

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Р. В. Лютий, І. М. Гурія

ФОРМУВАЛЬНІ МАТЕРІАЛИ

Присвячується пам'яті видатного вченого та вчителя
Степана Пантелійовича Дорошенка

*Затверджено Вченою радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
як підручник для студентів,
які навчаються за спеціальністю 136 «Металургія»,
освітньою програмою «Комп'ютеризовані процеси лиття»*

**Київ,
КПІ ім. Ігоря Сікорського
2020**

Рецензенти:

Відповідальний
редактор

Гриф надано Вченою радою КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол № X від DD.MM.YYYY р.)

Навчальне видання

*Лютий Ростислав Володимирович, канд. техн. наук, доц.
Гурія Ірина Миранівна, канд. техн. наук, доц.*

ФОРМУВАЛЬНІ МАТЕРІАЛИ

Формувальні матеріали [Текст] : підручник для студ. спеціальності 136 «Металургія», освітньої програми «Комп'ютеризовані процеси лиття» / Р. В. Лютий, І. М. Гурія ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 257 с.

У підручнику представлено інформацію про історичний розвиток процесів виготовлення ливарних форм і стрижнів та важливі питання формоутворення. Викладено дані про всі матеріали для отримання форм та стрижнів: вогнетривкі наповнювачі, зв'язувальні компоненти, добавки, допоміжні та протипригарні матеріали; наведено процеси приготування сумішей, їх склад, властивості та методи їх визначення; способи регенерації та відновлення сумішей. Висвітлено важливі питання формоутворення: загальні вимоги до ливарних форм та їх класифікація; різновиди процесів і параметри взаємодії форм із виливками.

Підручник призначений для студентів спеціальності 136 «Металургія» освітньої програми «Комп'ютеризовані процеси лиття», може бути корисним для студентів, які навчаються за іншими освітніми програмами спеціальності, а також здобувачів третього наукового рівня освіти.

© Р. В. Лютий, І. М. Гурія, 2020
© КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА	10
РОЗДІЛ 1. ЛИВАРНА ФОРМА В ІСТОРІЇ	13
1.1. Історія зародження і розвитку литва.....	13
1.2. Еволюція ливарної форми.....	14
1.3. Розвиток процесів формоутворення.....	18
1.4. Наука про ливарну форму.....	19
1.5. Перспективи розвитку технології виготовлення виливків у піщаних формах.....	21
РОЗДІЛ 2. КЛАСИФІКАЦІЯ ЛИВАРНИХ ФОРМ І МАТЕРІАЛІВ	23
2.1. Технологічний процес виготовлення виливків у піщаних формах	23
2.2. Вимоги до ливарних форм.....	24
2.3. Класифікація ливарних форм.....	25
2.4. Класифікація виливків.....	29
2.5. Класифікація формувальних матеріалів та вимоги до них.....	32
РОЗДІЛ 3. ВОГНЕТРИВКІ НАПОВНЮВАЧІ	34
3.1. Піски на основі кварцу.....	34
3.1.1. Походження пісків.....	34
3.1.2. Добування формувальних пісків.....	35
3.1.3. Класифікація та маркування формувальних пісків.....	37
3.1.4. Додаткові ознаки класифікації пісків.....	39
3.1.5. Визначення властивостей пісків.....	45
3.1.6. Фізичні та хімічні властивості.....	47
3.2. Вогнетривкі наповнювачі на основі кремнезему.....	48
3.3. Інші вогнетривкі наповнювачі.....	49
РОЗДІЛ 4. ЗВ'ЯЗУВАЛЬНІ КОМПОНЕНТИ	55
4.1. Загальна характеристика.....	55
4.2. Формувальні глини.....	59
4.2.1. Загальна характеристика.....	59
4.2.2. Зв'язувальна здатність глин.....	61
4.2.3. Перетворення глин при нагріванні.....	64
4.2.4. Класифікація формувальних глин.....	65
4.2.4.1. Бентонітові глини.....	66
4.2.4.2. Каолінові та полімінеральні глини.....	69
4.2.5. Органофільні бентоніти.....	71
4.2.6. Переваги, недоліки і область використання глин.....	72

4.3. Синтетичні смоли.....	73
4.3.1. Склад і загальна характеристика.....	73
4.3.2. Різновиди синтетичних смол.....	74
4.3.3. Модифікування синтетичних смол.....	77
4.3.4. Холоднотвердні суміші із синтетичними смолами.....	79
4.3.5. Суміші теплового зміцнення із синтетичними смолами.....	85
4.3.6. Полівініловий спирт.....	87
4.3.7. Переваги і недоліки синтетичних смол.....	87
4.4. Рідке скло.....	88
4.4.1. Загальна характеристика.....	88
4.4.2. Способи приготування.....	89
4.4.3. Зміцнення сумішей з рідким склом.....	90
4.4.4. Проблема вибиваємості сумішей з рідким склом.....	93
4.4.5. Переваги і недоліки рідкого скла.....	96
4.5. Технічні лігносульфонати.....	97
4.5.1. Загальна характеристика.....	97
4.5.2. Зміцнення сумішей із лігносульфонатами.....	99
4.5.3. Переваги і недоліки лігносульфонатів.....	100
4.6. Фосфатні зв'язувальні компоненти.....	101
4.6.1. Загальна характеристика.....	101
4.6.2. Процеси зміцнення фосфатних сумішей.....	101
4.6.3. Матеріали для приготування фосфатних сумішей.....	104
4.6.4. Переваги і недоліки фосфатних зв'язувальних компонентів..	105
4.7. Масла та олії.....	106
4.7.1. Рослинні олії.....	106
4.7.2. Нафтові масла.....	107
4.7.3. Переваги і недоліки масляних сумішей.....	108
4.8. Полісахариди.....	109
4.9. Цементи.....	111
4.10. Гіпс.....	113
4.11. Етилсилікат.....	116
4.12. Солекерамічні зв'язувальні системи.....	118
4.13. Інші зв'язувальні компоненти.....	119
4.13.1. Пеки та бітуми.....	119
4.13.2. Кремнезоль.....	120
4.13.3. Алюмінат натрію.....	120
4.13.4. Оксинітрати та оксихлориди.....	121

4.13.5. Сульфати.....	121
4.13.6. Полівінілбутираль.....	122
РОЗДІЛ 5. ДОБАВКИ, ДОПОМІЖНІ ТА ПРОТИПРИГАРНІ	
МАТЕРІАЛИ.....	125
5.1. Добавки.....	125
5.1.1. Затверджувачі.....	125
5.1.2. Регулятори властивостей.....	127
5.1.3. Поверхнево-активні добавки.....	129
5.2. Допоміжні матеріали.....	130
5.2.1. Припили та розділові покриття.....	130
5.2.2. Допоміжні матеріали для стрижнів.....	131
5.2.3. Екзотермічні та теплоізоляційні суміші для надливів.....	133
5.3. Протипригарні матеріали і покриття.....	136
5.3.1. Види протипригарних матеріалів.....	136
5.3.2. Протипригарні фарби.....	138
5.3.2.1. Різновиди та склад протипригарних фарб.....	138
5.3.2.2. Наповнювачі протипригарних фарб.....	140
5.3.2.3. Зв'язувальні компоненти для фарб.....	141
5.3.2.4. Розчинники.....	142
5.3.2.5. Стабілізатори.....	143
5.3.2.6. Технологічні добавки.....	145
5.3.3. Приготування фарб та їх склад.....	145
5.3.4. Нанесення фарб.....	147
5.3.5. Властивості протипригарних фарб і покриттів.....	149
5.3.5.1. Фізичні властивості.....	149
5.3.5.2. Технологічні властивості фарб.....	151
5.3.5.3. Робочі властивості фарб.....	153
5.3.6. Протипригарні пасти.....	155
5.3.7. Облицювальні протипригарні суміші.....	156
РОЗДІЛ 6. МЕХАНІЧНА ВЗАЄМОДІЯ ВИЛИВКА З ФОРМОЮ....	159
6.1. Взаємодія з рідким металом.....	159
6.2. Взаємодія з твердою кіркою.....	161
6.3. Взаємодія з виливком у процесі твердіння.....	161
6.4. Взаємодія із затверділим виливком.....	162
РОЗДІЛ 7. ТЕПЛОВА ВЗАЄМОДІЯ ВИЛИВКА З ФОРМОЮ.....	164
7.1. Теплофізичні властивості.....	165
7.2. Теплова взаємодія з рідким металом.....	168

7.3. Взаємодія на етапах твердіння і у твердому стані.....	171
7.3.1. Температурні поля у виливку і формі.....	171
7.3.2. Фізичні та фізико-хімічні процеси у формі.....	173
РОЗДІЛ 8. ГАЗОВІ ПРОЦЕСИ У ЛИВАРНІЙ ФОРМІ.....	176
8.1. Утворення газів у формі.....	176
8.2. Взаємодія рідкого металу із газами у формі.....	177
8.3. Взаємодія газів із твердою кіркою на поверхні виливка.....	180
8.4. Взаємодія виливка із газами на етапі твердіння.....	180
8.5. Методи попередження проникнення газів у виливки.....	181
РОЗДІЛ 9. ФІЗИКО-ХІМІЧНА ВЗАЄМОДІЯ ВИЛИВКА З ФОРМОЮ	184
9.1. Взаємодія на етапі рідкого металу.....	184
9.1.1. Утворення пригару.....	184
9.1.2. Види пригару.....	186
9.2. Взаємодія форми із затверділою кіркою.....	189
9.3. Методи боротьби з пригаром.....	190
РОЗДІЛ 10. ПРИГОТУВАННЯ ТА РЕГЕНЕРАЦІЯ	
ФОРМУВАЛЬНИХ СУМІШЕЙ.....	195
10.1. Оборотні та відпрацьовані суміші.....	195
10.2. Різновиди процесів регенерації сумішей.....	198
10.2.1. Механічна регенерація.....	198
10.2.2. Пневматична регенерація.....	199
10.2.3. Гідравлічна регенерація.....	200
10.2.4. Термічна регенерація.....	201
10.3. Сепарація сумішей.....	201
10.4. Підготовка свіжих матеріалів.....	204
10.4.1. Підготовка піску.....	204
10.4.2. Підготовка глини.....	204
10.4.3. Підготовка інших зв'язувальних компонентів.....	205
10.5. Приготування сумішей.....	206
10.5.1. Сутність процесу приготування сумішей.....	206
10.5.2. Приготування сумішей різного типу.....	207
10.6. Класифікація сумішей.....	208
РОЗДІЛ 11. ВЛАСТИВОСТІ СУМІШЕЙ ТА МЕТОДИ ЇХ	
ВИЗНАЧЕННЯ.....	210
11.1. Класифікація властивостей.....	210
11.2. Фізико-механічні властивості.....	211
11.2.1. Міцність.....	211

11.2.2. Поверхнева міцність.....	220
11.2.3. Газопроникність.....	221
11.2.4. Газотвірна здатність.....	225
11.2.5. Вологість.....	226
11.3. Технологічні властивості.....	229
11.3.1. Пластичність.....	229
11.3.2. Термін технологічної придатності (живучість).....	232
11.3.3. Текучість рідкорухомих сумішей.....	233
11.3.4. Липкість.....	234
11.3.5. Гігроскопічність.....	235
11.3.6. Довговічність.....	236
11.4. Робочі властивості.....	236
11.4.1. Податливість.....	236
11.4.2. Вибиваємість.....	237
11.5. Реологічні властивості.....	238
ЛІТЕРАТУРА.....	241
ДОДАТКИ.....	244
Додаток А. Склад і властивості сумішей із формувальними глинами....	245
Додаток Б. Склад і властивості сумішей із синтетичними смолами.....	248
Додаток В. Склад і властивості сумішей із рідким склом.....	251
Додаток Г. Склад і властивості сумішей із лігносульфонатами.....	253
Додаток Д. Склад і властивості сумішей із фосфатними зв'язувальними компонентами.....	254
Додаток Е. Склад і властивості сумішей із цементами.....	255

ПЕРЕДМОВА

Зміцненню позицій ливарних підприємств України та підвищенню конкурентоспроможності цієї галузі промисловості має сприяти широке залучення у виробництво нових технологій, розвиток кадрового потенціалу та розширення представництва на світовому ринку. Вирішити це можна підвищенням якості освіти відповідно до новітніх наукових та технологічних розробок, забезпеченням практичної спрямованості освіти та інтегрування її в галузь.

Ливарне виробництво має історію, яка налічує декілька тисячоліть, і таку саму давність має питання про вибір матеріалів для форм [1]. Процес виготовлення технологічним методом лиття будь-якого виробу (напівфабрикату, заготовки) з розмірами, відповідними або близькими до розмірів готової деталі, є неможливим без використання ливарної форми – системи елементів, які утворюють робочу порожнину, після заливання якої розплавленим металом і формується цей виріб.

Виливок, згідно ДСТУ з термінології ливарного виробництва, – це виріб або заготовка (напівфабрикат) із розмірами, відповідними або близькими до розмірів деталі, який одержано технологічним методом лиття.

Ливарна форма – це система елементів, які утворюють робочу порожнину, при заливанні якої розплавленим металом формується виливок.

Світовий розвиток технологій забезпечує виготовлення дрібних виливків із сплавів на основі Al, Mg, Zn і Cu у металевих формах. Виливки характеризуються високою розмірною точністю і якістю поверхонь, тому в окремих випадках способами лиття можна виготовити готову деталь.

Однак сумарний обсяг виливків із сплавів кольорових металів на сьогодні не перевищує 20%. Майже 70% виливків виготовляють із чавунів, близько 10% із сталей різного складу [2].

Для виготовлення переважної більшості виливків застосовують разові форми, виготовлені із композицій (сумішей) вогнетривких матеріалів. Крупні виливки із мідних, титанових та деяких тугоплавких сплавів, загальна кількість яких незначна, також отримують у разових формах. Суміші, з яких виготовляють такі форми, можуть містити до 10 компонентів, при чому незначне порушення складу призводить до браку литва. Взагалі виникнення 70% усіх дефектів литих деталей пов'язано із ливарними формами, в т. ч. 40...50% – із разовими піщаними формами. Отже, питання вибору матеріалів і

технологій виготовлення разових форм і стрижнів (об'єднане одним терміном – формоутворення) є дуже актуальним.

Накопичення виробничих навичок у цьому питанні відбувалося дуже повільно – через передачу майстрами своїх знань від покоління до покоління. Цей процес відбувався одночасно у багатьох місцях, з деякими видозмінами у різних народів [3]. Через недостатність наукових обґрунтувань, недостатній обмін досвідом, кожний ливарний цех мав свою «ідеальну» формувальну суміш, склад якої було засекречено.

Ливарним стрижнем називають елемент ливарної форми, призначений для утворення отвору, порожнини або іншого складного контуру у виливку.

Поступовий розвиток наукових знань зробив можливим теоретично обґрунтувати методи вибору і оцінки формувальних матеріалів з використанням для цього досягнень в області хімії, фізики, мікроскопії тощо.

Даний підручник присвячено теорії і практиці вибору матеріалів для виготовлення ливарних форм, стрижнів, протипригарних покриттів. Аналіз наукової періодичної літератури показує, що питання якості формувальних матеріалів і ливарних форм ніколи не втрачало своєї актуальності. Сьогодні із усіх процесів литва цим питанням присвячено понад 20% публікацій [4].

У книзі висвітлено усі важливі питання формоутворення: загальні вимоги до ливарних форм та їх класифікація; різновиди процесів і параметри взаємодії форм із виливками; вимоги до формувальних матеріалів та їх різновиди; процеси приготування сумішей; склад, властивості та методи визначення їх властивостей; способи регенерації та відновлення сумішей.

Вміщено усю історичну інформацію стосовно розвитку процесів виготовлення ливарних форм і стрижнів, яку поєднано із найновішими даними, зокрема власними науковими результатами. При цьому показано місце кожного матеріалу (суміші, процесу) в історії і сучасності.

Оскільки метал заливають у форму при високих температурах (чавун при 1250...1500 °С, сталь при 1420...1600 °С), то форма за період контакту з металом зазнає значних фізико-хімічних та інших змін, які впливають на якість виливків. Взаємодію форми з виливком з метою систематизації процесів та їх досконалого вивчення розділяють на чотири етапи [3]:

I – Взаємодія форми з рідким металом. У цей час розплав охолоджується від температури заливання до температури ліквідусу. Етап триває від доль секунди для дрібних тонкостінних виливків до декількох хвилин для крупних виливків.

II – Взаємодія форми з твердою кіркою, яка утворюється на поверхні виливка. При цьому метал всередині нього ще рідкий. Тривалість етапу – від декількох секунд до декількох хвилин.

III – Взаємодія з виливком у процесі його твердіння (кристалізації). Метал у виливку знаходиться в температурному інтервалі ліквідус – солідус, і поступово збільшується частка твердої фази до того моменту, поки весь метал не кристалізується. Тривалість етапу – від декількох хвилин до декількох годин.

