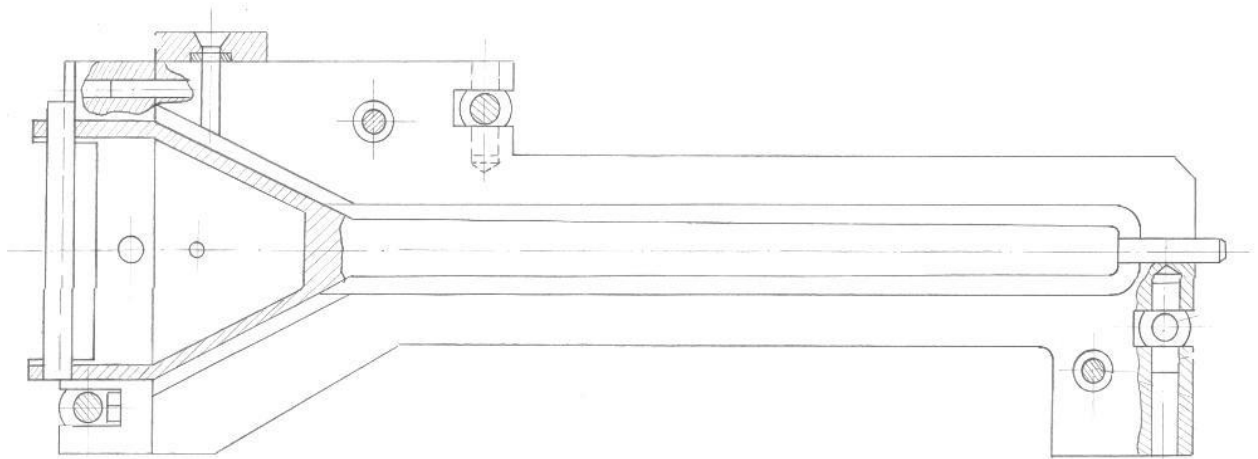


Рисунок 2.7 Прес-форма для моделі літникової системи

## 2.7 Вибір способу заливання форми

Враховуючи хімічний склад, дорожнечу компонентів сплаву, який заливають для отримання якісних виливків, рекомендується застосовувати вакуумні індукційні плавильно-заливальні установки.

Форму встановлюють в термостат і накривають кришкою, поміщають в піч де відбувається заливка форми. Після заливки форму виймають з печі і залишають в термостаті до повного охолодження виливків (для попередження тріщин, і рівномірного охолодження).

## 2.8 Визначення температури розплаву при заливці у форму

Для забезпечення гарної заповнюваності форми і отримання якісних виливків необхідно витримувати певну температуру розплаву, що заливається, яку вибирають залежно від виду сплаву і характеру виливка.

Для проектного виливка «Корпус» з жароміцного сплаву температура розплаву при випуску з печі складає  $1580^{\circ}\text{C}$ . Оскільки плавка металу і заливка форм відбувається у вакуумних індукційних плавильно-заливальних установках, то температура випуску металу дорівнює температурі заливки. Виходячи з цього температура при заливці форм –  $1580^{\circ}\text{C}$ .

## 2.9 Тривалість охолодження виливків у формі

Регламентация часу охолодження виливків у формах диктується необхідністю забезпечення повного твердіння розплаву, виключення утворення деяких усадкових дефектів, отримання необхідної структури металу. Даний виливок після заливки металом встановлюється в термостат,

накривається кришкою і стоїть до повного охолодження. Тривалість охолодження 3 години.

### 3 Спеціальна частина.

## Використання технології виготовлення відливок по виплавляємим моделям з метою отримання високоякісного лиття

### 3.1 Особливості процесу і його можливості

Лиття по виплавляємим моделям є прогресивним способом одержання точних і складних за формою виливків з будь-яких ливарних сплавів.

У спеціальних прес-формах, що легко розбираються, виготовляють легкоплавкі моделі литої деталі й елементів ливникових систем. Моделі й елементи ЛЖС збирають у блоки, на які в кілька шарів (3-12) наноситься рідка формувальна суміш або обмазка, що складається з пилоподібного вогнетривкого матеріалу й сполучного (найчастіше гідролізованого розчину етилсилікату).

Кожний шар обсипається піском і сушиться. Обсипання наноситься для зміцнення шарів і їхнього кращого взаємозв'язку. Потім модель виплавляється й виходить тонка керамічна оболонка. Оболонку встановлюють у нероз'ємну опоку й засипають наповнювачем, або в термостат з метою запобігання її руйнування при заливанні металу. Далі форма прожарюється при 950-1000° С. Метал заливається відразу ж після прокалки, тобто в гарячу форму. Потім слідує операція охолодження залитих форм, вибивки виливків з оболонки й т.д.

Характерні риси ЛВМ:

1. Використання разової моделі. Для кожного виливка необхідна своя модель, що після виготовлення форми перестає існувати (виплавляється).

2. Модель не має рознімання й знакових частин, її контури повторюють форму виливка.

3. Формувальна суміш - рідка суспензія в'язкістю 35-50 сек. по візкозиметру ВЗ-4. Твердою складовою формувальної суміші є пилоподібний вогнетривкий матеріал.

4. Керамічна оболонка зі стінками товщиною 1,5-4,0 мм не має рознімання.

5. Мала шорсткість поверхні форми й висока точність її розмірів.

6. Метал найчастіше заливається у форми, нагріті до 900° С, тому створюються сприятливі умови для заповнення форм і живлення виливків.

Ці особливості технологічного процесу дозволяють одержувати виливки масою від декількох грам до 500 кг із різних сталей, жароміцних сплавів і сплавів з особливими властивостями на основі нікелю, кобальту, молібдену, титану, а також мідних і алюмінієвих сплавів. По ЛВМ можуть бути виготовлені виливки майже будь-якої конфігурації, але з певними вимогами до їхньої технологічності. Однак, ЛВМ є самим складним і самим тривалим технологічним процесом із всіх видів лиття.

Економічність способу визначається правильно обраною номенклатурою виливків. Найбільш економічно доцільно виготовляти дрібні, але складні й відповідальні деталі, до яких пред'являються високі вимоги до точності



розмірів і чистоти литих поверхонь, а також деталі з важкооброблюваних сплавів і сплавів з низькими ливарними властивостями.

### 3.2Прес-форми

Виплавляемі моделі виготовляють у спеціальних прес-формах, що найчастіше складаються із двох частин - матриць із вертикальним або горизонтальним розніманням. Площина рознімання й число розніманих вибирають із умов швидкого й зручного добування з них моделей.

Конструкція прес-форм повинна бути технологічною у виготовленні й відповідати вимогам, що впливають із умов їхньої роботи. Вони повинні забезпечувати одержання якісних моделей і мати необхідну стійкість (довговічність).

Розміри й чистота поверхні робочої порожнини прес-форми повинні забезпечувати одержання виливків із заданою точністю розмірів і шорсткістю поверхні. Отвори простої конфігурації в моделі отримують за допомогою рухливих і нерухомих металевих стрижнів. Отвори й порожнини складної конфігурації виконують керамічними й виплавляемими стрижнями.

У прес-формі передбачається ливникова система для її заповнення модельним складом і вентиляційна система для своєчасного видалення повітря з робочої порожнини. Точна фіксація половин прес-форми при зборці забезпечується направляючими штирями.

Відкривання й запирання прес-форм здійснюються ручними, механічними й пневматичними механізмами.

Моделі з робочої порожнини видаляються спеціальними штовхачами.

Робоча порожнина для великих моделей прохолоджується водою, що протікає по каналах у стінках прес-форми.