IV – Взаємодія з виливком, який охолоджується. Температура виливка поступово знижується від температури солідусу до температури його вибивання із форми. Тривалість – від декількох хвилин до декількох діб. Тому остаточного охолодження (зрівноваження температури виливка із навколишнім середовищем) у формі не відбувається, і вибивання проводять для сталевих і чавунних виливків, як правило (залежно від їх конструкції і призначення) при температурі 200...600 °С.

Починаючи з моменту контакту металу з формою, в ній відбуваються складні процеси, які умовно можна розділити на механічні (розділ 6), теплові (розділ 7), газові (розділ 8) та фізико-хімічні (розділ 9). Вивчення цих процесів будемо проводити окремо, досліджуючи процеси у формі під час кожного із чотирьох зазначених вище етапів.

Для виготовлення високоякісних виливків необхідно знати ці процеси, щоб регулювати їх у потрібному напрямі, науково обґрунтовано конструювати ливарні форми і розробляти технології, які характеризуються високими техніко-економічними показниками.

Вивчення формоутворення має свої особливості, тому що, крім загальної теорії ливарних процесів, тут активно залучено науково-практичну інформацію із органічної та неорганічної хімії, мінералогії, фізичної хімії, теплофізики. У тексті наведено необхідні дані для пояснення сутності процесів і вибору робочих технологій.

Підручник призначено для студентів вищих та середніх професійних навчальних закладів, аспірантів та наукових співробітників, які працюють у галузі формувальних матеріалів, інженерів-дослідників та майстрів формувальних і стрижневих відділень ливарних цехів, викладачів.

РОЗДІЛ 1. ЛИВАРНА ФОРМА В ІСТОРІЇ

1.1. Історія зародження і розвитку литва

Литво є одним із найдревніших способів оброблення металу. Наприклад, американський етнолог Генрі Льюїс Морган писав, що «коли варвар навчився отримувати і оброблювати метал, 9/10 боротьби за цивілізацію було виграно» [3]. Нижче наведено хронологічну таблицю (за даними Німецької спілки ливарників) основних етапів становлення литва у світі.

Найдревнішими металами, які стали відомі людині, були свинець, срібло, сурма, мідь, золото [3].

Таблиця 1.1 – Розвиток ливарних матеріалів

Періоди	Етапи розвитку
5000 р. до н.е.	Виливки і поковки із золота у ближній Азії
4000 р. до н.е.	Литі мідні дошки (Китай)
3000 р. до н.е.	Бронзові виливки (Cu-As-Pb) в Індії і Месопотамії
2700 р. до н.е.	Початок мідного віку в Європі
2000 р. до н.е.	Переважаання олов'яних бронз у древніх культурах
1800 р. до н.е.	Початок бронзового віку в Європі
1100 р. до н.е.	Початок залізного віку в Європі (низьковуглецеве залізо)
500 р. до н.е.	Початок залізного віку в Китаї
475 р. до н.е.	Термічне оброблення залізних виливків (відпал)
1390 р.	Чавунні стволи гармат та ядра
1500 р.	Перші спроби отримання цинку в Індії
1630 р.	Перший англійський патент на відпал чавуну
близько 1800 р.	Відкриття легких металів (Ti – 1791, Mg – 1808, Al – 1825)
1830 р.	Темносердечний ковкий чавун у США
1845 р.	Перші фасонні виливки із сталі, виплавлені в тигельній печі
1909 р.	Перший магнієвий ливарний сплав
1921 р.	Застосування силуміну як ливарного матеріалу
1940-ві рр.	Роботи над технологією отримання високоміцного чавуну
1950-ті рр.	Титанове литво для хімічної та авіаційної промисловості

Найдавнішу самородну мідь знайдено в поселеннях VII-VIII тис. до н. е. в Анатолії (Туреччині). Найдавніші золоті вироби – у похованнях Бадарійської культури (IV-V тис. до н. е.) у Єгипті.

У III-IV тис. до н. е. литво було вже відомим у багатьох районах нашої планети: у Єгипті, Індії, на Криті, Кавказі, у Закавказзі, Молдавії, південно-західній Україні. У III тис. до н. е. вже виготовляли складні, з орнаментом і художніми прикрасами на поверхні, різноманітні предмети праці і зброю.

На території, де знаходиться сучасна Україна, перші виливки з міді було отримано у V-VI тис. до н. е.

Внесок у розвиток ливарної справи створили скіфи (I тис. до н. е.), застосували металеву форму для виливання наконечників стріл. Відливали також іншу зброю, прикраси, предмети побуту.

1.2. Еволюція ливарної форми

Для того, щоб отримати будь-який литий виріб із металу або сплаву, необхідна ливарна форма, тобто порожнина, призначена для заливання в неї рідкого металу. Очевидно, що форма має відповідати конфігурації майбутнього литого виробу (виливка). Таким чином, ливарна форма передувала появі перших литих виробів із металу.

Перші ливарні форми виготовляли, ймовірно, із глинястої пасти (співвідношення глини з водою 1:1) шляхом відтискання в ній готового виробу (наприклад, із каменя, кістки тощо). Пластична глиняста паста давала змогу отримувати досить чіткі контури форми. Після виготовлення таку глинясту форму сушили, обпалювали, а потім заливали рідким металом. Тому переважна більшість перших виливків (наприклад, сокири) схожі на свої кам'яні прототипи. Глиняна форма дозволяла отримувати досить складні вироби, з орнаментом, що дало поштовх розвитку художнього литва.

Стародавні ливарні форми виготовляли також із каменю м'яких порід: тальку, вапняку, піщанику, пірофіліту. Для цього кам'яним (а пізніше – металевим) інструментом вирізали заглиблення, яке виконувало роль порожнини форми. Спочатку форми виготовляли з одного боку каменя, тому їх відносять до відкритих однобічних (рис. 1.1, а), у них можна було виготовляти виливки по декілька разів. Але такі форми давали змогу отримувати фігурною лише нижню частину вилівка; верхня була горизонтальною, плоскою, в той же час могла насичуватись газовими та іншими вкрапленнями. Крім цього, незначний напір металу при такій технології не завжди забезпечував чіткі контури вилівка.

У III тис. до н. е. однобічні форми стали перекривати тонкою пластинкою – другим каменем. Отримували закриту однобічну форму, яка відтворювала фігурну нижню і гладку верхню поверхню вилівка (рис. 1.1, б).

В подальшому форму виготовляли із двох каменів. У кожному із них виконували по частині контуру виливка, а потім при сполученні цих двох половинок між ними отримували замкнену порожнину форми. Це була двобічна закрита форма (рис. 1.1, в). Між половинками кам'яної форми виконували канал для заливання металом. У такій формі можна було отримувати фігурні (з усіх боків) виливки з чіткішими контурами, тому що можливо було створити більший, ніж у відкритій формі, напір металу. В подальшому форми стали виготовляти з трьох або більшої кількості частин, залежно від складності конфігурації отримуваного виливка (рис. 1.1, г). Нероз'ємні форми (рис. 1.1, д), виготовлені за моделями, що витоплюються, також відомі понад 5000 років. Їх успішно використовують у сучасних технологіях спеціальних способів лиття.

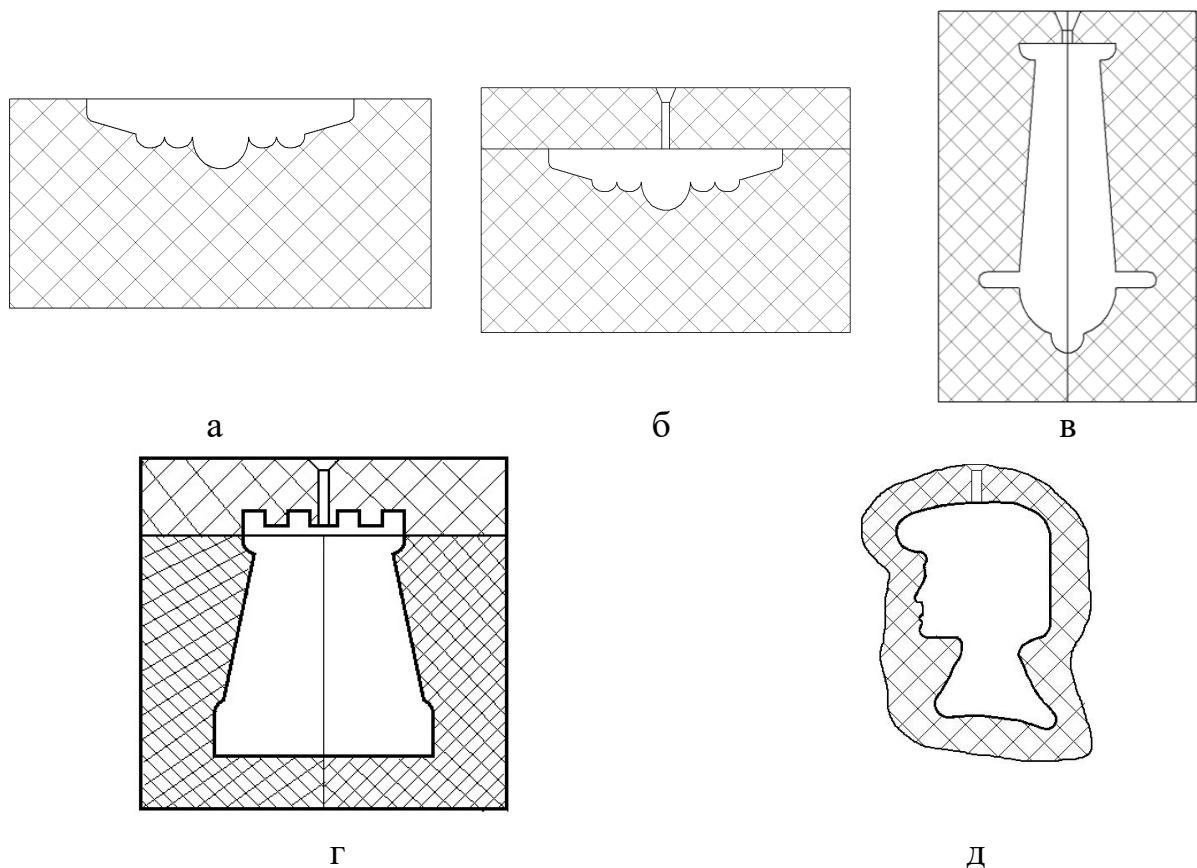


Рисунок 1.1 – Еволюція ливарної форми: а – відкрита однобічна; б – закрита однобічна; в – закрита двобічна; г – із трьох частин; д – нероз'ємна

На рис. 1.2 показано дві частини кам'яної ливарної форми для відливання прикрас із Ольвії.

У I тис. до н. е. на Кавказі і у Скіфії стали застосовувати металеві (бронзові) форми для відливання виробів, у яких була дуже велика потреба – наконечників стріл і сокир.

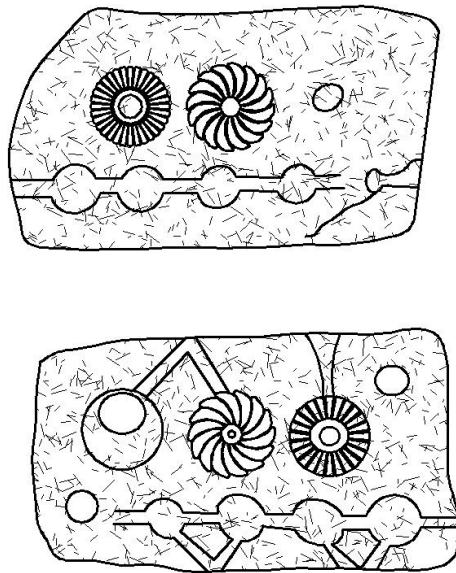


Рисунок 1.2 – Кам'яна роз'ємна форма для відливання прикрас

Для відтворення отворів, порожнин тощо у виливках вже у III тис. до н. е. застосовували стрижні, які могли бути глиняними, дерев'яними і навіть із ялинкових шишок (наприклад, для отримання отвору в сокирі, рис. 1.3).

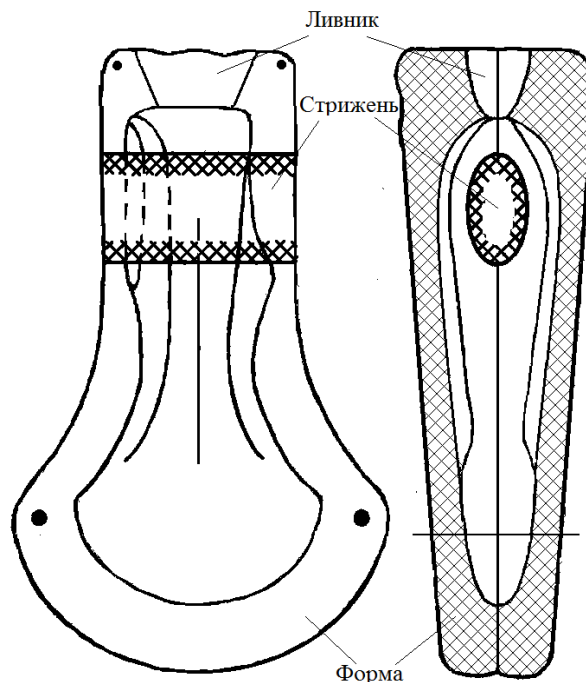


Рисунок 1.3 – Кам'яна форма із шишковим стрижнем для відливання сокири

Виготовлення форм із глинястої пасти із застосуванням як моделі готового виробу пізніше замінили дерев'яними моделями. Ця технологія розвивалася паралельно із виготовленням кам'яних форм. Але поступово давні ливарники прийшли до висновку, що форми із глинястої пасти через усадку при нагріванні розтріскуються. Щоб цього не відбувалося, до пасти

стали додавати пісок, що у кінцевому варіанті призвело до виникнення піщано-глинястих формувальних сумішей. До речі, в природі зустрічаються піщано-глинясті суміші (піски з вмістом 10...20% глини), які свого часу застосовувались давніми ливарниками для виготовлення форм.

На початку XVI ст. у Франції як основний формувальний матеріал почали використовувати кварцовий пісок. Цей час і є періодом появи сучасної піщано-глинястої формувальної суміші [5].

Технологію лиття в піщано-глинясті форми (після багаточисленних удосконалень) широко застосовують і зараз. До 1915 р. у складі сумішей використовували вогнетривкі (каолінові або полімінеральні) глини. З указанного часу в США вперше запроваджено високоміцні бентонітові глини.

Формувальні шаблони, за припущенням Б. Б. Гуляєва, виникли ще у VII ст. до н. е. Але перші відомості про виготовлення форм за шаблонами для отримання дзвонів описав монах Теофіл, який жив у другій половині XI ст. н. е. Виготовлення форм за шаблонами для отримання виливків, які являють собою тіла обертання (дзвони, гармати тощо) застосовували до XVIII ст. Паралельно з цим, з XIV ст. уже застосовували відкриту і закриту формовку у ґрунті.

У 1704 р. засновником династії англійських ливарників Абрахамом Дарбі I вперше розроблено технологію лиття із застосуванням опок [5].

З XVIII ст. формовку з використанням шаблонів замінено на формовку за моделями (спочатку дерев'яними, а потім і металевими), які склалися із двох половинок. Спосіб виготовлення форм за дерев'яними моделями запатентовано у 1758 р. І. Вількінсоном. Форма також складалася із двох половинок. Основним матеріалом для її виготовлення були піщано-глинясті суміші. Цей спосіб сьогодні є найпоширенішим і називається формовкою за роз'ємною моделлю.

Перший патент на спосіб лиття у сирі піщано-глинясті форми був отриманий в Англії у 1708 р.

У 1750 році винайдено модельні плити. У 1910 році в США створено двобічні модельні плити для стушувально-пресових машин [5].

З 1758 року використовують процес виготовлення піщано-глинястих ливарних форм по-сухому [5].

У XVIII-XIX ст. паралельно застосовували способи формовки по-сирому і по-сухому. Невеликі виливки (пічні дверцята, гратки і т. п.) отримували у без сушки форм, а більш крупні – по-сухому.

У 1772 р. замість дерев'яних опок у Франції Реомюр застосував металеві (чавунні) опоки. Формовка у металевих опоках за моделями починаючи з кінця XVIII ст. є основним способом виготовлення виливків.

У 1957 р. в Данії розроблено високопродуктивний процес безопочної формовки з вертикальним роз'ємом, а у 1963 р. у США – автоматичну лінію безопочної формовки з горизонтальним роз'ємом [5].

Щодо зв'язувальних компонентів для формувальних сумішей, їх розвиток припадає на кінець XIX – XX ст. Наприклад, перше застосування рідкого скла зафіксовано в Англії ще у 1898 р., а широке впровадження цього зв'язувального компонента датовано 50-ми рр. XX ст. Фуранову смолу розроблено у 1958 р., фенол-формальдегідну – в 1968 р. [5].

1.3. Розвиток процесів формоутворення

Ущільнення піщано-глинястих сумішей до XX ст. виконували вручну – спочатку звичайними трамбівками, а згодом – пневматичними. Починаючи з кінця XIX ст. форми стали ущільнювати на формувальних машинах (перша з таких представлена у Лондоні на Всесвітній виставці у 1851 р.).

Перший ливарний конвеєр з'явився у США у 1890 р.

У 1908 р. винайдено перший пересувний перемішувач піску та суміші, а у 1912 р. – котковий змішувач («бігуни») [5].

У 1919 році для ущільнення форм німецькі винахідники запропонували піскомет [5].

Починаючи з 1930-х рр., побудовано тисячі механізованих ливарних цехів на машинобудівних та інших заводах. Першу конвеєрну лінію було запущено у 1930 р. У 20-ті рр. почалася підготовка висококваліфікованих інженерно-технічних та робітничих кадрів. Зокрема, у Київському політехнічному інституті з 1925 року діє кафедра ливарної справи, нині – кафедра ливарного виробництва чорних і кольорових металів.

У 20-х рр. XX ст. почали виробляти виливки із алюмінієвих і магнієвих, а з 50-х рр. – із титанових та інших спеціальних сплавів.

Досягнення та розвиток ливарного під час Другої Світової війни повністю забезпечили виробництво зброї та боєприпасів із різних відомих на той час сплавів.

У 1936 р. СРСР вийшов на перше місце в Європі і друге в світі за обсягами литва, а у 1967 р. – на перше у світі. На 1990 рік, наприклад, виготовлялось 25 млн. тонн, тоді як у США на цей же час – тільки 16 млн. тонн [3].

Після завершення Другої Світової війни отримали значний розвиток спеціальні способи лиття: у кокіль (металеву форму); відцентровим способом; за моделями, що витоплюються; в оболонкові форми (Кронінг-процес) та інші. Виникли нові способи, які різко зменшують або повністю виключають механічне оброблення: лиття під тиском; штамповка рідкого металу; лиття вакуумним всмоктуванням; лиття за моделями, що газифікуються; лиття витискуванням тощо.

Значно розширено випуск ливарних машин. Побудовано ряд заводів ливарного машинобудування, один із яких розташовувався навіть у Івано-Франківську. Зріс обсяг виробництва виливків на автоматичних лініях. У 1988 р. на них було виготовлено загалом 3,2 млн. тонн литва, тобто біля 15% від загальної кількості. Зросла також максимальна маса виливків, які виготовляють на автоматичних лініях (до 1300 кг). На сучасних лініях усі технологічні операції, навіть встановлення стрижнів, виконують автоматичні маніпулятори.

У другій половині ХХ ст. значного прогресу досягла технологія виготовлення виливків у піщаних формах. Розроблено ряд нових процесів: зміцнення форм і стрижнів безпосередньо в оснащенні (без наступного теплового підсушування); ущільнення форм пресуванням під високим питомим тиском; піскометна формовка; піскодувний та піскострільний методи виготовлення стрижнів; наливна формовка; виготовлення стрижнів у гарячих ящиках; диференційне пресування форм; вакуумно-плівкова формовка тощо. Все більше поширюються фізичні та хімічні способи зміцнення форм та стрижнів.

З 1964 р. у процесі формоутворення активно впроваджено розроблені радянськими вченими рідкорухомі самотвердні суміші (РСС), які значною мірою спростили процес формовки і розширили номенклатуру лиття [5].

У 1968 р. в м. Краматорськ (Україна) розроблено процес імпульсної формовки, у 1972 р. в Японії – вакуумно-плівкову формовку, у 1974 р. в СРСР – лиття у заморожені форми [5].

З 1999 р. ливарні стрижні і дрібні форми з'явилась можливість виготовляти на 3D-принтерах на основі розробленого у 1984 р. у США способу стереолітографії.

1.4. Наука про ливарну форму

Починаючи з ХІХ сторіччя, у ливарному виробництві активно розвиваються наукові дослідження – як теоретичні, так і практичні. Засновником наукових методів у металургії та ливарному виробництві був

видатний російський вчений Д. К. Чернов (1839 – 1921). Значний внесок у науку ливарного виробництва створили А. С. Лавров (1838 – 1904), Н. В. Калакуцький (1831 – 1889), В. Н. Кнаббе, М. Г. Євангулов та інші.

У ХХ ст. важливими науковими здобутками відомі Н. П. Аксенов, П. П. Берг, Л. І. Фанталов, Н. І. Рубцов, П. П. Гіршович, Ю. А. Нехендзі, К. І. Ващенко.

Зокрема, теорію і технологію ливарних форм значно розвинули професори Г. Ф. Баландін, П. А. Борсук, Ю. Ф. Боровський, І. В. Валісовський, Ю. П. Васін, Б. Б. Гуляєв, С. С. Жуковський, А. М. Лясс, Ф. Д. Оболенцев, Г. М. Орлов, А. М. Петриченко, А. А. Рижиков, Н. Н. Александров, В. М. Александров, Ю. А. Степанов, Ю. А. Шульте, В. С. Шуляк, О. А. Корнюшкін, Д. М. Кукуй, І. Є. Ілларіонов, А. Н. Цибрик, С. П. Дорошенко, О. Й. Шинський та інші.

Значні успіхи пов'язано із дослідницькою діяльністю кафедри ливарного виробництва КПІ ім. І. Сікорського. Зокрема, професорами К. І. Ващенко і С. П. Дорошенко викладено теорію виникнення пригару на виливках, яка одержала світове визнання, дала поштовх розвитку науково-дослідних робіт у багатьох установах, у кінцевому підсумку забезпечила отримання сталевих і чавунних виливків із чистою поверхнею.

Всесвітньо відомим напрямом роботи кафедри стало дослідження принципово нового класу формувальних сумішей – наливних (рідкорухомих) самотвердних сумішей (НСС або РСС) – і розроблення технології виготовлення з них ливарних стрижнів і форм. В галузі цієї наукової проблематики працювали С. П. Дорошенко, П. А. Вареник, О. П. Макаревич, А. П. Сьомик, В. П. Авдокушин, В. І. Кривда, В. В. Зацарний, К. Ф. Євлаш, М. М. Пермякова, В. А. Андерсон, А. С. Кочешков та інші.

У Радянський період у вузах СРСР було створено 60 кафедр, які займалися підготовкою інженерів-ливарників і розвитком науки про лиття. Створено ряд науково-дослідних та проектно-технологічних інститутів, які займаються удосконаленням теорії і технології ливарного виробництва: Інститут проблем лиття (нині ФТІМС НАН України) у м. Києві, Всесоюзний науково-дослідний інститут ливарного машинобудування, ливарної технології та автоматизації ливарного виробництва (ВНДІлитмаш) у Москві та інші.

На 2010 рік в Україні діяло 11 кафедр, які готували бакалаврів та магістрів за спеціальностями «Ливарне виробництво чорних і кольорових металів», «Обладнання ливарного виробництва». Зараз залишилось 8 кафедр, які готують фахівців із ливарного виробництва за об'єднаною спеціальністю «Металургія», у т. ч. тільки 5 кафедр Ливарного виробництва.

1.5. Перспективи розвитку технології виготовлення виливків у піщаних формах

Вирішальна роль в оновленні промисловості відводиться машинобудуванню, яке в першу чергу базується на досягненнях ливарного виробництва.

На початку Незалежності (1991 р.) в Україні виготовляли 5,2 млн. тонн литва, тобто 102 кг на людину. Незважаючи на всесвітнє зростання цього показника, у нас він стрімко падає, і на 2007 рік становив уже 900 тис. тонн, тобто 18 кг на людину. До 2014 р. виробництво незначною мірою зросло (до 1,5 млн. тонн), але перспективна потреба в литві, за даними Асоціації ливарників України, становить 2,0 млн. тонн, не враховуючи експортних замовлень, загальний обсяг яких не менше 1,0 млн. тонн.

Металоемність литих деталей на 25...30% більша за перспективні закордонні аналоги, а це призводить до високої металоемності машинобудівної продукції, суттєвих перевитрат матеріальних ресурсів та енергоносіїв.

Частка виливків із розмірами підвищеної точності, отриманих із застосуванням прогресивних технологічних процесів виготовлення піщаних форм, не перевищує 30%, у той час як у промислово розвинутих країнах – не менше 50% [1, 3, 6].

У перспективі обсяг виробництва виливків у піщаних формах буде скорочуватися, а обсяг точних спеціальних способів лиття – зростати. Однак основна маса (біля 75%) виливків зараз виготовляється у разових піщаних формах. Тому подальший розвиток ливарного виробництва потребує першочергового удосконалення саме цього базового і найбільш розповсюдженого процесу.

Основна мета удосконалення технології розвитку виливків у піщаних формах – це підвищення точності і якості виливків, зниження їх маси при мінімальних енергетичних і матеріальних витратах.

Шляхи досягнення цієї мети наступні:

1. Застосування безвідходних, маловідходних та ресурсозаощадних технологій;
2. Розширення технології зміцнення форм і стрижнів у контакт з оснащенням;
3. Регенерація та відновлення властивостей оборотних формувальних сумішей;

4. Запровадження досягнень фундаментальних та прикладних наук у розроблення нових матеріалів для ливарних форм;

5. Технічне переобладнання на базі комплексної автоматизації, керування технологією, запровадження комп'ютерного моделювання і контролю параметрів технологічного процесу;

6. Докорінне покращення санітарно-гігієнічних умов праці ливарників та зменшення шкідливого впливу на навколишнє середовище.

☞ Контрольні запитання до розділу 1:

1. Із яких матеріалів виготовляли стародавні ливарні форми?
2. Які способи формовки використовували для отримання форм?
3. Які способи виготовлення ливарних форм вам відомі?
4. Який тип ливарної форми та спосіб її виготовлення найпоширеніший у ливарному виробництві?
5. Наведіть основні етапи розвитку науки у ливарному виробництві.
6. Які основні перспективи розвитку технологій отримання виливків у піщаних формах?
7. Які матеріали для виготовлення ливарних форм використовують із стародавніх часів до сучасності?

РОЗДІЛ 2. КЛАСИФІКАЦІЯ ЛИВАРНИХ ФОРМ І МАТЕРІАЛІВ

2.1. Технологічний процес виготовлення виливків у піщаних формах

Для отримання виливка необхідні перш за все ливарна форма і рідкий метал. Форму виготовляють із вогнетривкої суміші шляхом ущільнення її навколо моделі в спеціальному оснащенні – опоці. Саму формувальну суміш готують шляхом перемішування у спеціальних машинах до однорідного складу формувального піску, зв'язувального компонента та різних добавок.

Схему повного технологічного процесу представлено на рис. 2.1.

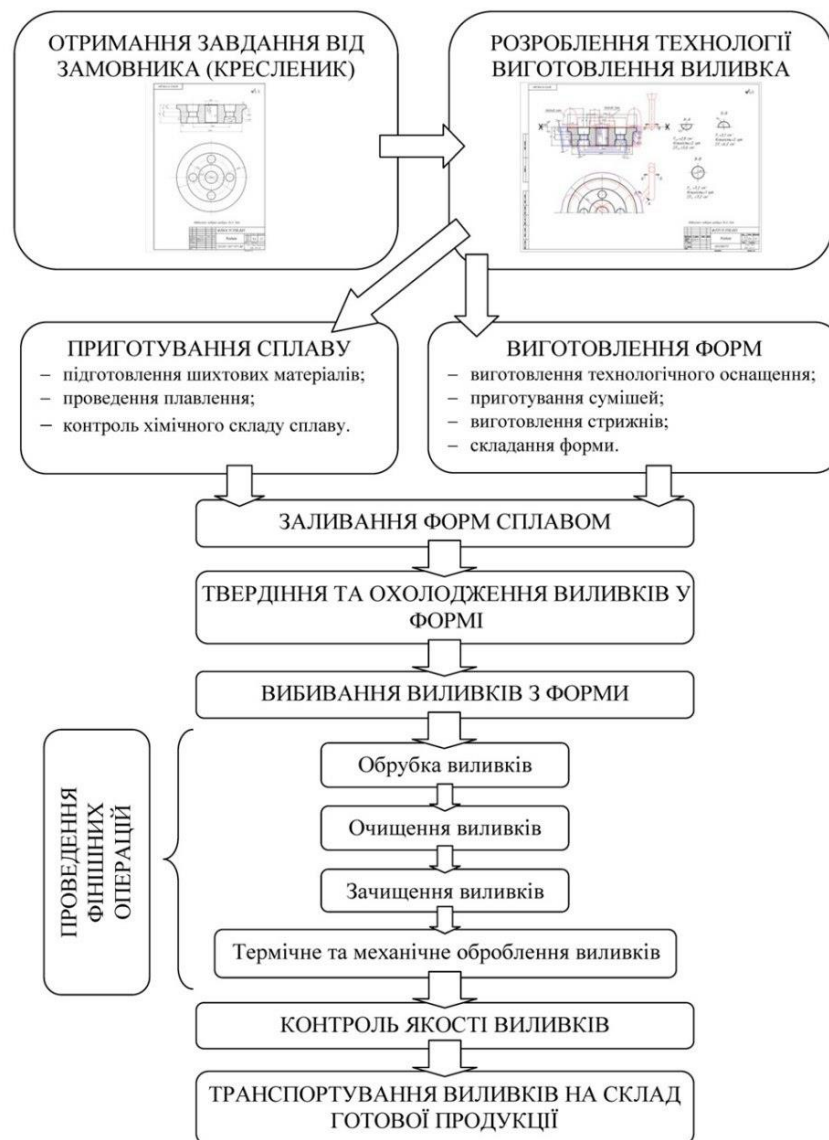


Рисунок 2.1 – Загальна схема технологічного процесу виготовлення виливків у разових піщаних формах

Для виготовлення піщаної форми необхідний модельний комплект – модель і стрижневий ящик. Їх виготовляють (залежно від серійності виробництва) із дерева, пластмаси або металу. За допомогою моделі отримують зовнішню конфігурацію форми. Модель має таку саму конфігурацію, як і деталь, але її розміри більші за виливок на величину усадки металу і припусків на механічне оброблення. У більшості випадків модель складається із двох половинок (частин), тобто вона є роз'ємною.

За допомогою стрижнів виконують внутрішні порожнини, отвори або інші складні контури виливка. Стрижень виготовляють ущільненням стрижневої суміші у стрижневому ящику.

Заключна операція виготовлення форм – складання. У нижню половину форми встановлюють стрижні, накривають верхньою півформою, потім половинки форми скріплюють між собою або навантажують зверху.

Для заливання металу при виготовленні форми виконують систему каналів, яка називається ливниковою системою.

В отриману форму заливають рідкий метал, розплавлений у плавильній печі. Метал у формі охолоджується, твердне, в результаті чого формується виливок. Після охолодження форму руйнують та виймають з неї виливок (виконують вибивання), потім виконують обрубку, очищення, контроль якості виливка, після чого виливок відправляють на механічне оброблення.

Від точності та якості виготовлення форми залежить якість та точність отриманих виливків.

2.2. Вимоги до ливарних форм

Враховуючи значний вплив форми на якість виливків, до неї висувають наступний комплекс вимог [3]:

1. Забезпечення необхідної конфігурації і точності геометричних розмірів виливка.

Цього досягають за рахунок точного виготовлення модельного оснащення, вибором способу ущільнення і властивостями матеріалу форми (формувальної суміші). Форма має витримувати тиск рідкого металу, не змінюючи своїх розмірів.

2. Забезпечення заданої структури металу та механічних властивостей виливка.

Форма має забезпечити необхідну швидкість охолодження в ній металу, а також характер твердіння (одночасне чи направлене). Як правило, досягають направленого твердіння виливка (від периферії до центру, або з

нижньої частини до верхньої), таким чином позбуваючись дефектів усадкового характеру. Швидкість твердіння і охолодження виливка можливо регулювати за допомогою вибраного матеріалу форми.

3. Недопущення у виливку зовнішніх і внутрішніх дефектів.

Основними дефектами через незадовільні властивості ливарної форми можуть бути: пригар, піщані раковини та інші поверхневі дефекти; газові раковини та газова пористість; тріщини. Для усунення поверхневих дефектів форма повинна мати необхідну міцність при контакті з рідким металом. Газові дефекти не утворюються, якщо всі гази, утворені при нагріванні форми, легко вилучаються з неї і не потрапляють у виливок, тобто форма має хорошу газопроникність. Для запобігання утворенню тріщин внаслідок зменшення розмірів виливка при охолодженні (його усадки) форма повинна мати податливість (не чинити опору усадці виливка).

4. Легке руйнування форми після остаточного охолодження виливка.

Цей процес характеризується такою характеристикою форми як вибиваємість. Чим менша міцність форми після охолодження виливка, тим менше зусиль треба витратити на її вибивання та вилучення готового виливка, тобто вибиваємість у такому разі краща.

2.3. Класифікація ливарних форм

Існує велика кількість різних процесів виготовлення виливків у разових формах, які відрізняються один від одного за типом форми, способом її виготовлення, складом суміші тощо. Ливарні форми мають декілька ознак класифікації:

1. Залежно від кількості виливків, які одночасно отримують у ливарній формі – одномісні і багатомісні.