По конструктивним особливостях і методам виготовлення прес-форми звичайно ділять на прес-форми для: 1) дослідницького й дрібносерійного; 2) серійного й 3) масового виробництва. Така класифікація обумовлена техніко-економічними показниками.

**Прес-форми для дослідницького й дрібносерійного виробництва.** При виготовленні дослідницьких виливків або дрібних серій, як правило, потрібно за короткий строк підготувати виробництво. У цьому випадку недоцільно виготовляти виливок, а отже, і моделі складної конфігурації, близької до конфігурації готової деталі, тому що час виготовлення й вартість прес-форми для них різко зростуть. Вартість виливка також збільшиться. Більш економічно спростити конфігурацію виливка за рахунок припусків на механічну обробку, тому що збільшення обсягу механічної обробки для невеликого числа виливків буде більш вигідно, ніж ускладнення конструкції прес-форми.

Прес-форми для дослідницького й дрібносерійного виробництва виливків проектують із одним гніздом, тобто для виготовлення однієї моделі. Конструкцію прес-форми спрощують за рахунок зменшення числа допоміжних вузлів і механізмів. Розкриття прес-форми і видалення з них

стрижнів здійснюють вручну. Такі прес-форми виготовляють із гіпсу, пластмас і легкоплавких сплавів литтям по моделі-еталону.

Гіпсові й пластмасові прес-форми мають низьку теплопровідність, що збільшує час затвердіння моделей. Стійкість гіпсових прес-форм 40-200 моделей.

Пластмасові прес-форми мають більш високу стійкість і кращу чистоту поверхні робочої порожнини, але процес їхнього виготовлення більш складний і коштують вони дорожче.

Гіпсові прес-форми застосовують для художнього лиття й для складних деталей, до яких пред'являються невисокі вимоги по чистоті поверхні й точності розмірів. Для підвищення якості окремих частин виливка застосовують гіпсові прес-форми з металевими вставками.

Прес-форми по моделі-еталону виготовляють також зі сплавів на основі свинцю, олова, цинку та алюмінію.

Стійкість литих металевих прес-форм із легкоплавких сплавів досить висока. В алюмінієвих прес-формах можна виготовити кілька тисяч моделей.

Прес-форми для складних моделей виготовляють методами гальванопластики й металізації. У цьому випадку застосовують моделі-еталони з алюмінієвих або цинкових сплавів. Поверхня полірованого еталона (рис. 3.1, а) знежирюють і нікелюють.

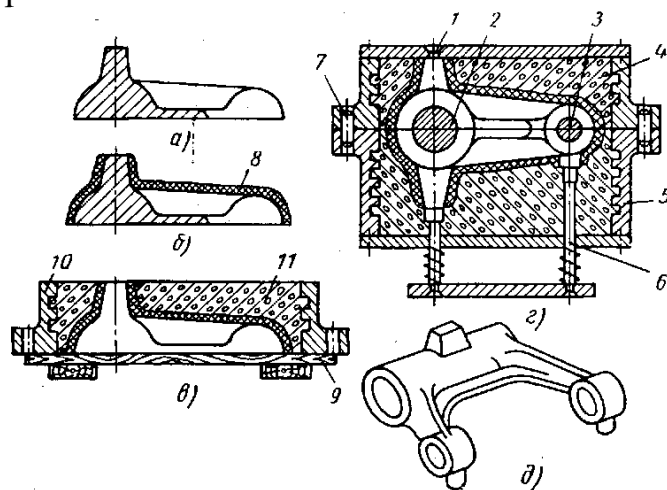


Рис. 3.1 Прес-форма, виготовлена гальванометалізаційним способом

Потім еталон, покритий шаром нікелю 8-10 мкм, поміщають у гальванічну ванну, де нарощують шар міді 0,8-1,2 мм. Промитий і висушений обміднений еталон металізують за допомогою газового або електричного металізатора міддю або сталлю, товщина шару 2-2,5 мм (рис. 3.1, б). Після цього алюмінієвий еталон розчиняють у киплячому розчині луги, а цинковий еталон виплавляють. Отриману коронку 8 після травлення, промивання й сушіння встановлюють на плиту 9 (рис. 3.1, в) накладають рамку 10 і заливають гіпсом 11. Прес-форму (рис. 3.1, г), що складається їх верхньої 4 і нижньої 5 матриць, збирають по напрямних штирях 7. Модельний склад через ливниковий отвір 1 заливають у робочу порожнину. Після його затвердіння виймають стрижні 2 і

3, знімають верхню матрицю 4 і за допомогою штовхачів 6 витягають готову модель (рис. 3.1, д).

**Прес-форми для серійного й масового виробництва.** При серійному й масовому виробництві доцільно одержувати виливки, по конфігурації максимально наближені до готової деталі, з високою точністю розмірів і малою шорсткістю поверхні. У цьому випадку додаткові витрати на виготовлення прес-форми будуть значно менше, ніж витрати на механічну обробку виливків.

Крім того, при серійному й масовому виробництві застосовують багатогніздові прес-форми.

У серійному виробництві використовують прес-форми зі сталі й алюмінієвих сплавів, отримані механічною обробкою.

Прес-форма (рис. 3.2, б) для двох моделей (рис. 3.2, а) складається з нижньої матриці 1 і знімної верхньої матриці 2. Нижню матрицю роблять із вставками 3, які виконують складну частину моделі. Вставки кріплять до нижньої матриці гвинтами. Циліндричний отвір у моделі оформляється рухливим стрижнем 4.

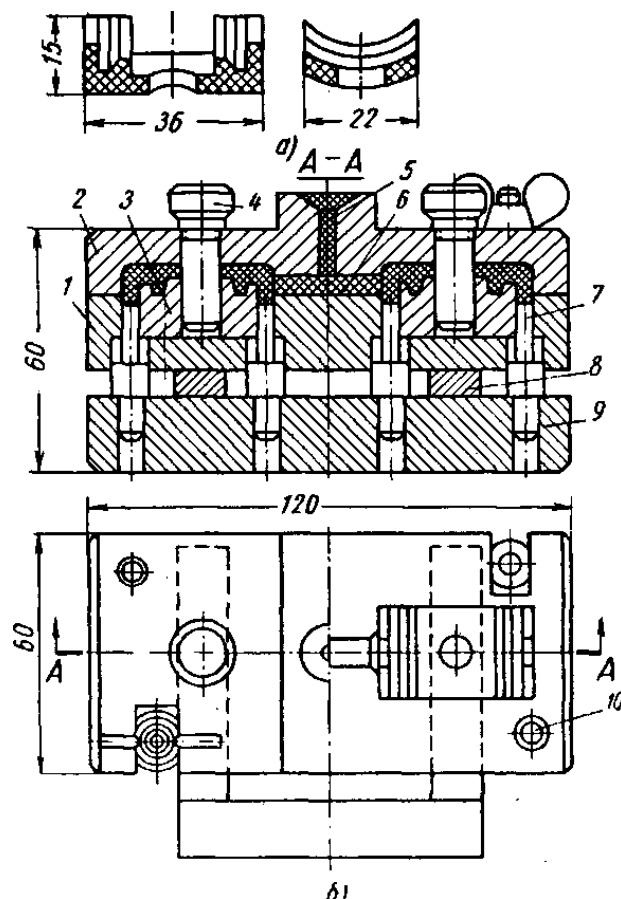


Рис. 3.2 Прес-форма для серійного виробництва

Прес-форму збирають вручну. Точність з'єднань матриць забезпечується напрямними штирями 10. Скріплюють матриці двома відкидними болтами.