2. Залежно від кількості можливих заливань металу в одну і ту ж форму:

1) разові форми: використовуються для отримання виливків один раз і руйнуються при вилученні виливка. Для отримання наступного виливка необхідно виготовляти наступну форму. У таких формах отримують близько 75% усіх виливків;

2) напівпостійні форми: застосовуються для багаторазового (від 2 до сотень разів) заливання металом. Виготовляються із високоміцних матеріалів (шамоту, графіту, хромомагнетиту, металокераміки). Застосовують для отримання виливків простої конфігурації;

3) постійні форми: з металевих сплавів. Застосовуються у технологіях спеціальних способів лиття (у кокіль, під тиском та інших), витримують від тисячі до сотень тисяч заливань.

3. Залежно від товщини стінок:

1) товстостінні форми (товщина шару формувальної суміші більша за товщину стінки вилівка і становить понад 50 мм). Витрата суміші у таких формах на 1 тону литва становить 4...12 тонн;

2) тонкостінні форми (товщина шару суміші менша за товщину стінки вилівка (як правило товщина форми лежить у межах 20...50 мм));

3) оболонкові форми (товщина шару суміші до 20 мм). Існують два різновиди таких форм – перші так і називаються оболонковими, їх виготовляють у гарячому оснащенні із сумішей на основі синтетичних смол або рідкого скла. Інший різновид – керамічні форми, які виготовляють за витоплюваними восковими моделями, вони являють собою нероз’ємну оболонку товщиною 2...10 мм.

4. За способом зміцнення:

1) сирі піщано-глинясті форми. Міцність форми досягається за рахунок її ущільнення. Сирі форми не піддають додатковому сушінню і відразу заливають металом. Спосіб отримав найбільше застосування у масовому і крупносерійному виробництві вилівок масою не більше 100 кг. Міцність форми при стисканні – в межах від 0,05 до 0,20 МПа;

2) сухі піщано-глинясті форми. Для підвищення міцності і зменшення небезпеки руйнування форм при контакті з рідким металом їх піддають тепловому сушінню, при якому видаляється волога, і в результаті деяких фізико-хімічних перетворень зв’язувального компонента їх міцність зростає в декілька разів (до 1 МПа при стисканні і до 0,10...0,25 МПа при розриванні). Але недоліком є тривалість процесу сушіння (від 2...3 годин для дрібних форм до 10 і більше годин для крупних).

3) підсушені піщано-глинясті форми, де сушінню піддають не усю суміш, а лише поверхневий шар (який буде контактувати з металом). Товщина висушеного шару, як правило, має дорівнювати товщині стінки вилівка. Спосіб дає змогу прискорити виготовлення форм;

4) самотвердні або холодотвердні форми. Зміцнюються при звичайних цехових температурах завдяки фізичним або хімічним перетворенням зв’язувального компонента в суміші, які призводять до його затвердіння. Холодотвердні суміші (ХТС) поділяють за структурою на пластичні самотвердні (ПСС) та рідкорухомі самотвердні (РСС). ПСС мають

міцність при стисканні від 0,5 до 2,0 МПа, в т. ч. суміші із смолами – більше 5,0 МПа. Міцність РСС – від 0,5 до 1,5 МПа. Основною перевагою є можливість швидкого (інколи за декілька секунд) зміцнення форм і стрижнів у контакті з оснащенням, що значною мірою підвищує точність форм, продуктивність праці і докорінним чином змінює умови праці у ливарних цехах;

5) терморективні форми. Виготовляють із сумішей, які зміцнюються при нагріванні. В основному процес використовують для виготовлення стрижнів. Форми за такою технологією виготовляють виключно оболонкові. Зміцнення сумішей відбувається у гарячому оснащенні (150...300 °С), вони мають високу міцність (більше 1,0 МПа при розриванні) і використовуються для найбільш відповідальних і складних виливків. Майже усі зв'язувальні компоненти здатні до зміцнення при нагріванні, але використовують у таких технологіях обмежену їх кількість – синтетичні смоли і рідке скло;

б) заморожені форми. Суміш не містить зв'язувального компонента, а форма зміцнюється при глибокому охолодженні і замерзанні води. Процес є складнішим за сушіння, потребує використання рідкого азоту або вуглекислого газу, спеціальної криогенної техніки, але при цьому відсутні небезпечні випаровування, а наповнювач суміші на усі 100% придатний для повторного використання. Через підвищену швидкість охолодження у заморожених формах виливки мають дрібнішу структуру і кращі механічні властивості;

7) вакуумно-плівкові форми. Також не містять зв'язувального компонента, але на відміну від заморожених форм, складаються не із суміші, а виключно із сухого піску. Зміцнення форми відбувається при накладанні на неї з двох сторін герметичних плівок і створенні між ними вакууму. Після заливання вакуум відключають, і форма розсипається;

8) магнітні форми. Наповнювачем є ферромагнітний матеріал (залізні ошурки, окалина, дріб), який при наведенні магнітного поля міцно утримує передбачену форму. Використовують у методі лиття за моделями, що газифікуються.

5. Залежно від матеріалу наповнювача:

- 1) на основі кварцового піску;
- 2) на основі цирконового піску;
- 3) на основі шамоту;
- 4) на основі хроміту;
- 5) на основі дистен-силіманіту;
- б) на основі олівіну;

7) на основі хромомагнетиту.

Існують також форми на основі інших наповнювачів, представлених у розділі 3. Найбільше поширеними мають на основі кварцового піску.

6. Залежно від використаного зв'язувального компонента:

- 1) піщано-глинясті;
- 2) піщано-смоляні;
- 3) піщано-рідкоскляні;
- 4) піщано-цементні;
- 5) піщано-фосфатні;
- 6) гіпсо-кремнеземисті форми;
- 7) форми без зв'язувального компонента.

Взагалі існує понад 100 різних зв'язувальних компонентів. Усю інформацію про них представлено у розділі 4.

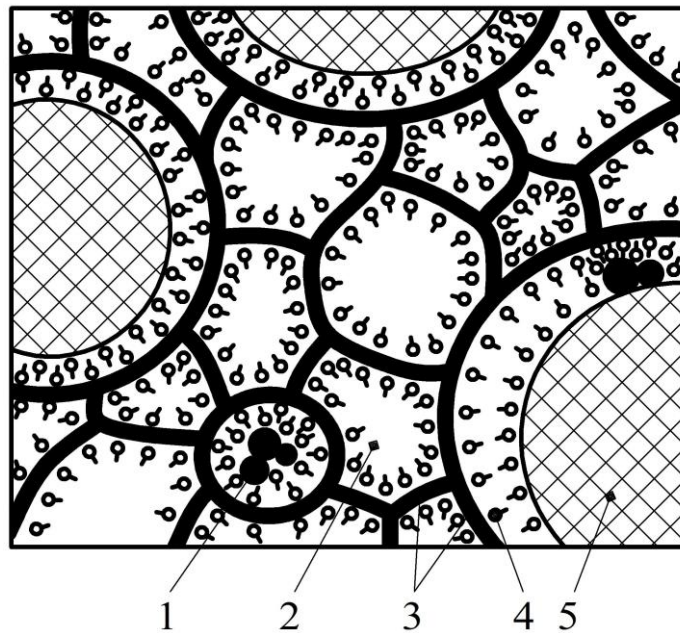
7. Залежно від наявності роз'ємів у формі та їх кількості:

- 1) однороз'ємні (зустрічаються найчастіше), див. рис. 1.1, б, в;
- 2) багатороз'ємні (для отримання складних виливків, в основному спеціальними способами лиття), див. рис. 1.1, г;
- 3) нероз'ємні (керамічні форми, отримані за моделями, що витоплюються; форми для лиття за моделями, що газифікуються), див. рис. 1.1, д.

8. За типом формувальної суміші:

1) пластичні суміші. Схильні до ущільнення під зовнішнім тиском. Наприклад, найбільш відома піщано-глиняста форма відразу після ущільнення є придатною до заливання, а форми з іншими зв'язувальними компонентами потребують подальшого зміцнення (нагріванням, продуванням каталізатором тощо);

2) рідкорухомі суміші (РСС). Суміш заливають на модель, і вона ущільнюється під дією власної маси. Механічному ущільненню не піддається. Самотвердна. Для надання рідкорухомості у суміш додають поверхнево-активні речовини (ПАР) у кількості до 1%, які утворюють піну. Частинки піни, які утворюються в суміші, розсувають піщинки (рис. 2.2) і зменшують тертя між ними. Крім того, ПАР сприяє утворенню на поверхні піщинок адсорбційних оболонок із зв'язувального компонента, які також знижують тертя між піщинками. Суміш набуває здатність текти, як густа рідина [7];



1 – затверджувач; 2 – повітря; 3 – зв’язувальний компонент; 4 – молекули ПАР;
5 – зерна наповнювача

Рисунок 2.2 – Структура рідкорухомої самотвердної суміші

3) вогнетривкі суспензії. Суміш являє собою суспензію із вмістом твердої фази (пилоподібного наповнювача) від 50 до 75%. Форму отримують нанесенням суспензії на модель з подальшим її сушінням при температурі навколишнього середовища. Шар зміцненої суміші на моделі не перевищує 1 мм, і тому для отримання форми необхідно наносити від 3 до 12 шарів такої суспензії. На цьому побудовано спосіб лиття за моделями, що витоплюються;

4) сипкі суміші, які містять зв’язувальний компонент. Це плаковані термореактивні суміші, приготування яких полягає в обгортанні кожного зерна наповнювача (піску) смоляним зв’язувальним компонентом. Після остаточного приготування суміш зовні нічим не відрізняється від сухого піску, але при нагріванні до 200...300 °С плівки смоли, які знаходяться на поверхні піщинок, полімеризуються. Суміші застосовують для виготовлення оболонкових форм та стрижнів у гарячому оснащенні;

5) суміші без зв’язувального компонента. Суміш складається лише з наповнювача. Застосування – у технологіях лиття за моделями, що витоплюються (опорний наповнювач); за моделями, що газифікуються; за вакуумно-плівковою формовкою.

2.4. Класифікація виливків

Основною продукцією ливарного виробництва є виливки. Тому, провівши детальну класифікацію форм, познайомимось із існуючими

класифікаціями виливків. Їх класифікують за двома основними ознаками – за масою і за складністю конфігурації.

За масою [8] виливки із сплавів на основі заліза поділяють на 5 груп:

- 1) дрібні (до 100 кг);
- 2) середні (від 101 до 1000 кг);
- 3) великі (від 1001 до 5000 кг);
- 4) дуже великі (від 5001 до 20000 кг);
- 5) особливо великі (унікальні) (більше 20000 кг).

Виливки із сплавів на основі міді поділяють на 9 груп:

- 1) до 0,25 кг;
- 2) до 1 кг;
- 3) до 4 кг;
- 4) до 10 кг;
- 5) до 20 кг;
- 6) до 50 кг;
- 7) до 200 кг;
- 8) до 500 кг;
- 9) більше 500 кг.

Виливки із сплавів на основі алюмінію і магнію також поділяють на 9 груп:

- 1) до 0,2 кг;
- 2) до 0,4 кг;
- 3) до 0,8 кг;
- 4) до 1,5 кг;
- 5) до 3,2 кг;
- 6) до 6,3 кг;
- 7) до 12,5 кг;
- 8) до 25 кг;
- 9) більше 25 кг.

Значення маси, які відокремлюють одну групу від іншої, вибрані не випадково. Вони в першу чергу встановлюють обмеження при використанні деяких технологій і можливостей ливарного устаткування.

За складністю конфігурації [3] виливки поділяють на 5 груп (рис. 2.3):

1) I група – найбільш прості (плоскі виливки, виливки елементарної геометричної форми, без порожнин), рис. 2.3, а;

2) II група – нескладні виливки відкритої коробчастої або циліндричної форми (рис. 2.3, б);

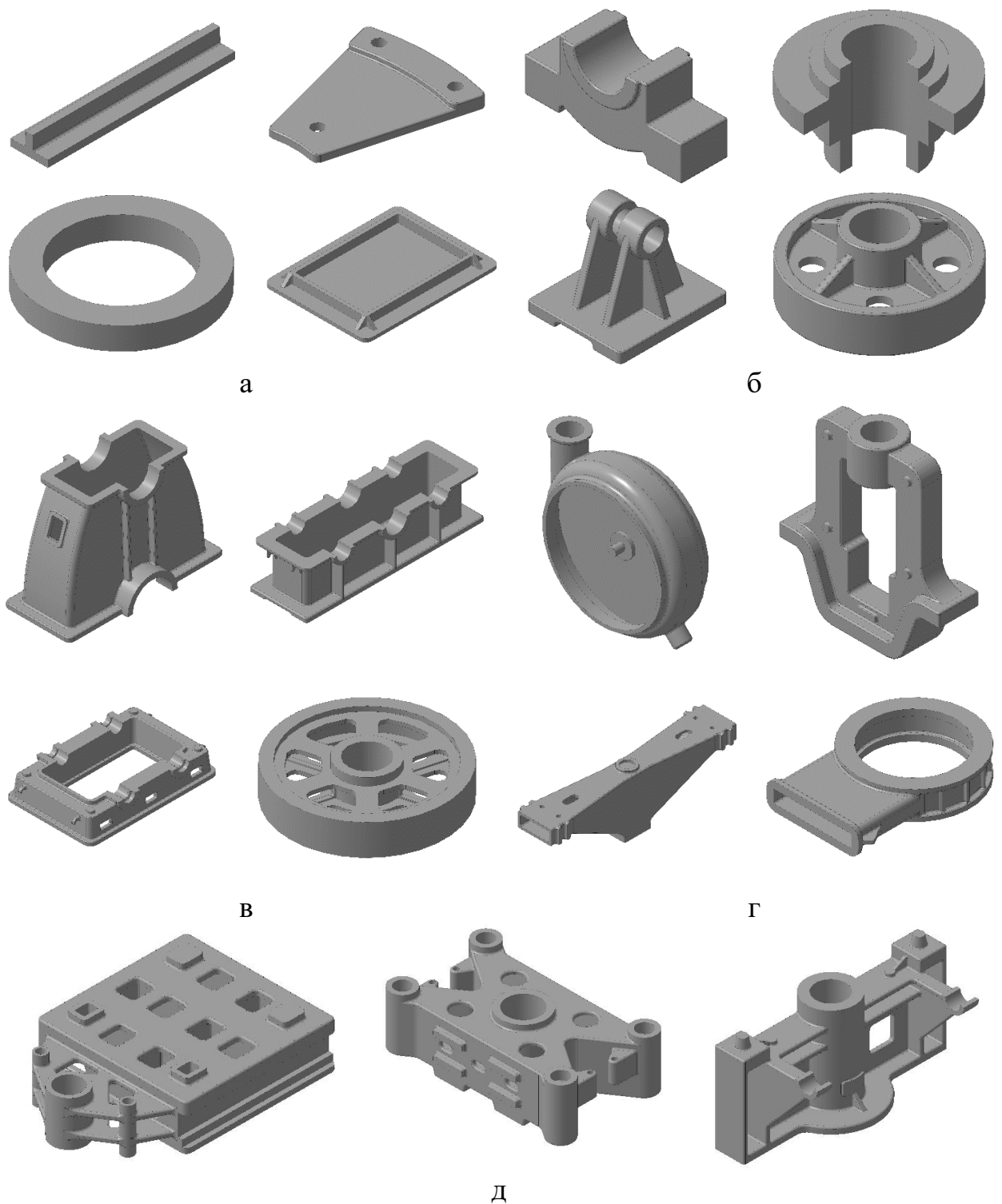


Рисунок 2.3 – Технологічні групи складності виливків: а – I група; б – II група; в – III група; г – IV група; д – V група

3) III група – виливки середньої складності відкритої коробчастої або циліндричної форми (рис. 2.3, в);

4) IV група – складні виливки закритої або частково відкритої форми відповідального призначення (рис. 2.3, г);

5) V група – особливо складні та унікальні виливки закритої форми (рис. 2.3, д).

2.5. Класифікація формувальних матеріалів та вимоги до них

Формувальними називають природні та штучні матеріали, які використовують для приготування сумішей і виготовлення форм та стрижнів.

До них відносяться:

1. Вогнетривкі наповнювачі (складають основу будь-якої суміші, зазвичай це різні формувальні піски).
2. Зв'язувальні компоненти.
3. Добавки у сумішах для регулювання і покращення їх властивостей.
4. Матеріали для протипригарних покриттів (припилів, фарб, паст).
5. Допоміжні матеріали (використовуються для склеювання стрижнів, половинок форм, для ущільнення зазорів між півформами тощо).

Від якості формувальних матеріалів і сумішей залежить якість майбутніх виливків і ймовірність утворення в них різних дефектів. Тому для одержання сумішей з оптимальними властивостями до формувальних матеріалів пред'являється ряд вимог [1, 5]:

1. Достатня вогнетривкість. Оскільки форми заливають рідким металом, то матеріали, з яких вони зроблені, повинні мати здатність опиратися високим температурам протягом певного часу.

2. Найменша кількість домішок. Домішки негативно впливають на вогнетривкість, посилюють фізико-хімічну взаємодію з розплавом, знижують властивості суміші.

3. Забезпечення необхідних властивостей суміші. Крім згаданої раніше зміни міцності форми (висока міцність при заливанні і під час контакту з рідким металом, зниження міцності при затвердінні вилівка і його усадці, мінімальна міцність при вибиванні форми), до моменту заливання металом суміш повинна мати ряд технологічних властивостей, які забезпечують легкість операцій виготовлення форм і стрижнів.