Модельний склад у прес-форму надходить через ливниковий канал 5 і живильники 6. Після затвердіння моделей необхідно видалити стрижні й зняти верхню матрицю, щоб звільнити моделі, які втримуються штовхачами 7, треба витягнути фіксуючу вилку 8 і опустити нижню матрицю до плити 9.

У масовому виробництві для складних по конфігурації моделей застосовують сталеві прес-форми. Прості деталі прес-форм виготовляють механічною обробкою, складні - литтям з наступним доведенням механічною обробкою. Переміщення стрижнів, матриць і запирання прес-форм здійснюється рейковими, гвинтовими, пневматичними й іншими механізмами.

Прес-форма (рис. 3.3) для шести моделей з вертикальною площиною рознімання складається з рухливої матриці 1 із вставкою для ливникової системи 2 і нерухою матриці 3. У матрицях є канали 9 для охолодження їх водою. Нерухома матриця на стійках 6 кріплять до плити 4, у якій установлені нерухомі стрижні 8. По них переміщуються трубчасті штовхачі 7 із плитою 5.

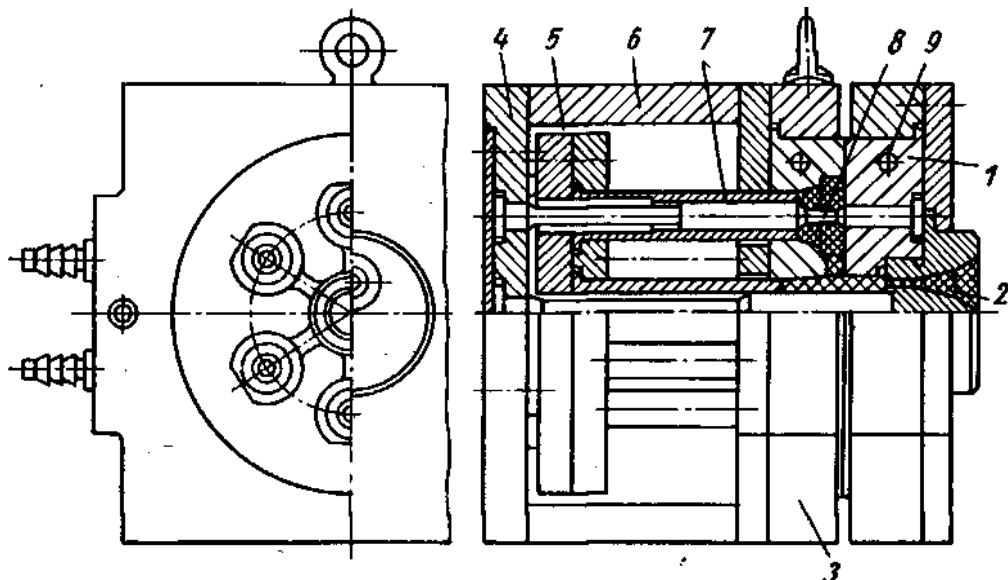


Рис. 3.3 Прес-форма для масового виробництва

При відкриванні прес-форми ланка моделей залишається в нерухомій матриці й видаляється з неї штовхачами, після того, як рухлива матриця відійде на відстань, що перевищує висоту моделей. Такі прес-форми встановлюють на карусельних автоматах.

**Стрижні і механізми їх переміщення.** Стрижні, що виконують отвори, перпендикулярні до площини рознімання прес-форми, найчастіше конструюють нерухомими.

Отвори в моделях, розташовані паралельно площини рознімання, звичайно виконуються рухливими стрижнями. Варто уникати розташування рухливих стрижнів під кутом до площини рознімання, тому що механізми для їхнього видалення ускладнює конструкцію прес-форм. У цьому випадку площину рознімання розташовують паралельно рухливим стрижням.

Розміри робочої порожнини прес-форми розраховують із урахуванням усадки модельного складу, розширення керамічної форми при прожарюванні й усадки металу виливка.

Коефіцієнти усадки моделей виливка й розширення керамічної форми залежать від конфігурації виливка, розташування моделі у прес-формі, відхилення технологічних режимів виготовлення моделі та ін. При конструюванні робочої порожнини необхідно передбачати так звані технологічні допуски на доведення розмірів порожнини після виготовлення дослідницької партії виливків. Технологічні допуски на доведення повинні забезпечувати необхідний припуск на обробку робочої порожнини прес-форми.

Шорсткість поверхні робочої порожнини прес-форми повинна бути не вище 8-го класу чистоти. Більше висока чистота поверхні здорожує вартість виготовлення прес-форми, не поліпшуючи практично якість виливків.

Шорсткість рухливих і нерухомих поверхонь прес-форм повинна відповідати 7-му класу чистоти, ливникові системи - 6-му класу чистоти, інших робочих частин прес-форми - 3-4-му класам чистоти.

### **3.3 Технологія виготовлення моделей і модельних блоків**

Технологічний процес виготовлення моделей і модельних блоків містить у собі операції приготування модельних складів, виготовлення моделей виливків і ливникових систем, обробки й контролю моделей, зборки моделей у блоки.

**Модельні склади.** Якість моделей залежить від властивостей і технології виготовлення модельного складу.

Модельні склади повинні мати наступні основні властивості:

- 1) високу температурою розм'якшення;
- 2) стабільну усадку при охолодженні, стабільне розширення при нагріванні;
- 3) чітко відтворювати контури робочої порожнини прес-форми з мінімальною шорсткістю поверхні моделі;
- 4) достатню рідкотекучість при заповненні прес-форми й при виплавленні моделі з керамічної оболонки;
- 5) необхідну міцність й твердість;
- 6) хімічну інертність до матеріалів прес-форми й керамічної оболонки.

Таблиця 3.1 – Властивості вихідних матеріалів для модельних складів

Матеріал	Температура плавлення, °С	Щільність, г/см <sup>3</sup>	Лінійна усадка, %	Межа міцності при розтягненні кг/см <sup>2</sup>
Парафін технічний	50-51	0,9—0,95	0,3—0,5	4-5
Стеарин	50—56	0,9—0,97	0,7—1,5	4—6
Етилцелюлоза	160—180	1,0—1,2	—	140
Церезин	60—100	0,91—0,94	0,6—1,1	—
Буровугільний віск	82—90	1,0—1,03	—	—
Каніфоль	66—67	1,0—1,2	—	—
Полістирол	280—300	1,05—1,07	0,2—0,8	380—490
Карбамід	130—134	—	—	—

Для виготовлення моделей застосовують багатокомпонентні суспензії (табл. 3.1). З великої кількості модельних складів можна виділити наступні групи: 1) легкоплавкі на основі віскоподібних речовин; 2) тугоплавкі на основі пластмас; 3) розчинні.

Віскоподібні модельні склади застосовують для виготовлення моделей дрібних виливків середньої складності по 5-7-му класах точності. Такі моделі одержують найчастіше з парафіну й стеарину. Властивості вихідних матеріалів для модельних складів наведені в табл. 3.1.

Парафін — продукт сублимації нафти, бурого вугілля й горючих сланців, є сумішшю вуглеводнів граничного ряду і являє собою білу масу із кристалічною структурою. Парафін — дешевий і недефіцитний матеріал, надає моделям пластичність. До недоліків парафіну, як модельного матеріалу, належать невисока міцність, схильність до розм'якшення й деформацій при температурі близько 28° С.

Стеарин - продукт переробки рослинних і тваринних жирів, є сумішшю жирних кислот і являє собою аморфну білувато-жовтувату масу. Стеарин підвищує температуру розм'якшення моделей. Стеарин - дорогий і дефіцитний матеріал, схильний до взаємодії з обмазкою.

Церезин - суміш твердих високомолекулярних вуглеводнів метанового ряду, аморфна маса ясно-жовтих кольорів. Церезин марок 67, 75, 80 (цифри позначають температуру, каплепадіння) одержують переробкою озокериту з нафтових церезинових відкладень. Синтетичний церезин марок 90, 93, 100 одержують із окису вуглецю й водню. Церезин має підвищену пластичність і теплостійкістю в порівнянні з парафіном і стеарином. Недоліки церезину - значна лінійна усадка, невисокі міцність і твердість.

Чотирьохкомпонентний склад Р-3 має високу міцність і теплостійкість.

Тонкостінні й великогабаритні виливки з підвищеними вимогами до чистоти поверхні й точності розмірів варто виготовляти по моделях з високою теплостійкістю й міцністю, малою шорсткістю поверхні й з точними

розмірами. Найпоширенішим складом для зазначених моделей є каніфолеполістероловий склад з добавкою церезину.

Розчинні модельні склади готують на основі карбаміду (технічна сечовина) з добавкою як пластифікатор до 2% борної кислоти.

Моделі при затвердінні й охолодженні практично не мають усадки, отже, вони точні по розмірах. При видаленні моделей розчиненням у воді виключається деформація керамічної форми. Крім того, карбамідні моделі не розм'якшуються, мають високу міцність, твердість й чистоту поверхні. Ці позитивні якості моделей дозволяють одержувати виливки високої чистоти й точності.

Склади на основі карбаміду широко застосовують для розчинних стрижнів, по яких виконуються порожнини складної конфігурації в легкоплавких і тугоплавких моделях.

**Виготовлення моделей.** Процес виготовлення моделей складається з підготовки прес-форми, заповнення робочої порожнини прес-форми модельним складом, витримки для затвердіння моделі, розбирання прес-форми й виштовхування моделі, витримки моделей до закінчення усадки.

Підготовка прес-форми полягає в очищенні, змащенні робочої порожнини й збірці. Змащення емульсією або чисте трансформаторне масла наносять тонким шаром на робочу поверхню прес-форм. Густе й нерівномірне змащення викликає утворення раковин і шорсткості на поверхні моделей.

Способи заповнення прес-форм модельним складом: заливання розплавленого складу вільне й під тиском, запресовування пастоподібного складу, запресовування під тиском підігрітого порошкоподібного або гранульованого складу на основі пластмас.

Спосіб вільного заливання моделей має обмежене застосування через підвищену усадку модельного складу в цьому випадку й зниження розмірної точності моделей. Вільним заливанням виготовляють пустотілі моделі й моделі з карбамідних складів, що мають малу усадку.

Заливання під тиском розплавленого складу в прес-форму застосовують для виготовлення суцільних і пустотілих моделей.

Заливання рідких модельних складів у прес-форму під тиском забезпечує одержання точних по розмірах моделей без усадочних дефектів і дає можливість виготовляти моделі із складів з низькою рідкотекучістю.

При виготовленні складних тонкостінних моделей для кращого заповнення прес-форм роблять попереднє вакуумування її робочої порожнини.

Запресовування пастоподібного складу під поршнеvim тиском може здійснюватися ручними й автоматичними шприцами (рис. 3.4). Модельний склад по трубопроводу 1 заповнює порожнину 2. Потім поршень 7 пневмоциліндром 9 приводиться в крайнє ліве положення. Кришка 8 відходить від поршня 7 за рахунок стискання пружини 3, і модельний склад по каналах 6 надходить у ліву частину порожнини 2. У цей же час відбувається стискання пружини 10 і переміщення циліндра 11 уліво, тобто відділення запресувального пристрою від прес-форми.

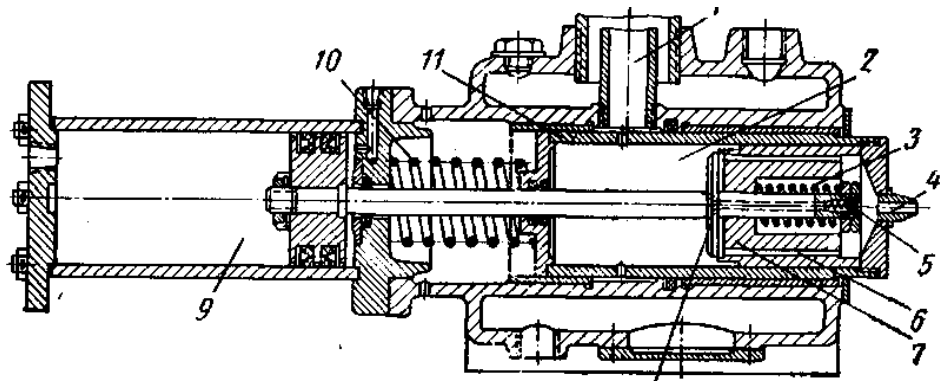


Рис. 3.4. Автоматичний шприц

При зворотному ході поршня 7 запресувальний пристрій підтискається до прес-форми пружинами 10, потім кришка 8 перекриває канали 6, і поршень 7 видавлює модельний склад через отвір 4 у прес-форму. Після заповнення прес-форми надлишок модельного складу надходить у ліву частину порожнини 2 через зворотний клапан 5 і отвір у штоку поршня.

Автоматичні шприци найчастіше застосовують на карусельних 10-позиційних автоматах, які і застосовані у проектуваному цеху (рис. 3.5).

Обертання стола здійснюється за допомогою електродвигуна, редуктора й мальтійського хреста. Поворот стола з однієї позиції на іншу відбувається через 10-20 с., що регулюється змінними шестірнями.

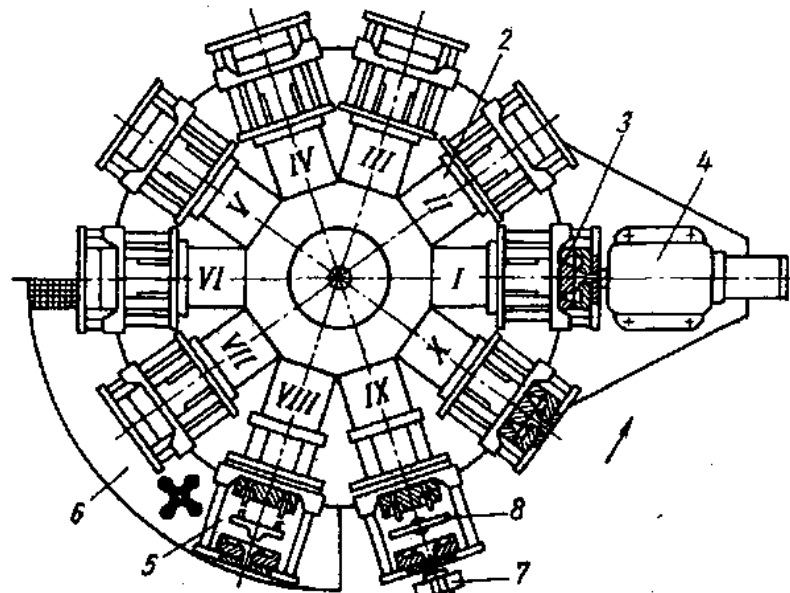


Рис. 3.5. Схема автомата для виготовлення моделей

Запресовування під тиском порошкоподібного або гранульованого модельного складу застосовується на ливарних машинах для пластмас. Прес-форма заповнюється підігрітим модельним складом під поршнеvim тиском. .



Розм'якшений порошок або гранули спресовуються в монолітну модель, що виходить із високою точністю розмірів і чистотою поверхні. Таким способом виготовляють моделі з полістиролу.