4. Стабільні фізичні властивості. При нагріванні у формі має відбуватися мінімум фізичних перетворень (таких як термічне розширення, поліморфні перетворення, газовиділення, плавлення евтектик тощо).

5. Хімічна інертність до розплаву металу та його оксидів. Виконання цієї вимоги унеможливує утворення пригару.

6. Невисока вартість і недефіцитність.

7. Нетоксичність, нерадіоактивність, екологічна безпека.

Основою кожної формувальної суміші, її скелетом в ущільненому стані є вогнетривкий наповнювач (формувальний пісок). Глина або інший

зв'язувальний компонент, який знаходиться між піщинками, створює між ними зв'язувальні ланцюжки, надає необхідну міцність.

У природі зустрічаються піски, які мають примішану природою формувальну глину у значній (понад 10%) кількості. Їх називають **природними формувальними сумішами**. Глина у складі таких пісків низької якості, часто з великим вмістом домішок, які знижують її вогнетривкість і міцність суміші. Тому глинясті піски використовують лише для виготовлення виливків малої маси в одиничному та дрібносерійному виробництві. Частка їх використання мінімальна.

Отже, у природі немає готових якісних формувальних сумішей, які відповідають поставленим вимогам. Тому доводиться готувати їх самим, змішуючи окремі формувальні матеріали. Такі формувальні суміші називають **синтетичними**.

🌀 *Контрольні запитання до розділу 2:*

1. Наведіть технологічні операції виготовлення виливків.
2. Перерахуйте вимоги до ливарних форм.
3. Наведіть класифікацію ливарних форм залежно від кількості виливків та кількості можливих заливань в одну й ту ж форму.
4. Наведіть класифікацію ливарних форм залежно від товщини її стінок та кількості роз'ємів.
5. Наведіть класифікацію ливарних форм залежно від способу зміцнення.
6. Наведіть класифікацію ливарних форм залежно від матеріалу наповнювача та зв'язувального компонента.
7. Наведіть класифікацію ливарних форм залежно від типу формувальної суміші.
8. Наведіть класифікацію виливків за масою та складністю конфігурації.
9. Наведіть класифікацію формувальних матеріалів.
10. Охарактеризуйте вимоги до формувальних матеріалів.

РОЗДІЛ 3. ВОГНЕТРИВКІ НАПОВНЮВАЧІ

У формувальних і стрижневих сумішах використовують піски на основі різних вогнетривів – кварцу, циркону, хромомагнетиту, хроміту, олівіну [1, 6]. Розмір частинок пісків в основному знаходиться у межах 0,1...1,0 мм. Наповнювачі з розмірами частинок менше 0,1 мм до пісків не відносять. Їх називають пилоподібними вогнетривами (циркон, кварц, корунд, графіт тощо). Пилоподібні наповнювачі використовують у протипригарних покриттях та суспензіях для точного лиття.

У ливарних цехах застосовують переважно формувальні піски на основі кварцу, які самі дешеві, найменш дефіцитні і найбільш поширені у природі – у земній корі 27% кремнію і 45% кисню.

3.1. Піски на основі кварцу

3.1.1. Походження пісків

Формувальні піски, як і глини, утворилися в результаті руйнування (вивітрювання) осадових гірських порід.

Осадові породи – це результат послідовного відкладання мінеральних продуктів вивітрювання осадів із різних розчинів. Під час вивітрювання упродовж тисячоліть гірські породи дробилися на щєбінь і піски, які накопичувалися на схилах гір. Тому їх поклади утворили шари товщиною від кількох сантиметрів до сотень метрів. Дощовими потоками, вітром і льодовиками вони переносилися з гір у долини, де і відкладалися. При перенесенні продуктів руйнування вітром або водою відбувалося їх часткове чи повне розділення – «природна класифікація» за величиною зерна – крупніші піщинки осідали ближче, дрібніші переносилися далі. При цьому кути шліфувалися і формувалася більш округла форма зерен.

За природою походження піски розрізняють на наступні групи [9]:

1. Морські – утворилися в результаті руйнівної дії моря. Вони містять мінімальну кількість домішок, відзначаються високою однорідністю. В Україні найбільші поклади таких пісків: Старовірівський та Гусарівський (Харківська обл.), Оріхівський (Запорізька обл.), Часов-Ярський (Донецька обл.) кар'єри;

2. Дельтові – утворилися в результаті винесення зруйнованих гірських порід річками у море;

3. Лагуно-континентальні – утворилися як продукт руйнування гірських порід, який осідає в морських лагунах;

4. Аллювіальні – утворилися в результаті руйнівної дії річкових та паводкових вод і залишилися на території їх засихання;

5. Льодовикові – утворилися в результаті перенесення та відкладення льодовиків. Вони мають нерівномірний зерновий склад, тому використовуються лише після операції збагачення;

6. Еолові – утворилися внаслідок вивітрювання, мають рівномірний зерновий склад, розмір їх зерен 0,2...0,3 мм;

7. Елювіальні – утворилися внаслідок сумісної руйнівної дії вітру та води.

3.1.2. Добування формувальних пісків

Формувальні піски добувають на родовищах, які називають кар'єрами. Основу пісків складає кремнезем (кварц), і за зерновим складом та вмістом домішок вони в цілому придатні для приготування формувальних сумішей. Але часто природні піски мають багато шкідливих домішок, а їх зерновий склад не відповідає стандартам. Тому для підвищення якості природні піски піддаються (як правило, на кар'єрах) збагаченню.

Збагачення – вилучення фізичними та хімічними способами шкідливих домішок та надлишку глинястої складової з піску, підвищення вмісту основного мінералу (кварцу) понад 99% [1, 6].

Незважаючи на наявність у кар'єрах великих запасів, високоякісних пісків, особливо зернових груп 0315, 025 і 02, не вистачає. Тому піски необхідно витратити ощадливо. Необхідно уникати використання технологічних процесів виготовлення піщаних форм, які роблять піски непридатними для повторного використання.

Найбільшими родовищами пісків в Україні є [6]:

- Часов-Ярський кар'єр (Донецька обл., понад 250 млн. тонн);
- Малишевський кар'єр (Дніпропетровська обл., понад 250 млн. тонн)
- Гусарівський кар'єр (Харківська обл., 60 млн. тонн);
- Орхівський кар'єр (Харківська обл., 30 млн. тонн);
- Дружківський кар'єр (Донецька обл.);
- Старовірівський кар'єр (Харківська обл.);

Крім кар'єрів, добування піску відбувається також безпосередньо з дна р. Дніпро та інших водойм.

Третім джерелом формувальних пісків є так звані побічні продукти збагачення різних руд на гірничо-збагачувальних комбінатах (ГЗК). Такі

піски називають синтетичними. Загальний обсяг використання синтетичних пісків – близько 1%, решта – природні піски.

Для приготування формувальних і стрижневих сумішей використовують переважно кар’єрні піски як більш однорідні за хімічним та зерновим складом. Річкові піски є дешевшими і доступнішими, але містять знижену кількість основного мінералу (SiO_2) та більшу кількість домішок. З такими пісками важко досягти необхідних властивостей сумішей і якості литва.

Перелік підприємств України, які постачають формувальні піски, наведено в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Постачальники формувальних пісків в Україні

Назва кар’єру	Область	Вид пісків	Запаси, млн. т.	Річна продуктивність, тис. т.
Часов-Ярський	Донецька	Пісні, жирні	268	
Малишевський	Дніпропетровська	Кварцові, пісні	262	
Благодатівський	Харківська	Жирні, пісні, кварцові	209	
Бантишевський	Харківська	Кварцові	102	
Вишневецький	Харківська, с. Вишневе	Жирні, пісні, кварцові	87	1500...2000
Полозький	Запорізька	Жирні, кварцові	72	
Гусарівський ГЗК	Харківська, ст. Гусарівка	Кварцові	60	1700
Репкінський	Чернігівська	Жирні, пісні, кварцові	47	
Оріхівський	Запорізька, м. Оріхово	Кварцові	30	800
Дніпропетровський	Дніпропетровська	Жирні, кварцові	16,8	
Новоселівський	Харківська	Кварцові	10,8	
Таромський	Дніпропетровська	Жирні, кварцові	8	
Старовірівський	Харківська, ст. Старовірівка	Кварцові	7,7	1600
Малинівський	Житомирська	Кварцові	7,7	
Покотилівський	Кіровоградська	Кварцові	6,8	
Волощанський	Львівська	Кварцові, жирні	5,7	
Маловіськівський	Кіровоградська	Кварцові	4,1	
Авдіївський	Донецька	Кварцові		
Артемівський	Донецька	Кварцові		
Гаврилівський	Харківська	Кварцові		
Липінський	Волинська	Кварцові		
Лисичанський	Луганська	Кварцові		
Люджанський	Сумська	Кварцові		
Новопавлівський	Харківська	Кварцові		
Хорошівський	Волинська	Кварцові		

3.1.3. Класифікація та маркування формувальних пісків

Основою для класифікації пісків є вміст у них основної домішки, яку називають загальним терміном «глиняста складова».

Глиняста складова – це усі частинки глинястих та супутніх мінералів, які містяться у піску, а також усі частинки кварцу розмірами меншими за 22 мкм.

Залежно від вмісту глинястої складової, формувальні піски (згідно з ГОСТ 2138-91) поділяють на три класи:

1. Кварцові (позначають літерою К) – до 2% глинястої складової.
 2. Пісні (позначають літерою Т (від рос. «тощий») – 2...12% глинястої складової.
 3. Жирні (позначають літерою Ж) – понад 12% глинястої складової.
- Кожний із класів пісків (К, Т або Ж) має свою окрему класифікацію (рис. 3.1).



Рисунок 3.1 – Класифікація пісків на основі кварцу

Кварцові піски поділяють на групи залежно від вмісту глинястої складової (табл. 3.2), SiO_2 (табл. 3.3), коефіцієнта однорідності (табл. 3.4) і середнього розміру зерна (табл. 3.5).

Таблиця 3.2 – Групи кварцових пісків за вмістом глинястої складової

Група	Глиняста складова, %, не більше
1	0,2
2	0,5
3	1,0
4	1,5
5	2,0

Таблиця 3.3 – Групи кварцових пісків за вмістом SiO₂

Група	SiO ₂ , %, не менше
K ₁	99
K ₂	98
K ₃	97
K ₄	95
K ₅	93

Таблиця 3.4 – Групи кварцових пісків за коефіцієнтом однорідності

Група	Коефіцієнт однорідності, %
O ₁	>80
O ₂	70...80
O ₃	60...70
O ₄	50...60
O ₅	<50

Таблиця 3.5 – Групи кварцових пісків за середнім розміром зерна

Група	Середній розмір зерна, мм
01	<0,14
016	0,14...0,18
02	0,19...0,23
025	0,24...0,28
03	>0,28

Ці ознаки класифікації входять у позначення марок пісків, наприклад: 3K₂O₂016 – кварцовий пісок з 0,5...1,0% глинястої складової, не менше 98% SiO₂, коефіцієнт однорідності 70...80%, середній розмір зерна 0,14...0,18 мм.

Пісні піски залежно від таких самих ознак, що і кварцові, поділяють на ряд груп (табл. 3.6, 3.7).

Таблиця 3.6 – Групи пісних пісків за вмістом глинястої складової

Група	Глиняста складова, %, не більше
1	4
2	8
3	12

Таблиця 3.7 – Групи пісних пісків за вмістом SiO₂

Група	SiO ₂ , %, не менше
T ₁	96
T ₂	93
T ₃	90

Пісні піски, як і кварцові, поділяють також на групи залежно від коефіцієнта однорідності (див. табл. 3.4) і середнього розміру зерна (див. табл. 3.5). Наприклад, 3T₃O₅O₂ – пісний пісок з 8...12% глинястої складової, не менше 90% SiO₂, коефіцієнт однорідності менше 50%, середній розмір зерна 0,19...0,23 мм.

Жирні піски поділяються на групи залежно від двох ознак: середнього розміру зерна (див. табл. 3.5) і міцності у вологому стані (табл. 3.8). Для визначення міцності у вологому стані виготовляють зразки з суміші, яка містить 10% жирного піску і 4...5% води.

Таблиця 3.8 – Групи жирних пісків за міцністю у вологому стані

Група	Міцність у вологому стані, МПа
Ж ₁	>0,08
Ж ₂	0,05...0,08
Ж ₃	<0,05

Наприклад: Ж₁025 – це жирний пісок з міцністю у вологому стані понад 0,08 МПа, середній розмір зерна – 0,24...0,28 мм.

3.1.4. Додаткові ознаки класифікації пісків

За ГОСТ 2138-91, формувальні піски поділяють на групи також за додатковими ознаками, які не входять у позначення їх марки (табл. 3.9...3.15), але можуть впливати на властивості сумішей, основу яких вони складають.

Таблиця 3.9 – Групи пісків за вологістю

Група	Вологість, %, не більше
Сухі	0,5
Вологі	4,0
Сирі	6,0

Значення вологості піску потрібно враховувати при дозуванні води для приготування суміші. У деяких сумішах (наприклад, з синтетичними смолами) навіть мінімальний вміст води (0,1...0,2%) небажаний. Підвищення вологості також призводить до підвищення газотвірності. Зазвичай пісок перед застосуванням просушують, доводячи його вологість до мінімуму.

Таблиця 3.10 – Групи пісків за рН

Група	рН
Кислі	<6,2
Нейтральні	6,2...7,0
Лужні	>7

Водневий показник піску важливий там, де використовується хімічний характер зміцнення суміші. В такому випадку застосування піску з певним рН може прискорити або сповільнити виготовлення форми чи стрижня.

Таблиця 3.11 – Групи пісків за вмістом шкідливих домішок

Група	Шкідливі домішки, %, не більше	
	Na ₂ O, K ₂ O, CaO, MgO	Fe ₂ O ₃
З дуже низьким вмістом	0,4	0,2
З низьким вмістом	0,8	0,4
З середнім вмістом	1,2	0,6
З високим вмістом	1,6	0,8
З дуже високим вмістом	2,0	1,0

Насправді у пісках може бути набагато більше різновидів оксидів та інших речовин, ніж представлено у табл. 3.11. Домішки у пісках можна розділити на три основні групи:

1. Оксиди лужних і лужноземельних металів – знаходяться у вигляді дрібних часток, часто входять до глинястої складової. Ці домішки хімічно активні, легкоплавкі. Вони знижують вогнетривкість піску, утворюють пригар, погіршують вибиваемість, знижують міцність суміші з будь-яким

зв'язувальним компонентом, а з деякими вступають в хімічну взаємодію, в результаті чого міцність суміші знижується у декілька разів.

2. Оксиди заліза – розташовуються на поверхні піщинок, утворюючи плівки і надаючи піску певного забарвлення, відмінного від природного кольору кварцу. Ці оксиди погіршують адгезію ЗК до поверхні піщинок та значно знижують міцність суміші. Оксид заліза також знижує вогнетривкість, сприяє утворенню пригару.

3. Карбонати CaCO_3 та MgCO_3 – при нагріванні розпадаються з утворенням газу CO_2 , а також відповідного оксиду. Крім цього, карбонати активно вступають у реакції з деякими ЗК (рідке скло, смоли), знижуючи усі властивості суміші.

Таблиця 3.12 – Групи пісків за коефіцієнтом кутастості

Група	Коефіцієнт кутастості, одиниць
Округла	1,10
Напівокругла	1,25
Кутаста	1,40

Оптимальною формою для досягнення найкращих властивостей є округла або напівокругла. Але в реальних сумішах, крім перелічених форм, внаслідок термічних ударів і руйнування зерен піску, наявні також кутаста та складна форми (рис. 3.2).

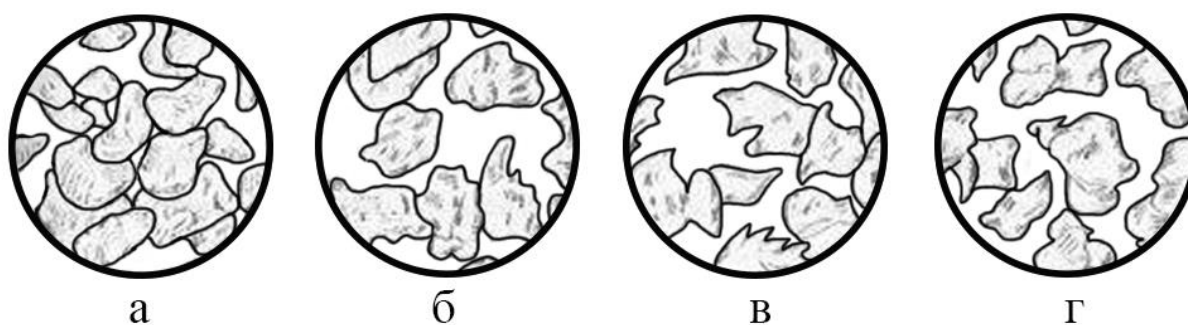


Рисунок 3.2 – Форма зерен піску: а – округла; б – напівокругла; в – кутаста; г – складна

Наведені в табл. 3.12 форми характерні для природних пісків. На рис. 3.3 представлено фотографії морського, річкового та кар'єрного пісків.