**Охолодження моделей.** При охолодженні моделей їхні розміри змінюються через усадку. Керамічні форми можна виготовляти тільки по моделях, що мають стабільні розміри, тому що зміна розмірів моделі в процесі виготовлення керамічної форми викликає відшаровування й розтріскування оболонки.

Через низьку теплопровідність модельних складів природний процес охолодження моделей тривалий і займає 1 - 5 год. Для прискорення процесу необхідно примусове охолодження в проточній воді або обдування стисненим повітрям. Примусове охолодження застосовують для дрібних моделей з рівномірною товщиною стінки. Великі й складні моделі з різною товщиною стінки охолоджують на повітрі не менш 3 год, тому що при примусовому охолодженні в них виникають внутрішні напруження, що приводять до короблення й утворення тріщин у моделях.

Найпоширенішими установками для примусового охолодження моделей є водяні конвеєри. Вода охолоджує моделі, передає їх від місця виготовлення до місця зборки в блоки або їхнє зберігання.

**Особливі способи виготовлення моделей.** Криві отвори й складні порожнини в моделях виконують за допомогою гнучких гумових, пластмасових або розчинних стрижнів. Іноді ці моделі розділяють на окремо виготовлені частини, які потім спаюють.

Гнучкі гумові стрижні, що мають форму отвору у вилівку, закладають у прес-форму й заповнюють її модельним составом. Після затвердіння стрижень витягають із моделі. За допомогою гумових стрижнів одержують отвори з невисокими вимогами до чистоти поверхні й точності розмірів.

**Зборка моделей у блоки.** Великі й дрібні моделі, виготовлені без ливникової системи, після обробки направляють на зборку: до великих моделей необхідно припаяти елементи ливникових систем, дрібні моделі необхідно об'єднати в блоки із загальною системою.

При об'єднанні від 2 до 100 і більше моделей в один блок продуктивність праці на наступних операціях збільшується у стільки разів, скільки моделей є в блоці. Крім того, перевагою виготовлення дрібних литих деталей у вигляді блоків є значна економія металу на ЛЖС.

На практиці моделі в блоки збирають припаюванням і приклеюванням за допомогою спеціальних кондукторів, а також механічним скріпленням окремо виготовлених частин блоку.

### 3.4 Технологія виготовлення форм

Керамічна оболочка має бути достатньо міцною і твердою, з необхідною газопроникністю й піддатливістю, високою хімічною інертністю стосовно модельного складу і матеріалу виливка. Крім того, вона повинна забезпечувати необхідну чистоту поверхні й точність розмірів виливка.

Форми для виливків можна розділити на дві групи: 1) тонкостінні без наповнювачів і 2) тонкостінні з наповнювачами. Форми з наповнювачами (рис. 3.6) мають зовнішню подібність із ПГФ. Керамічна оболочка 1 є лицевальним шаром, а наповнювач 3 забезпечує міцність, необхідну, щоб витримати динамічний і статичний напір рідкого металу при заливанні порожнини 2 форми 1.

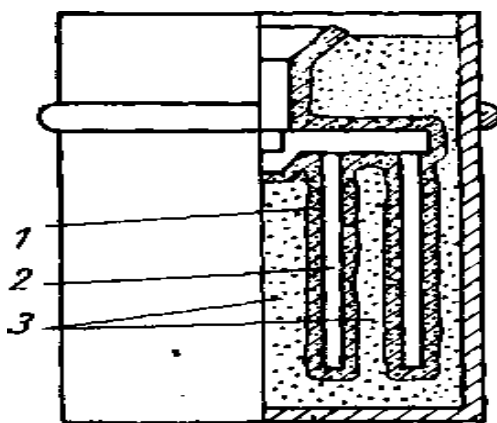
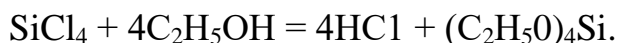


Рис. 3.6 Схема керамічної форми з наповнювачем

### 3.4.1 Формувальні матеріали і їхня підготовка

Сполучні розчини для керамічних форм виготовляють на основі етилсилікату, рідкого скла або їхніх похідних.

Етилсилікат являє собою прозору бурого або жовтуватого кольорів рідину. Етилсилікат одержують впливом етилового спирту на чотирихлористий кремній:



В етилсилікаті завжди присутні різні полімерні з'єднання (табл. 3.2). Етилсилікати розрізняють по вмісту  $\text{SiO}_2$  (27,9—43%).

Таблиця 3.2 – Властивості з'єднань, що входять до складу етилсилікату

З'єднання	Температура кипіння, °C	Вміст SiO <sub>2</sub> , %	Молекулярна вага
Моноетер (C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> O) <sub>4</sub> Si	166,5	28,8	208
Діетер (C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> O) <sub>6</sub> Si <sub>2</sub> O	151—161 (при 0,3 ат)	35,1	334
Триетер (C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> O) <sub>8</sub> Si <sub>3</sub> O <sub>2</sub>	—	37,8	—
Тетраетер (C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> O) <sub>10</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>3</sub>	208—212 (при 0,004 ат)	39,3	603
Пентаетер (C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> O) <sub>12</sub> Si <sub>5</sub> O <sub>4</sub>	—	40,32	—
Гексаетер (C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> O) <sub>14</sub> Si <sub>6</sub> O <sub>5</sub>	242—247 (при 0,003 ат)	42	869

**Приготування сполучного розчину на етилсилікаті.** Реакція гідролізу етилсиліката протікає з невеликою швидкістю. Для прискорення реакції й одержання стійких золів кремнієвої кислоти розчин інтенсивно перемішують, а також використовують спеціальні добавки як розчинники і каталізатори. Як розчинники застосовують етиловий спирт, ацетон. Як каталізатор процесу гідролізу етилсилікату застосовують соляну кислоту.

Зараз гідроліз етилсиліката здійснюють із розчинниками й без розчинників.

Кількість інших матеріалів для сполучних розчинів вибирають по даним рис.. 3.7.

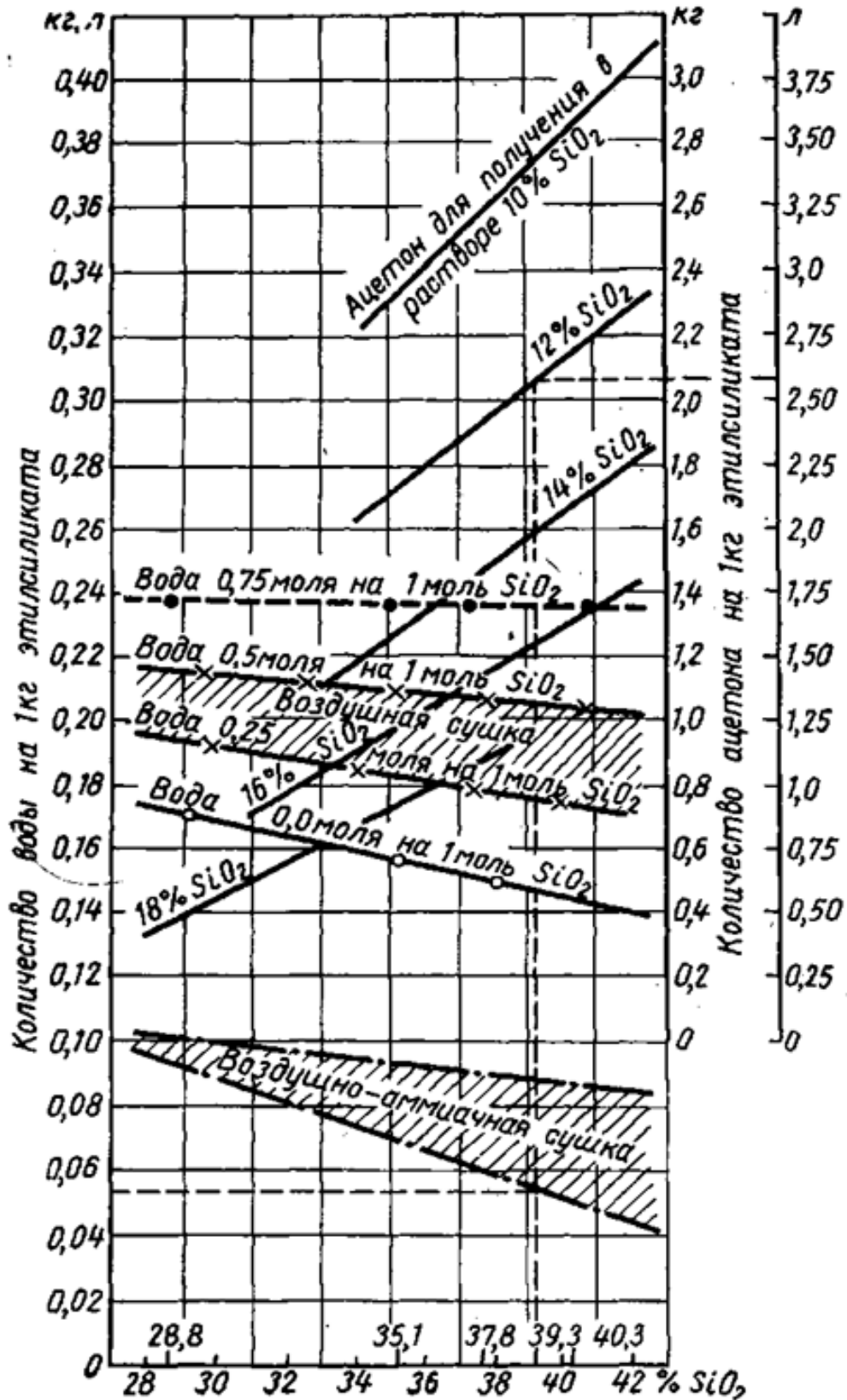


Рисунок 3.7 – Кількість матеріалі для сполучних розчинів

**Вогнетривкі матеріали.** Вогнетривкі матеріали розділяють на пилоподібні матеріали для одержання рідкої формувальної суміші і на піски для обсіпання кожного шару вогнетривкового покриття.

Як вогнетривкі матеріали застосовують природний і штучний пилоподібний кварц, електрокорунд, циркон.

Природний пилоподібний кварц видобувають у кар'єрах, штучний пилоподібний кварц виготовляють розмелом відмитого від глини кварцового піску. Підготовка пилоподібних матеріалів полягає в їхньому сушінні і просіванні.

У штучному пилоподібному кварці присутнє чисте залізо, а в природному - органічні домішки, які є причиною передчасної коагуляції обмазки. Для їхньої нейтралізації в гідролізований розчин етилсилікату додають сірчану кислоту.

Для обсіпання найчастіше вживають матеріали, однакові по мінералогічному складу і іншим характеристиках з пилоподібним матеріалом обмазки. Різниця між ними тільки в розмірі зерен. Розмір зерна пилоподібних матеріалів не більше 0,05 мм, а матеріалу обсіпання - 0,1 мм і вище.

Для обсіпання керамічного покриття на пилоподібному кварці застосовують кварцові піски, на пилоподібному плавленому кварці - плавлений кварц більшого помолу, на цирконовому концентраті цирконові піски й т.д.

Оскільки кожний шар керамічного покриття дуже тонкий і у вологому стані практично не має міцності, то при обсіпанні піщини можуть його пробити. У результаті пробивання піщинами першого шару покриття погіршується поверхня вилівка. Тому рекомендують обсіпати покриття пісками різної зернистості, збільшуючи розмір зерен від першого шару до останнього. Більший пісок збільшує товщину оболонки, у результаті загальне число шарів обмазки можна зменшити.

**Виготовлення керамічних оболонок.** Обмазку наносять на блоки зануренням їх у ванну з обмазкою або у випадку великих моделей обливанням.

Модельний блок у ванну занурюють вручну, за допомогою механічних рук і ланцюгових конвеєрів з копірами. Процес занурення блоку виконується так, щоб пухирці повітря змогли вийти з поверхні моделей і особливо з отворів.

Вийнятий з обмазки блок повільно повертають у різних напрямках для того, щоб дати стекти зайвій обмазці й розподілити її рівномірною плівкою по поверхні. Після цього покриття негайно обсіпають піском. (рис. 3.8) Проміжок часу між нанесенням обмазки й початком обсіпання повинен бути не більше 10 с. За більш тривалий час обмазка підсохне й пісок не пристане.

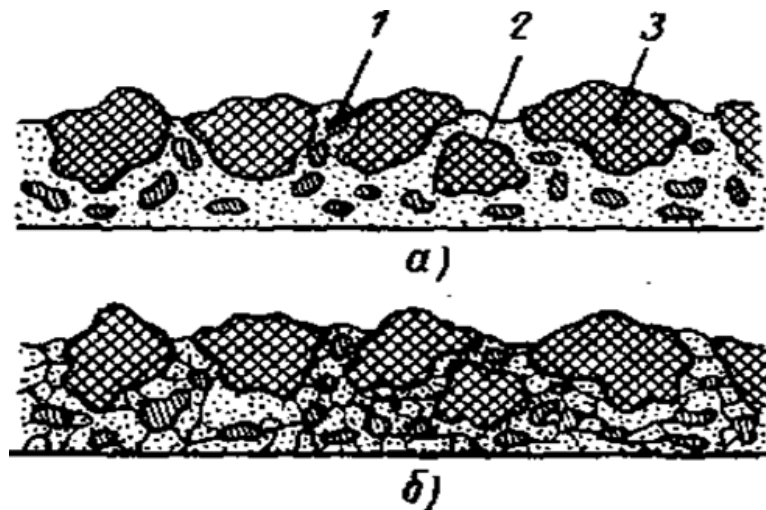


Рис. 3.8 Структура першого шару керамічної форми:

1 — пилоподібний матеріал; 2 — сполучник; 3 — пісок обсіпки

Обмазку у ванні необхідно безупинно перемішувати з невеликою швидкістю з метою попередження осідання пилоподібного матеріалу.

Найбільш простим і надійним способом обсіпання блоку є обсіпання в киплячому шарі піску. У цьому випадку блок не повинен робити складних рухів, він поринає в киплячий шар піску, останній під дією стисненого повітря легко попадає в будь-які отвори моделей. При обсіпанні в киплячому шарі товщина обмазки виходить більш рівномірною. Необхідно враховувати, що при великому тиску повітря в киплячому шарі й великій швидкості піщинок перший шар обмазки може пробитися піщинками й поверхня керамічної форми погіршиться. Цього не відбувається при надлишковому тиску повітря не більше 0,2 атм.

**Сушіння покриття.** Кожний шар покриття на етилсилікаті сушать у потоці повітря або парами аміаку.

Під час сушіння в оболонці відбуваються наступні процеси: закінчення гідролізу поліефірів, які є продуктами неповного гідролізу етилсилікату, випар розчинника й води, коагуляція кремнієвої кислоти спочатку в гель, а потім у тверду речовину.

Процес коагуляції може бути прискорений штучно, наприклад обробкою оболонки газоподібним аміаком. Аміак переводить ці з'єднання в гель.

Висушений шар оболонки повинен втратити здатність до набрякання при нанесенні наступного шару обмазки.