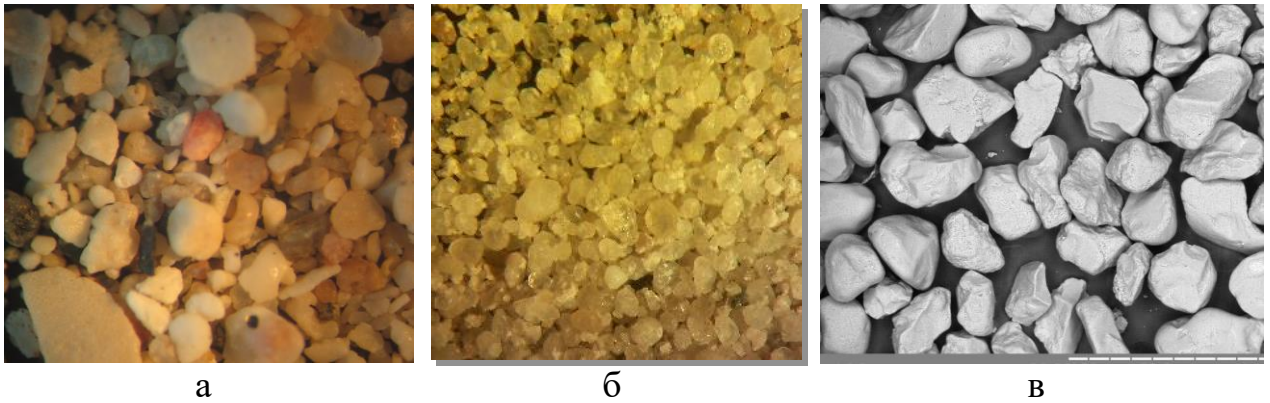


Рисунок 3.3 – Зернова структура пісків: а – коралового морського (м. Марса-Алам, Єгипет); б – річкового Дніпровського; в – кар’єрного (фотографія з растрового електронного мікроскопа)

Таблиця 3.13 – Групи пісків за питомою поверхнею

Група	Питома поверхня, м ² /кг, не менше
Висока	15
Середня	10
Низька	5

Питома поверхня – сумарна площа поверхні частинок матеріалу, які містяться в одиниці його маси.

Наприклад, якщо взяти 1 г піску, це буде понад 1000 піщинок. Кожна з них являє собою певну геометричну фігуру. Визначивши площу поверхні кожної і склавши результати, отримують сумарну питому поверхню. Питому поверхню за стандартною методикою визначають також для глин та інших колоїдальних мінералів, де на 1 г приходить мільйони частинок, а питома поверхня в тисячі разів більша, ніж у пісків.

Оскільки робота ЗК полягає у тому, щоб покрити поверхню зерен наповнювача, а потім встановити між окремими зернами зв’язки, то питома поверхня визначає загальну площу, на якій діє ЗК. При великій питомій поверхні необхідна більша кількість ЗК, щоб розосередити його по піщинках. При низькій питомій поверхні потрібна менша кількість ЗК. Тому піски з переважним розміром зерен 0,3...0,4 мм забезпечують найвищі показники міцності при мінімумі ЗК.

Великий вплив на властивості формувальних сумішей має ступінь гладкості поверхні піщинок, наявність тріщин, заглиблень і т. п. Усі нерівності на поверхні піщинок при приготуванні сумішей заповнюються ЗК у першу чергу і лише потім формується оболонка ЗК навколо піщинок. Чим більше цих заглиблень на піщинках, тим більша питома поверхня, і більшою буде витрата ЗК для досягнення необхідної міцності.

Таблиця 3.14 – Групи пісків за газопроникністю

Група	Газопроникність, м ² /(Па·с), не менше
Дуже висока	550
Висока	350
Середня	200
Низька	100
Дуже низька	30

Газопроникність залежить від розмірів і форми зерен. У пісків з крупними зернами вона висока. Також вона висока у пісків з неправильною або кутастою формою зерен, тому що упаковка таких зерен менш щільна.

Таблиця 3.15 – Групи пісків за втратою маси при прожарюванні

Група	Втрата маси, %, не більше
Низька	0,2
Середня	1,0
Висока	3,0

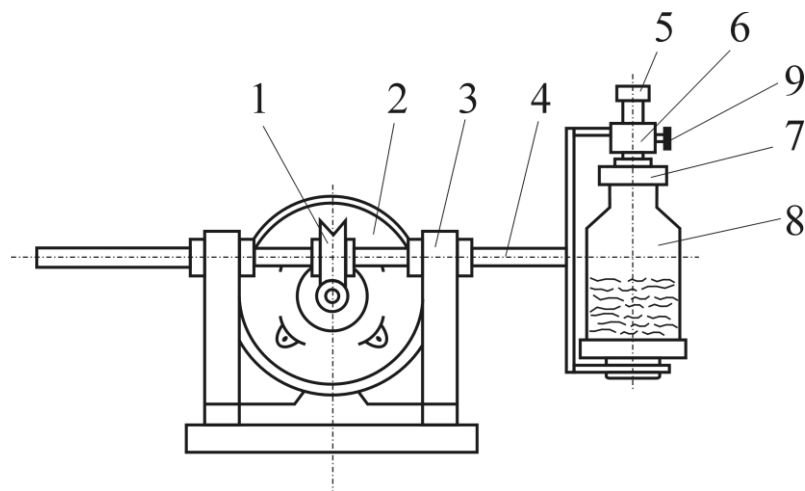
Втрата маси свідчить про наявність газотвірних домішок. При прожарюванні з пісків виділяються газоподібні продукти як наслідок видалення кристалогідратної води із глинястих та подібних до них мінералів, вигорання органічних домішок, розпаду карбонатів. Оскільки перед застосуванням прожарювати весь пісок немає можливості, то для зниження газотвірності суміші потрібен пісок з мінімальними втратами при прожарюванні.

3.1.5. Визначення властивостей пісків

Основою для класифікації пісків, як уже зазначено, є вміст у них глинястої складової.

У основу визначення її вмісту за ГОСТ 29234.1–91 покладено залежність швидкості осідання у нерухомій рідині часток від їх розмірів (метод седиментації). Після збовтування суспензії упродовж певного часу (5...10 хв) частки розмірами більше 0,022 мм (22 мкм) осядуть, а менші залишаться ще у зваженому стані і можуть бути видалені разом з рідиною.

Визначення вмісту глинястої складової проводять на наважках масою 50,0 г сухого піску на установці (рис. 3.4). У банку наливають 475 см³ дистильованої води і 25 см³ 1%-го водного розчину NaOH. Установку вмикають на 60 хв.



1 – черв'ячна передача; 2 – електродвигун; 3 – станина; 4 – вал; 5 – стрижень;
6 – хрестовина; 7 – чашка; 8 – банка; 9 – стопорний гвинт
Рисунок 3.4 – Схема приладу для визначення вмісту глинястої складової

Після закінчення часу збовтування банку з приладу знімають, доливають воду до верху і відстоюють протягом 10 хв. Пісок осідає на дно, глиняста складова залишається у підвішеному стані. Її зливають разом із водою за допомогою сифона. Операцію заповнення банки водою, відстоювання і зливання повторюють декілька разів, поки вода не стане абсолютно прозорою. Пісок вилучають із банки і висушують.

Вміст глинястої складової визначають за втратою маси піску.

Найскладнішим аналізом, який неможливо зробити у звичайних лабораторних умовах, є визначення **вмісту основного мінералу**, яким являється кварц.

Хімічний аналіз на вміст SiO_2 проводять згідно ГОСТ 2642.3 – 86. Вміст домішок оксидів калію і натрію визначають за ГОСТ 2642.11-86, сірки – за ГОСТ 3594.4-77, оксидів кальцію і магнію – за ГОСТ 23409.1-78, оксиду заліза – за ГОСТ 23409.2-78, оксиду титану – за ГОСТ 23409.3-78, оксиду алюмінію – за ГОСТ 4069-69.

З урахуванням впливу шкідливих домішок рекомендовано застосовувати піски наступних груп:

- для крупного сталевих литва $K_1 \dots K_2$;
- для середніх і дрібних сталевих виливків $K_2 \dots K_4$;
- для чавунного литва – $K_2 \dots K_5$;
- для дрібних чавунних та виливків із кольорових сплавів – піски K_4, K_5 , а також усі групи пісних та жирних пісків.

Для виготовлення стрижнів використовують збагачені піски, або піски груп $K_1 \dots K_2$.

Найважливішими характеристиками формувальних пісків є середній розмір їх зерен та співвідношення між зернами різних розмірів, що називають **гранулометричним (зерновим) складом** піску. Від розмірів зерен наповнювача залежать міцність і газопроникність сумішей, витрата зв'язувального компонента, якість поверхні виливків, її шорсткість, мікрорельєф, можливість виникнення пригару тощо.

Гранулометричний аналіз проводиться після визначення вмісту глинястої складової на тій же самій пробі (наважці) піску. Визначають зерновий склад ситовим аналізом – просіюванням наважки на стандартному комплекті сит (табл. 3.16).

Таблиця 3.16 – Номери та розміри комірок комплекту сит

Номер сита	2,5	1,6	1,0	063	04	0315	02	016	01	0063	005
Розмір сторони комірки, мм	2,5	1,6	1,0	0,63	0,4	0,315	0,2	0,16	0,1	0,063	0,05

Крім 11 сит, у комплекті є тазик. Він розташовується під останнім ситом 005, і в ньому збирається найдрібніша фракція піску. По суті, там знаходять своє місце піщинки розмірами від 22 до 50 мкм.

Гранулометричний склад піску визначають за кількісним розподілом (% від маси) піщинок на окремих ситах після розсіювання його наважки. Результати випробувань записують у таблицю та будують діаграму (рис. 3.5).

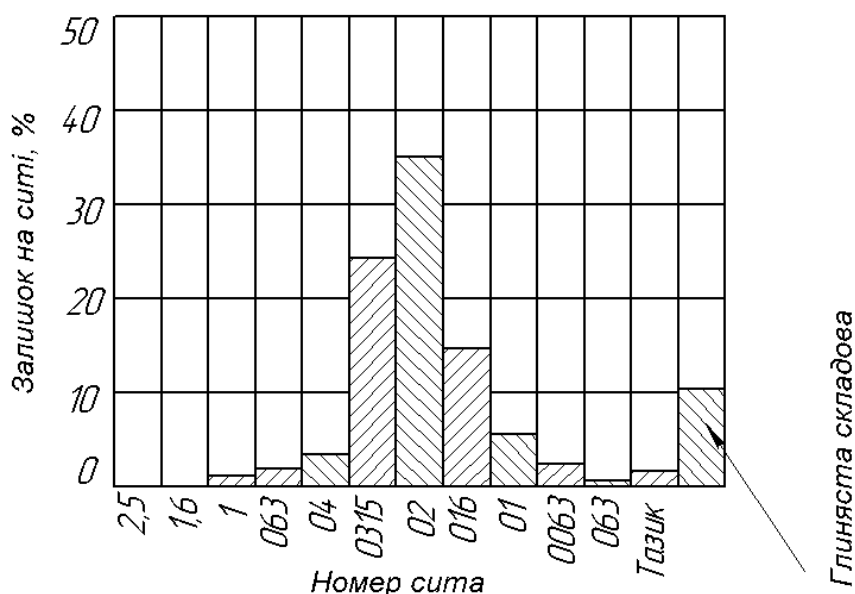


Рисунок 3.5 – Діаграма гранулометричного складу формувального піску

Для визначення середнього розміру зерен і коефіцієнта однорідності за даними гранулометричного складу піску (за ГОСТ 29234.3-91) будують інтегральну криву розподілу піщинок за розмірами. Для цього по осі абсцис відкладають у логарифмічному масштабі розміри комірок сита, а по осі ординат в лінійному масштабі – кількість піску (%) на цьому ситі (рис. 3.6).

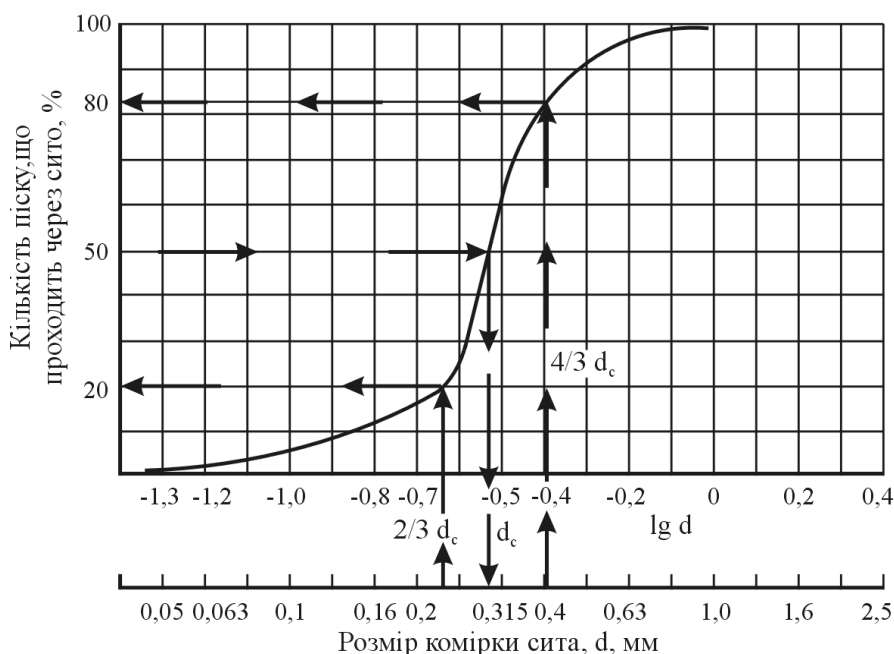


Рисунок 3.6 – Діаграма для визначення середнього розміру піщинок і коефіцієнта однорідності

Середній розмір зерна (d_c) відповідає розміру комірки сита, через яке пройшло 50% піску (див. рис. 3.6).

Розміри зерен піску значною мірою впливають на властивості формувальних сумішей, тому крупний пісок (групи 03) використовують для одержання крупних виливків, піски груп 02 і 025 – для середніх, групи 016 – для дрібних.

Коефіцієнт однорідності визначають також за інтегральною кривою. Для цього знаходять вміст, %, піщинок, які за розмірами відповідають $4/3d_c$ та $2/3d_c$ (див. рис. 3.6). Коефіцієнт однорідності дорівнює різниці цих відсоткових значень.

Для досягнення максимальної міцності формувальних сумішей необхідна максимально щільна упаковка зерен при їх ущільненні. Вона досягається за певного співвідношення розмірів, коли пори між крупними піщинками (пори першого порядку) заповнені зернами, які мають розмір, вписаний у цю пору, а пори другого порядку заповнені фракцією піщинок

третього порядку і так далі (рис. 3.7). Отже, піски з низьким коефіцієнтом однорідності забезпечують максимальну міцність формувальних сумішей.

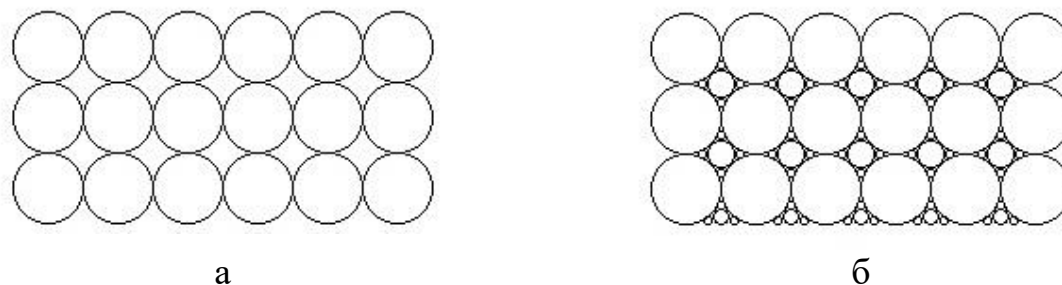


Рисунок 3.7 – Структура формувальної суміші з піщинок однакового розміру (а) і з необхідним ступенем розосередження (б)

3.1.6. Фізичні та хімічні властивості

Температура плавлення чистого кварцу – 1713 °С, але реальна температура плавлення пісків через наявність домішок менша і лежить у межах 1550...1650 °С. Для окремих збагачених пісків вона може досягати 1670 °С [1].

Густина чистого кварцу 2650 кг/м³, а насипна маса пісків лежить у межах 1300...1900 кг/м³, залежно від розмірів і форми зерен.

Твердість за шкалою Мооса – 5,5...7,0; модуль пружності 4905 ГПа; питома теплоємність $840 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$, прихована теплота плавлення – 172,3 кДж/кг.

Через особливості будови кристалічної ґратки кварц має анізотропію (відмінність) властивостей у різних напрямках. Коефіцієнт теплопровідності в напрямку паралельно кристалографічній осі – $1,34 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$, перпендикулярно до осі – $6,7 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$. Коефіцієнт термічного розширення: паралельно кристалографічній осі – $9,6 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$, перпендикулярно до осі – $16 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$.