Тривалість сушіння кожного шару етилсилікатного покриття на повітрі 2-4 год. Тривалість сушіння кожного шару аміаком включає тривалість сушіння на повітрі 40-60 хв, у парах аміаку 10-20 хв і вивітрювання парів аміаку 10-20 хв. Для сушіння застосовують вертикальні і горизонтальні сушила з багатоярусними ланцюговими конвеєрами.

**Виплавлення моделей.** Існує кілька способів видалення моделей з керамічної форми - виплавлення гарячою водою, парою, гарячим повітрям,

перегрітим модельним складом і розчиненням у воді. Вибір способу в основному визначається модельним складом.

Віскоподібні модельні склади виплавляють гарячою водою, тугоплавкі - гарячим повітрям. Виплавляння в гарячій воді має наступні переваги: повернення модельного складу досягає 90-95%, менше ймовірність появи тріщин в оболонці в порівнянні з виплавлянням гарячим повітрям, зміцнення оболонки на рідкому склі. До недоліків процесу належить зменшення міцності керамічних покриттів на етилсилікаті. Міцність оболонок зменшується зі збільшенням тривалості перебування їх у воді. Найменша тривалість виплавляння 10-15 хв досягається при температурі, близькій до температури кипіння води.

У цехах дрібносерійного виробництва моделі виплавляють у ваннах з гарячою водою, у яких блоки транспортуються в кошиках або в поворотних рамках. У масовому виробництві застосовують установки безперервної дії з ланцюговими конвеєрами.

**Розчинення карбамідних моделей і стрижнів у воді.** Моделі з карбамідними стрижнями поміщають у ванну з водою. Температура води залежить від складу, з якого виготовлена модель, наприклад розчинення стрижнів з віскоподібних моделей відбувається у воді при температурі не вище 20° С.

Щоб прискорити процес видалення моделей з оболонок, карбамідні моделі розчиняють у воді при температурі 90—95° С.

**Формування оболонок.** Для зміцнення оболонок під час заливання розплавом їх формують у наповнювачі.

Наповнювачі являють собою сипучі вогнетривкі матеріали або спеціальні суміші, називані «рідкими наповнювачами».

Як сипучі наповнювачі застосовують кварцовий пісок К02 і більше, цирконовий пісок, шамотну крихту й інші вогнетривкі матеріали. По хімічному й мінералогічному складу наповнювач повинен бути таким самим, як і матеріал оболонки. Сипучі наповнювачі застосовують у холодному й гарячому стані.

Рідкий наповнювач складається з 80-88 частин (по масі) кварцового піску К02, 12-20 частин глиноземистого цементу й 30-40 частин води. Рідкий наповнювач готують у стандартних розчиномішалках, застосовуваних у будівельній промисловості. Технологічна живучість рідкого наповнювача на глиноземистому цементі 30 хв.

Формування в сипучому холодному наповнювачі здійснюють після видалення моделей з оболонок, до прожарювання форм. Гарячі наповнювачі застосовують для формування гарячих керамічних оболонок відразу після прожарювання. У рідкому наповнювачі, як було зазначено вище, формують оболонки з моделями перед виплавленням.

Сипучі й рідкі наповнювачі після заповнення опок з оболонками ущільнюють на столах із пневмовібраторами.

Для формування застосовують установки з киплячим наповнювачем (сухим піском), у який опускають керамічну оболонку із щільно закритою

ливниковою воронкою. Потім виключають стиснене повітря, оболонка щільно зжимається в наповнювачі.

**Прожарювання форм.** Під час прожарювання оболонки вигорають залишки модельного складу, видаляються продукти неповного гідролізу, випаровуються вода й інші газоутворюючі речовини. Крім того, відбувається спікання часточок сполучного із часточками вогнетривкого пилоподібного матеріалу. У стінці оболонки з'являються пори й мікроскопічні тріщини (рис. 3.8 а, б), завдяки чому підвищується газопроникність прожареної оболонки до 10-20 од. Така низька газопроникність цілком достатня для стінки форми товщиною в кілька міліметрів.

Швидкість нагрівання форм і тривалість витримки при прожарюванні залежать від товщини й матеріалу стінки форми.

Оболонки без наповнювача прожарюють протягом 0,5-1,0 години, їх завантажують у піч при більш високій температурі, ніж оболонки із сипучим наповнювачем.

Оболонка із сипучим наповнювачем нагрівається з боку робочої порожнини. Зовнішня стінка оболонки нагрівається через наповнювач. Теплопровідність оболонки й наповнювача досить низька.

Щоб у стінці оболонки не виникли термічні напруження внаслідок однобічного різкого нагрівання, температуру завантаження й швидкість нагрівання необхідно підібрати із умови рівномірного прогріву стінки оболонки й наповнювача. Така швидкість прогріву дорівнює 150 град/год. При 900—1000° С необхідна витримка протягом 1—2 год, для того щоб процес прожарювання оболонки закінчився повністю. Загальний час прожарювання оболонки із сипучим наповнювачем досягає 6-8 годин.

При прожарюванні оболонки з наповнювачем піддаються напруженням не тільки за рахунок нерівномірного прогріву, але також через поліморфні перетворення матеріалу наповнювача, які проходять зі зміною обсягу. Внаслідок цього в оболонках часто з'являються тріщини. Тому доцільно прожарювати оболонки без наповнювача, тобто формування робити після їхнього прожарювання. У холодному наповнювачі гарячу оболонку формувати не можна, тому що вона руйнується через термічні напруження. Необхідно засипати гарячим наповнювачем з температурою 400 – 800 °С у залежності від температури форми, при якій заливається металом.

### **3.5 Заливання, вибивка й очищення виливків**

Температура форм при заливанні залежить від товщини стінок і матеріалу виливка. Найчастіше заливають гарячі форми відразу після прожарювання. Сталі й жароміцні сплави для тонкостінних виливків заливають при температурі форми 800 – 900 °С; мідні сплави — при 600 – 800 °С; алюмінієві сплави при 300 – 400 °С. Сплави для виливків з товстими стінками заливають в охолоджені форми. У цьому випадку поліпшується структура виливків. Форми охолоджуються разом з піччю, оскільки керамічні оболонки після прожарювання мають невелику міцність і легко руйнуються. Природний



процес охолодження залитих форм займає багато часу. Форми охолоджуються до вибивки й після вибивки стисненим повітрям і водою в спеціальних камерах сипучі наповнювачі легко видаляються на поворотних машинах при перекиданні опок, наповнювачі на основі цементу або РСС руйнуються й видаляються на вибивних ґратах (рис. 3.9).

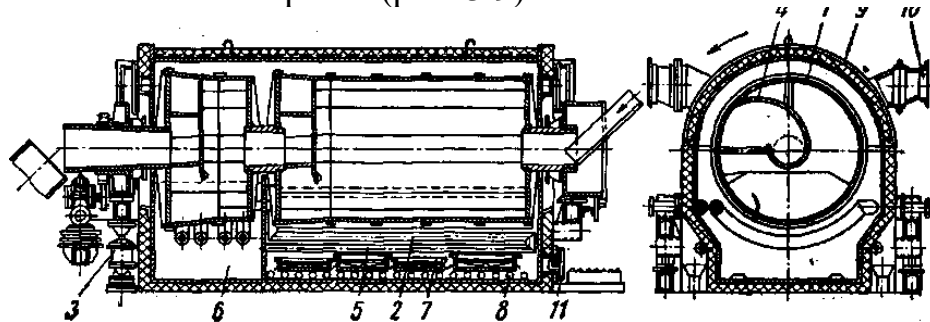


Рис. 3.9. Агрегат для очищення виливків

Очищення виливків від кераміки здійснюється спочатку механічним (попереднє очищення), а потім хімічним (остаточне очищення) методами.