При нагріванні SiO₂ відбуваються модифікаційні (поліморфні) перетворення (рис. 3.8). Кремнезем має три кристалічні модифікації: кварц, тридиміт і кристобаліт [6]. У природних пісках кремнезем знаходиться у вигляді β-кварцу, який при 573 °С перетворюється на α-кварц, останній при температурі 870 °С перетворюється на тридиміт, а при 1470 °С – на кристобаліт. Перехід із однієї модифікації в іншу відбувається повільно, а з модифікації першого роду в модифікацію другого роду, тобто β-кварц→α-кварц (при нагріванні), α→β→γ-тридиміт і α-кристобаліт→β-кристобаліт (при охолодженні) – відбувається швидко.

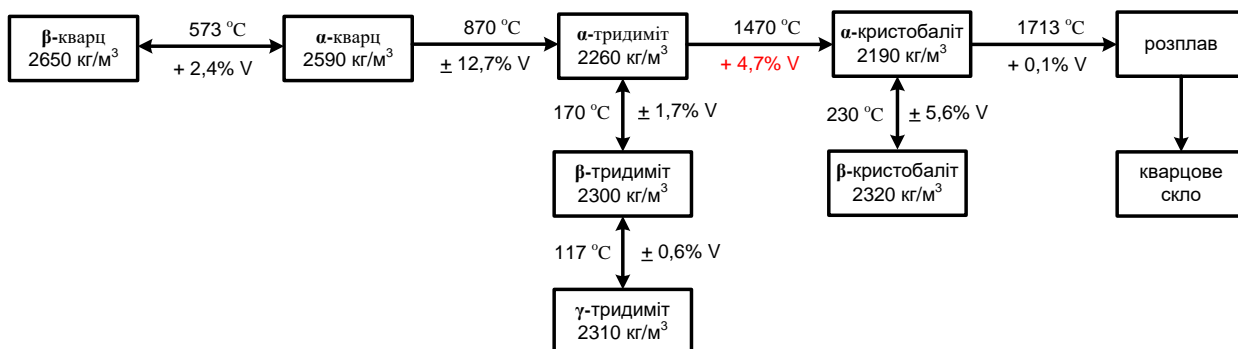


Рисунок 3.8 – Модифікаційні перетворення кварцу при нагріванні й охолодженні

У далеких від рівноваги умовах ливарної форми, коли температура змінюється швидко, при 1300...1350 °С утворюється метастабільний кристобаліт, який потім переходить у тридиміт. Але останній зустрічається у незначній кількості лише у відпрацьованих формувальних сумішах після багаторазового заливання металом.

Оскільки модифікації відрізняються густиною (кварц – 2650 кг/м³, тридиміт – 2260 кг/м³, кристобаліт – 2190 кг/м³), за цих перетворень відбувається зміна питомого об'єму, що знижує точність литва і спричиняє утворення дефектів у виливках.

З хімічної точки зору, кварц – кислотний оксид, а тому може утворювати при нагріванні з оксидами розплаву або домішками піску силікати, які складають основу пригарних кірок. В основному ці силікати наявні в піску або утворюються при нагріванні у вигляді польових шпатів, слюди тощо, які мають невисоку температуру плавлення, тому знижують вогнетривкість і підсилюють фізико-хімічну взаємодію між металом і матеріалом форми.

3.2. Вогнетривкі наповнювачі на основі кремнезему

Крім пісків на основі кварцу, в яких основним мінералом є β-кварц, застосовують ряд наповнювачів, які містять інші форми кремнезему:

1. **Маршаліт** – природний кварц, який містить часточки розмірами менше 0,1 мм. У ньому зустрічаються такі ж самі шкідливі домішки, як у пісках. Застосовується у протипригарних покриттях, а також як наповнювач для точного лиття.

2. **Пилоподібний кварц** – штучно одержаний матеріал, подібний до маршаліту. Отримують розмеленням кварцового піску. Хімічний склад і область застосування – аналогічні маршаліту.

Перед застосуванням, як правило, пілоподібний кварц або маршаліт прожарюють при 600 °С для перетворення його на α -кварц з метою усунення одного із фазових перетворень при нагріванні і підвищення стабільності розмірів форми.

3. При тривалому прожарюванні кварцового піску при відповідних температурах у ньому можуть утворюватися тридиміт та кристобаліт. Наповнювач, який містить усі три модифікації кремнезему у певних співвідношеннях (60...70% тридиміту, 20...30% кристобаліту і 3...6% кварцу), носить назву **динас**. Цей наповнювач дорожчий за кварц, і тому його застосовують лише в окремих випадках – переважно у ювелірному литті.

4. **Кристобаліт** у чистому вигляді дуже рідко зустрічається в природі. Його штучно отримують прожарюванням кварцового піску при температурі близько 1470 °С. Застосовують в основному в пілоподібному стані (після розмелювання). Має зворотні поліморфні перетворення $\alpha \rightarrow \beta \rightarrow \gamma$ (див. рис. 3.8), які проходять з мінімальними змінами питомого об'єму. Коефіцієнт термічного розширення $6 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$. Найбільш стабільний із усіх форм кремнезему, але у 10...15 разів дорожчий за кварц. Застосовується як основний наповнювач у ювелірному литті.

5. **Переплавлений (стабілізований) кварц** отримують розплавленням кварцового піску з подальшим охолодженням розплаву і розмелюванням отриманого продукту. Отримують пілоподібний наповнювач, який за ціною у 100...150 разів дорожчий за кварцовий пісок, але має абсолютну термічну стабільність (коефіцієнт термічного розширення $2 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ – мінімальний із усіх відомих вогнетривів, відсутні фазові перетворення). Застосовують для найбільш відповідальних виливків у технологіях точного лиття [10].

3.3. Інші вогнетривкі наповнювачі

1. **Циркон** ($\text{ZrO}_2 \cdot \text{SiO}_2$) добувають у вигляді природних цирконових пісків, які через велику кількість домішок кварцу, рутилу, дистену, ільменіту та оксидів заліза необхідно обов'язково збагачувати.

Густина 4500...4700 кг/м³; коефіцієнт термічного розширення $5,1 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$; вогнетривкість 2400...2600 °С, підвищена теплопровідність і теплоакумулювальна здатність, поліморфних перетворень не має.

Не активний до металевих розплавів. Комплекс властивостей забезпечує йому широке використання як наповнювача (піску) у стрижневих сумішах або в облицювальних сумішах для крупного сталевого литва.

Постачається концентрат цирконовий зернистий КЦЗ із масовою долею оксиду цирконію не менше 65% (ТУ У 14-10-015-98).

Пилоподібні форми (концентрат цирконовий порошкоподібний КЦП із вмістом ZrO_2 не менше 65%; КЦПТ із вмістом ZrO_2 не менше 60%) використовують у протипригарних фарбах і вогнетривких суспензіях для точного лиття.

Циркон є дорожчим за кварцові наповнювачі у декілька разів; через домішки оксиду торію є дещо радіоактивним.

2. **Олівін** $MgO \cdot FeO \cdot SiO_2$ має густину 3200...3300 $кг/м^3$; вогнетривкість 1890 °С, без поліморфних перетворень.

3. **Ставроліт** $Fe(OH)_2 \cdot 2Al_2SiO_5$ має густину 3650...3740 $кг/м^3$; вогнетривкість 1700 °С, також без поліморфних перетворень.

Застосовують у вигляді олівінового або ставролітового піску як наповнювачі стрижневих сумішей або в облицювальних сумішах при виготовленні крупних сталевих і чавунних виливків.

4. **Хроміт** – природний мінерал $FeO \cdot Cr_2O_3$, який містить хромошпінеліди. Мінімально допустимий вміст оксиду хрому – 36%. Особливо шкідлива домішка – $CaCO_3$, оскільки при нагріванні виділяє CO_2 і утворює газові дефекти у виливках. Тому перед застосуванням хроміт прожарюють при 900...1000 °С.

Густина 4100...4300 $кг/м^3$; коефіцієнт термічного розширення $7,0 \cdot 10^{-6} K^{-1}$; вогнетривкість 1600...1800 °С.

Має високу теплопровідність. При температурі 1100 °С спікається, утворюючи на поверхні форми бар'єр, який попереджає утворення пригару.

Використовують як наповнювач (пісок) в облицювальних сумішах для сталевих литва, або як наповнювач у стрижневих сумішах.

5. **Хромомагnezит** $Cr_2O_3 \cdot MgO$ являє собою продукт відпалу при температурі 1500...1600 °С суміші, яка складається із 50...70% хромітової руди та 30...50% металургійного магнезиту.

Густина 4300 $кг/м^3$; коефіцієнт термічного розширення $8,0 \cdot 10^{-6} K^{-1}$; вогнетривкість 2000...2100 °С.

Використовують у вигляді зернистого наповнювача облицювальних сумішей для крупного сталевих литва (виливки із легованих сталей), а також у вигляді дрібнодисперсного матеріалу у складі протипригарних фарб і вогнетривких суспензій для точного лиття.

6. **Магнезит** у природі зустрічається у вигляді $MgCO_3$. Його прожарюють при температурі 800...950 °С для утворення каустичного магнезиту, або при 1400 °С для утворення кристалічного магнезиту MgO .

Густина 2900...3100 кг/м³; коефіцієнт термічного розширення $14,5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$; вогнетривкість 2800 °С. Термічно стабільний, хімічно інертний до розплавів (особливо до легуваних сталей).

Використовують магнезитовий пісок із відходів і брухту магнезитових вогнетривів як наповнювач облицювальних сумішей, а також пилоподібний магнезит як наповнювач у протипригарних фарбах і суспензіях для точного лиття легуваних сталей.

7. **Дистен-силіманіт** складається із суміші двох мінералів – дистену і силіманіту, які мають однакову хімічну формулу $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$, але різні кристалічні ґратки. Розділенню мінерали не піддаються. Поліморфне перетворення дистену на силіманіт відбувається при 1300...1545 °С, тому в ливарних формах воно малоімовірно.

Густина 3500...3700 кг/м³; коефіцієнт термічного розширення $5,6 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$; вогнетривкість 1750...1830 °С.

Постачається дистен-силімантовий концентрат зернистий трьох марок: КДСЗ (вміст Al_2O_3 не менше 57%), КДСЗ-1 (вміст Al_2O_3 не менше 54%), КДСЗ-2 (вміст Al_2O_3 не менше 48%).

Застосовується як зернистий наповнювач або протипригарна добавка у формувальних сумішах. Порошкоподібний концентрат КДСП із вмістом оксиду алюмінію не менше 57% – наповнювач у протипригарних фарбах, а також у формувальних суспензіях для точного лиття.

8. **Кіаніт** – природний мінерал $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$. Можливе штучне отримання його із суміші глинозему і кремнезему при 900 °С і тиску 2000 МПа.

Густина 3560...3680 кг/м³; коефіцієнт термічного розширення $5,6 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$; вогнетривкість 1800 °С.

Дрібнодисперсний кіаніт – наповнювач у протипригарних фарбах, а також у формувальних суспензіях для точного лиття.

9. **Пірофіліт** – природний водний шаруватий алюмосилікат рожевого, білого або жовтуватого кольору $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Містить кристалогідратну воду, тому перед застосуванням може бути прожарений при 650 °С. При високих температурах (понад 900 °С) може перетворюватися на муліт. Не схильний до хімічної взаємодії з розплавами.

Густина 2670...2790 кг/м³; коефіцієнт термічного розширення $5,5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$; вогнетривкість 1540...1610 °С.

Застосовують як наповнювач у протипригарних фарбах для кольорового і чавунного литва. Останнім часом доведено можливість його застосування у вогнетривких суспензіях для точного лиття сталевих виливків [11].

10. **Шамот** отримують шляхом відпалу вогнетривкої глини при температурі вище 1000 °С до спікання. Чим більше у шамоті вміст Al_2O_3 , тим вища його вогнетривкість. Шамот буває: кислим ($\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3 > 4$), нормальним ($\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3 = 2\dots 4$) і глиноземистим ($\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3 < 2$). Термічно стабільний, не активний до розплаву металу.

Густина 2500 $\text{кг}/\text{м}^3$; вогнетривкість, залежно від складу, 1580...1750 °С.

Застосовують як наповнювач ливарних форм і стрижнів для середніх і крупних сталевих і чавунних виливків, у протипригарних фарбах і суспензіях для точного лиття.

11. **Муліт** $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ отримують шляхом сплавлення каоліну з корундом. Густина 3080 $\text{кг}/\text{м}^3$; коефіцієнт термічного розширення $5,5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$; вогнетривкість 1690...1770 °С. Не має поліморфних перетворень. Не схильний до хімічної взаємодії з розплавами, вогнетривкість середня.

Застосовують у протипригарних фарбах і суспензіях для точного лиття.

12. **Корунд** – мінерал синього кольору (сапфір) або червоного (рубін). Термічно стабільний, має високу вогнетривкість, дуже твердий. У техніці застосовують синтетичний корунд (електрокорунд), який отримують плавленням бокситу або чистих глин із високим вмістом оксиду алюмінію. Містить до 95% Al_2O_3 , хімічно інертний до розплавів, за вартістю в десятки разів переважає кварц.

Густина 3950...4100 $\text{кг}/\text{м}^3$; коефіцієнт термічного розширення $8,0 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$; вогнетривкість 2050 °С.

Постачається електрокорундовий порошок ПЭЛ-1 ТУ 2-043-992-85 із вмістом оксиду алюмінію не менше 85%.

Застосовують у протипригарних фарбах і вогнетривких суспензіях для точного лиття сталевих виливків і виливків із сплавів тугоплавких металів.

13. **Оксид цирконію** ZrO_2 має густину 5750 $\text{кг}/\text{м}^3$; коефіцієнт термічного розширення $7,2 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$; вогнетривкість 2700 °С.

Термічно стабільний, хімічно інертний до розплавів чавуну, вуглецевих та легованих сталей, тугоплавких сплавів. Дорогий і дефіцитний наповнювач.

Застосовують у протипригарних фарбах і суспензіях для точного лиття виливків із легованих сталей, тугоплавких сплавів.

14. **Рутил** – крихкий природний мінерал червоно-бурого, червоного, бурувато-жовтого, а іноді синього чи фіолетового кольору з хімічною формулою TiO_2 . Синтетичний рутил отримують при термічному розпаді чотирихлористого титану.

Густина 4200...4400 кг/м³; коефіцієнт термічного розширення $6,0 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$; вогнетривкість 1570 °С.

Має невисоку вогнетривкість, але термічно стабільний (не має поліморфних перетворень) і хімічно не активний до розплавів. Застосовують як наповнювач в облицювальних сумішах для сталевого і чавунного литва.

15. Оксид берилію має густину 3020 кг/м³; коефіцієнт термічного розширення $10,9 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$; вогнетривкість 2550...2700 °С.

BeO має термічну стабільність і високу вогнетривкість, але, на жаль, дефіцитний і досить токсичний.

Тому його використання досить обмежене: вогнетривкі суспензії для точного лиття тугоплавких сплавів і сталей з високим вмістом хрому.

16. Графіт – вуглецевий матеріал, який має високу теплопровідність, термічно стабільний, без поліморфних перетворень.

Густина 2100...2300 кг/м³; вогнетривкість 3800 °С. При нагріванні понад 400 °С починає окислюватись і створює відновлювальну атмосферу в формі.

Кристалічний графіт буває природним і синтетичним. Синтетичний отримують нагріванням вугілля і нафтового коксу до 2200...2800 °С. Питома поверхня 2000...2500 см²/г. За ГОСТ 17022-81 є марки графіту: ГЛ-1 (зольність менше 13%), ГЛ-2 (зольність менше 18%), ГЛ-3 (зольність менше 25%). Найчастіше використовують ГЛ-1.

Аморфний (прихованокристалічний) графіт за ГОСТ 5420-74 має три марки: ГЛС-1 (зольність менше 13%), ГЛС-2 (зольність менше 17%), ГЛС-3 (зольність менше 22%). Густина 1500...2000 кг/м³, питома поверхня 5800...6100 см²/г. Найчастіше використовують ГЛС-1.

Кристалічний та аморфний графіти або їх суміш застосовують у протипригарних фарбах для чавунного литва, а також як наповнювач для виготовлення ливарних форм при литті титанових сплавів [9].

17. Шунгіт – вуглецевий матеріал, кристалічна ґратка якого близька до алмазу. Складається із суміші аморфного вуглецю і графіту.

Має високу теплопровідність, вогнетривкість понад 3000 °С, термічно стабільний. Густина матеріалу 1840...1980 кг/м³.

Застосовують як наповнювач у протипригарних фарбах для чавунного литва і деяких тугоплавких (наприклад, титанових) сплавів.

18. Тальк – поширений природний мінерал $3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Густина тальку 2580...2830 кг/м³; вогнетривкість 1200 °С.

Оскільки вогнетривкість низька, застосовують як наповнювач у протипригарних фарбах для дрібного чавунного литва, а також для сплавів кольорових металів.