Механічне очищення виконується на пневматичних установках. Потім виливки відділяються від ливникової системи й піддаються остаточному очищенню в киплячому розчині або розплаві лугів. Найбільш діючим є їдкий калій, що, взаємодіючи з окисом кремнію, утворює розчинну калієву сіль кремнієвої кислоти.

Виливки очищаються в киплячому 50% - вому розчині КОН. Процес відбувається при безперервному перемішуванні виливків у ванні, що полегшує видалення продуктів реакції вилужуванням й кераміки з поверхні вилівка. Крім того, необхідно періодично відбирати проби для визначення загальної лужності й вмісту силікату калію у ванні.

Агрегат для очищення виливків (рис. 3.9) виконаний у вигляді барабана 1, що обертається у ванні. Барабан зварений з окремих смуг із щілинами 5-6 мм. Крім того, у стінках барабана зроблені отвори діаметром 10 мм. Через ці отвори й щілини рідина ванни надходить у барабан. Ванна розділена на два відсіки.

Продуктивність агрегату 450 кг/год при тривалості вилужування 2 год. Після очищення виливки піддаються термічній обробці з метою здрібнювання структури й зміцнення. Термічна обробка виливків здійснюється в печах із захисним або відновлювальним газовими середовищами атмосфери для захисту поверхні виливків від окислів.

### 3.6 Дефекти виливків

Найчастіше брак виливків викликається порушенням технології. Необхідно строго стежити за гарною підготовкою вихідних матеріалів, точним дотриманням температурних режимів при запресовуванні модельних складів, сушінню й прожарюванню форм, плавці й заливанню металу. Устаткування й оснащення повинні бути в задовільному стані.

**Дефекти поверхні.** Підвищена шорсткість з'являється в результаті недостатньої чистоти й нерівномірного змащення поверхні прес-форми, поганого змочування поверхні моделі обмазкою, пробиванню першого шару оболонки піском при обсіпанні, утворення в порожнині форми нальоту кремнезему.

Робоча поверхня прес-форми повинна ретельно очищатися від залишків модельного складу, води й зайвого змащення після виштовхування моделі. Необхідно стежити за рівномірним розподілом змащення по поверхні прес-форми.

Обмазка погано змочує моделі у випадку, якщо на їхній поверхні залишаються сліди змащення прес-форми. Необхідно знежирити моделі мильним розчином у воді. У зв'язку із цим в обмазку варто додавати поверхово активні речовини або замінити модельний склад.

Пробивання першого шару обмазки виключається при застосуванні для обсіпання пісків зернистістю 0063 або 01.

Наліт кремнезему у формах з'являється при неповному гідролізі етилсиліката.

Продукти неповного гідролізу присутні в обмазках, у яких гідроліз проведений з недоліком води. У цьому випадку необхідно застосовувати сушіння в парах аміаку, або збільшувати кількість води при гідролізі етилсиліката.

Метал проникає в тріщини оболонки, утворюючи «гребінці», або між шарами оболонки, утворюючи «напливи». Тріщини з'являються при низькій міцності оболонки. Причини низької міцності - неякісні вихідні матеріали або порушення режимів виготовлення форми. Оболонка розтріскується також від тиску модельного складу при його виплавленні. У цьому випадку необхідно використати інший модельний склад з меншим коефіцієнтом теплового розширення або порожні моделі.

Утворенню тріщин сприяють теплові розширення матеріалів оболонки при прожарюванні. Слід дотримуватися встановлених режимів прожарювання особливо для форм із рідким наповнювачем, і підбирати матеріали для обмазки й обсіпання з незначними або близькими по величині об'ємними змінами при нагріванні. При формуванні з рідким наповнювачем треба прокладати по стінці опоки папір або картон.

Напливи з'являються при розшаровуванні оболонки від повітря, що скопилось між її шарами. Причиною утворення міхурів в оболонці є повітря, замішане з обмазкою, тому час витримки обмазки перед нанесенням на моделі повинне бути збільшений.

Пригар на виливках утворюється в результаті хімічної взаємодії матеріалів оболонки й виливки або перегріву окремих ділянок форми. Щоб

усунути пригар - для оболонки варто використати матеріали з високою хімічною інертністю, знижувати температуру заливання й збільшити відстань між виливками в блоці.

Зневуглецьований шар на сталевих виливках товщиною до 0,5 мм можна ліквідувати введенням до складу обмазки карбюризатора або термічну обробку виливків робити в карбюризаторі, що забезпечує насичення вуглецем поверхні виливка.

**Внутрішні дефекти виливків.** Засори, тобто відкриті або закриті порожнини в тілі виливка, заповнені матеріалом оболонки, з'являються при змиванні струменем металу «заусенців» на оболонці, які утворюються в щілинах між недбало спаяними моделями й ливниковою системою.

Усадочні раковини й пористість у стінках виникають при недостатньому живленні окремих частин виливка під час її затвердіння.

Основною мірою боротьби з усадочними дефектами є зміна конструкції ЛЖС, а в деяких випадках і самого виливка. ЛЖС повинна забезпечити спрямоване затвердіння виливка. Для цього необхідно встановити надливи над масивними частинами виливка, змінити розміри живильника, щоб через нього забезпечити живлення виливка від стояка або колектора, вирівняти товщину стінок виливка, виконати плавні переходи від товстих перетинів до тонких, передбачити жолобники на внутрішніх кутах, застосовувати технологічні припуски для спрямованого затвердіння.

## Висновки

ЛВМ є прогресивним способом отримання точних і складних за конфігурацією литих деталей з будь-яких ливарних сплавів. Особливості технологічного процесу дозволяють одержувати виливки масою від декількох грам до 500 кг, але з певними вимогами до їхньої технологічності. Проте, ЛВМ є самим складним і самим тривалим технологічним процесом із всіх видів лиття.

Економічність способу визначається правильно обраною номенклатурою виливків. Найбільш економічно доцільно виготовляти дрібні, але складні й відповідальні деталі, до яких пред'являються високі вимоги до точності розмірів і чистоти литих поверхонь, а також деталі з важкооброблюваних сплавів і сплавів з низькими ливарними властивостями.

Аналізуючи вилівок «Корпус» з погляду технологічності, можна зробити висновок, що по конфігурації він компактний, тонких перетинів великої протяжності, без піднутрень, не має різких перепадів висот. Вилівок тонкостінний, дрібний, виготовлений з жароміцного сплаву. Проте для його виготовлення необхідно спеціальне оснащення при створенні ливарної моделі із застосуванням водорозчинних стрижнів. Враховуючи масу литва і конструкційні розміри, найдоцільніше даний вилівок виготовляти литвом по моделях, що виплавляються, що сприяє економічності процесів.

Для проєктованого вилівка температура розплаву при випуску з печі складає 1580 °С. Оскільки плавка металу і заливка форм відбувається у вакуумних індукційних плавильно-заливальних установках, то температура випуску металу дорівнює температурі заливки. Виходячи з цього температура при заливці форм – 1580 °С.

Створення в Кривому Розі спеціалізованого цеху лиття по витоплюваних моделях є економічно обґрунтованим. По-перше, у місті й області є значна кількість промислових підприємств, а отже є потреба в литих деталях. По-друге в регіоні немає труднощів з набором виробничих робочих і інженерно-технічних працівників, а також можливості їхньої підготовки й підвищення кваліфікації, оскільки є кілька спеціалізованих навчальних закладів.