Основне застосування знайшли тальк марок ТМК-28 і ТМК-27 за ГОСТ 21234-75, або тальк марки ТП (ГОСТ 21235-75).

☞ *Контрольні запитання до розділу 3:*

1. Які формувальні піски набули найбільшого поширення у ливарних цехах?
2. На які групи за природою походження розділяють піски?
3. Що таке збагачення пісків?
4. Які найбільші родовища пісків в Україні ви знаєте?
5. Що таке глиняста складова?
6. Наведіть класифікацію формувальних пісків залежно від вмісту глинястої складової.
7. За якими ознаками класифікують кварцові піски? Наведіть приклад маркування.
8. За якими ознаками класифікують пісні піски? Наведіть приклад маркування.
9. За якими ознаками класифікують жирні піски? Наведіть приклад маркування.
10. Наведіть додаткові ознаки класифікації пісків, які не входять у позначення їх марки.
11. Що таке питома поверхня піску і в яких одиницях її визначають?
12. Яким чином визначають вміст глинястої складової?
13. Яким чином у формувальних пісках визначають вміст SiO_2 та шкідливих домішок?
14. Яким чином визначають гранулометричний склад? Якими параметрами він характеризується?
15. Наведіть фізичні та хімічні властивості кварцу та кварцового піску.
16. Прокоментуйте модифікаційні перетворення кварцу при нагріванні й охолодженні.
17. Охарактеризуйте вогнетривкі наповнювачі на основі кремнезему.
18. Наведіть приклади вогнетривких наповнювачів, які використовують у складі формувальних та стрижневих сумішей.
19. Наведіть основні характеристики вогнетривких наповнювачів, які визначають їх область застосування у ливарному виробництві.
20. Які наповнювачі мають найбільшу вогнетривкість?
21. Які формувальні піски, крім кварцових, використовують у ливарному виробництві?

РОЗДІЛ 4. ЗВ'ЯЗУВАЛЬНІ КОМПОНЕНТИ

4.1. Загальна характеристика

Зв'язувальний компонент (ЗК) – це речовина, яку додають у формувальну або стрижневу суміш для надання їй міцності після приготування, сушіння або хімічного зміцнення.

Суміш являє собою дисперсну систему, яка складається переважно із часток (зерен) наповнювача. В основі склеювання цих часток зв'язувальним компонентом лежать два основних явища:

1. Адгезія, робота якої W визначається рівнянням [9]:

$$W = \sigma (1 + \cos \theta), \quad (4.1)$$

де σ – поверхневий натяг на межі рідина – газ;

θ – крайовий кут змочування рідиною твердого тіла;

2. Когезія.

Адгезійний зв'язок утворює ЗК із поверхнею часток наповнювача. Когезійний зв'язок утворюють між собою окремі частинки (плівки) ЗК. Від величини когезійної та адгезійної міцності залежить міцність готової суміші.

Із формули (4.1) зрозуміло, що для створення адгезійного зв'язку ЗК у суміші має обов'язково знаходитися у рідкому стані, оскільки має відбутися процес змочування. Тому всі ЗК, які в такому стані не знаходяться (порошкові глини, смоли, лігносульфонати тощо), під час приготування суміші переводять у рідкий стан додаванням води, органічних розчинників або нагріванням.

Крім головного призначення зв'язувального матеріалу – забезпечення міцності форми (стрижня) – до нього пред'являють ряд додаткових вимог. Вимоги викладено у хронологічному порядку, починаючи з приготування суміші і закінчуючи вибиванням форми після охолодження виливка [6, 9]:

1. Висока питома міцність, щоб досягти максимальної міцності формувальної суміші за мінімального вмісту ЗК.

Питома міцність – це міцність суміші, яка вміщує 1% даного ЗК.

2. Необхідний рівень технологічних властивостей суміші (текучість, липкість, живучість тощо).

3. Необхідний термін зміцнення. Воно має відбуватися не дуже швидко, враховуючи необхідний час на виготовлення форми (стрижня), але і не дуже повільно, щоб форма у найкоротший термін була придатна для заливання.

4. Мінімальна гігроскопічність.

Гігроскопічність – здатність поглинати вологу із навколишнього простору. Ця властивість характерна для водорозчинних ЗК.

5. Висока газопроникність суміші.

6. Низька газотвірність суміші.

7. Висока вогнетривкість, щоб міцність форми не знижувалася нижче мінімально необхідної при контакті з рідким металом.

8. Мінімальна фізико-хімічна взаємодія з розплавом і недопущення пригару.

9. Достатня податливість. При охолодженні виливка нижче температури солідусу має відбутися максимальне зниження міцності форми та стрижня.

10. Легка вибиваемість виливків із форм і стрижнів із виливків.

11. Довговічність (можливість повторного використання).

12. Недефіцитність і низька вартість.

13. Нетоксичність, нерадіоактивність, пожежна і екологічна безпека.

Матеріалів, які задовольняли б одночасно всьому переліку вимог, не існує. Тому в більшості випадків доводиться вибирати ЗК, виходячи із задоволення тільки головних вимог.

Взагалі відомо понад 200 різних зв'язувальних компонентів. У наш час для формувальних і стрижневих сумішей застосовують менше половини із них. Деякі використовують у великих об'ємах (глина, смоли, рідке скло), об'єм інших (масла, цементи) скоротився до мінімуму.

Відомий ряд класифікацій зв'язувальних матеріалів. Найбільше визнання дістала класифікація, запропонована А. М. Ляссом (табл. 4.1). Матеріали класифікуються за походженням, питомою міцністю і характером зміцнення.

Таблиця 4.1 – Класифікація зв'язувальних матеріалів А. М. Лясса

Питома міцність, МПа	Характер зміцнення	Природа зв'язувальних компонентів		
		клас А (органічні неводні)	клас Б (органічні водні)	клас В (неорганічні)
Більше 0,5	необоротний	синтетичні смоли неводорозчинні, рослинні масла	синтетичні смоли водорозчинні, етилсилікат	рідке скло, фосфати ¹⁾ , алюмінати, солі
0,3...0,5	проміжний	нафтові масла	полісахариди	фосфати ¹⁾
Менше 0,3	оборотний	органофільний бентоніт	ЛСТ	глина, цемент ²⁾ , гіпс ²⁾

Примітки:

1. Існує декілька різних фосфатних і металофосфатних зв'язувальних систем, які мають різну питому міцність

2. Цемент і гіпс мають необоротний характер зміцнення, але питома міцність у них менша за 0,3 МПа.

Усі відомі ЗК та області їх використання представлено в табл. 4.2. Позначка «X» означає, що ЗК в даних сумішах використовується; «(X)» – використання його можливе, але існують більш придатні ЗК для цієї технології; позначка «-» означає, що ЗК не використовується.

Таблиця 4.2 – Зв'язувальні компоненти та області їх застосування [6, 9, 10]

Зв'язувальний компонент	Тип формувальної суміші						
	для формовки по-сирому	для формовки по-сухому	самотвердна	вогнетривка суспензія	прогибригарна фарба	зміцнювана	
						в нагрітому оснащенні	хімічно
НЕОРГАНІЧНІ							
1. Силікати							
1.1. Глини							
1.1.1. Бентонітові	X	-	-	-	-	-	-
1.1.2. Каолінові	(X)	X	-	-	-	-	-
1.1.3. Полімінеральні	(X)	X	-	-	-	-	-
1.2. Цементи	-	-	X	-	-	-	-
1.3. Рідке скло	-	-	X	X	X	X	X
2. Фосфати							
2.1. Залізофосфатні	-	-	X	-	-	-	-
2.2. Магнійфосфатні	-	-	X	-	-	-	-
2.3. Алюмофосфатні	-	-	-	X	X	X	-
2.4. Алюмохромфосфатні	-	-	-	X	X	X	-
2.5. Триполіфосфат натрію	-	-	-	-	X	-	-
2.6. Інші фосфатні ЗК	-	-	X	-	(X)	(X)	-
3. Сульфати							
3.1. Гіпс (сульфат кальцію)	-	-	X	X	-	-	-
3.2. Сульфат алюмінію	-	-	-	-	X	-	-
3.3. Сульфат магнію	-	-	-	-	X	-	-
4. Солеві ЗК							
4.1. Однокомпонентні							
4.1.1. Алюмінат натрію	-	-	-	-	X	-	-
4.1.2. Оксинітрати Al, Ca, Cr	-	-	-	(X)	(X)	-	-

Продовження табл. 4.2

4.2. Багатокомпонентні							
4.2.1. Солеві зв'язувальні системи	-	-	-	-	-	X	-
4.2.2. Солекерамічні зв'язувальні системи	-	-	-	-	-	X	-
ОРГАНІЧНІ							
1. Синтетичні смоли							
1.1. Карбамідо-формальдегідні	-	-	X	-	X	(X)	-
1.2. Карбамідо-фуранові	-	-	X	-	X	X	-
1.3. Фенол-формальдегідні	-	-	X	-	X	X	X
1.4. Фенол-формальдегідно-фуранові	-	-	X	-	X	X	-
1.5. Фуранові	-	-	X	-	X	X	X
1.6. Алкідні	-	-	X	-	-	(X)	X
1.7. Полівініловий спирт	-	-	(X)	-	-	X	-
1.8. Поліуретанові	-	-	X	-	-	-	X
1.9. Епоксидні	-	-	X	-	-	-	X
1.10. Акрилові	-	-	X	-	-	-	X
2. Полісахариди	-	(X)	-	-	X	(X)	-
3. Лігносульфонати технічні (ЛСТ)	X	X	X	-	X	-	-
4. Масла							
4.1. Рослинні	-	-	-	-	-	X	-
4.2. Нафтові	-	-	-	-	-	X	-
4.3. Сланцеві	-	(X)	-	-	-	X	-
4.4. Рослинні і тваринні жири	-	(X)	(X)	-	-	(X)	-
5. Ефіри кремнієвої кислоти							
5.1 Етилсилікати	-	(X)	(X)	X	X	-	-
5.2 Кремнезоль	-	(X)	(X)	X	X	-	-
6 Інші зв'язувальні компоненти							
6.1. Бітуми	(X)	X	-	-	-	(X)	-
6.2. Пеки	-	-	-	-	-	(X)	-
6.3. Полівінілбутираль	-	-	(X)	-	X	-	-
6.4. Полівінілацетат	-	-	(X)	-	X	-	-
6.5. Полістирол	-	-	(X)	-	X	-	-

До зміцнення сумішей призводять наступні процеси і явища [6]:

1. Полімеризація або поліконденсація.

Полімеризація – процес укрупнення молекул, який відбувається тільки у місцях подвійних або потрійних зв'язків.

Поліконденсація – процес укрупнення молекул, який відбувається з відокремленням атомів і атомних груп, які утворюють низькомолекулярні речовини, перш за все H_2O .

В результаті цих процесів плівки ЗК переходять у твердий і еластичний стан. Процеси носять необоротний характер. Характерно для синтетичних смол.

2. **Видалення вологи** в процесі висушування. Під час цього можливо два різнопланових процеси:

1) Дегідратація – при видаленні вологи із плівки ЗК підвищується її в'язкість, твердість, міцність. Процес оборотний. Характерно для глин.

2) Кристалізація – при видаленні вологи із розчину ЗК відбувається виділення кристалів та їх зрощування. Процес оборотний. Характерно для полісахаридів та лігносульфонатів.

3. **Гелеутворення.** Колоїдні системи або суспензії здатні до коагуляції (зчеплення) часток, і золь перетворюється у гель. Вода не видаляється, а утримується у складі гелю. Процес необоротний. Характерно для рідкого скла.

4. **Гідратація.** Ряд неорганічних ЗК здатний приєднувати молекули води та утворювати кристалогідрати, що забезпечує зміцнення суміші. Процес оборотний. Характерно для цементів, гіпсу, деяких фосфатних ЗК.

5. **Плавлення і подальше затвердіння при охолодженні.** При охолодженні плівка ЗК набуває міцності і скріплює зерна наповнювача. Процес оборотний. Характерно для солекерамічних ЗК.

4.2. Формувальні глини

4.2.1. Загальна характеристика

Глина являє собою гірську породу полімінерального землистого виду, яка утворює із водою пластичну масу, здатну зберігати надану їй форму після пресування.

У складі глин розрізняють глинясту та неглинясту частини, органічні домішки, обмінні іони та солі. Глиняста частина представлена гідросилікатами алюмінію, які називаються глинястими мінералами.

Серед родовищ глин промислове значення мають наступні [12]:

1. Алювіальні (або річкові) – утворюються в долинах річок у результаті виносу і відкладення глинястих продуктів річковими потоками.

2. Озерні та озерно-болотяні – виникають внаслідок відкладення глинястої речовини на дні прісноводних озер. Це однорідні дрібнодисперсні глини, які містять мало піщаних часток.

3. Льодовикові – утворені за рахунок глинястого матеріалу, захопленого і перенесеного льодовиками і відкладеного при їх таненні. Містять багато домішок, а через це мають низьку вогнетривкість.

4. Водно-льодовикові (флювіогляціальні) – виникають у результаті руху потоків талих льодовикових вод і відкладення в озерних западинах.

5. Вулканогенно-осадові – виникають шляхом підводного розкладання вулканічних попелів і туфів у морях чи озерах. В умовах лужного середовища багаті на скло вулканічні породи перетворюються на такі глинясті мінерали як монтморилоніт та бейделіт, утворюються великі скупчення цінних бентонітових глин.

6. Гідротермальні – виникають під час дії гарячих рідких розчинів магматичного походження на різні вулканогенні породи – андезити, порфірити, туфи. Утворюються глинясті породи моно- або полімінерального складу.

7. Метаморфогенні – представлені скупченнями кам'янистих непластичних глинястих порід – аргілітів і глинястих сланців. Утворюються в результаті ущільнення, дегідратації, цементації та неповної перекристалізації глинястих осадів на початковій стадії метаморфізму глин.

Глинясті мінерали є представниками групи шаруватих силікатів. У основі будови більшості з них лежать два структурних елементи [13]. Перший – глиноземний елемент – складається із двох шарів щільно упакованих атомів кисню або гідроксильних груп, між якими на однаковій відстані в октаедричній координації розташовуються атоми алюмінію. Ці шари мають склад $Al(OH)_6$. Другий елемент складається із кремнекисневих тетрадрів, у яких атом кремнію рівновіддалений від чотирьох атомів кисню або гідроксильних груп. Це кремнеземний шар $[SiO_4]$.

Формувальні глини поділяють на три основні класи [1, 6]:

1. Бентонітові – основним мінералом у них є монтморилоніт (від 30% до 90%).

2. Каолінові – основним мінералом є каолініт.

3. Полімінеральні – основним є інший глинястий мінерал, або жоден із глинястих мінералів не переважає за відсотковим складом.

Основними мінералами у складі формувальних глин є:

1. Монтморилоніт $Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot nH_2O$ – основа бентонітових глин. При додаванні води здатний поглинати її певну кількість. Ця вода розміщується між шарами кристалічної ґратки, внаслідок чого об'єм мінералу збільшується у 10...15 разів.

2. Каолініт $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ – основа каолінових глин. Мінерал білого кольору, густина 2600 кг/м^3 . Температура плавлення $1790 \text{ }^\circ\text{C}$.

3. Сапоніт $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$; бейделіт $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$; нонтроніт $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ – побічні мінерали у складі бентонітових глин.

4. Палигорськіт $\text{Mg}_{2,5}(\text{H}_2\text{O})_2(\text{OH})[\text{Si}_4\text{O}_{10}] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ – мінерал білого або світло-сірого кольору з густиною 2300 кг/м^3 . Має високу зв'язувальну здатність, порівняну з монтморилонітом. Може складати основу полімінеральної глини.

5. Глауконіт $\text{K}(\text{Fe}^{3+}, \text{Al}, \text{Fe}^{2+}, \text{Mg})_2[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}](\text{OH})_2(\cdot n\text{H}_2\text{O})$ – зелений мінерал (від світло-зеленого і зеленувато-жовтого до зелено-чорного). Густина $2200 \dots 2900 \text{ кг/м}^3$. Може складати основу полімінеральної глини.

Серед шкідливих домішок найчастіше зустрічаються [6, 9]:

1. $\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$ – ортоклаз (калієвий польовий шпат). Температура плавлення $1170 \text{ }^\circ\text{C}$.

2. $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$ – альбіт (натрієвий польовий шпат). Температура плавлення приблизно $1200 \text{ }^\circ\text{C}$.

3. $\text{K}_2\text{O} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ – слюда (мусковіт). Температура плавлення $1150 \dots 1400 \text{ }^\circ\text{C}$. Відноситься до класу глинистих мінералів, але не має зв'язувальної здатності.

4. Гідрати оксидів заліза $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$.

5. Пірит FeS .

6. Кальцит CaCO_3 (розкладається при $885 \text{ }^\circ\text{C}$).

7. Магнезит MgCO_3 (розкладається при $525 \text{ }^\circ\text{C}$).

Перелічені домішки знижують вогнетривкість глини, сприяють утворенню пригару, погіршують вибиваємість сумішей. Деякі із них виділяють газоподібні продукти при нагріванні.

Об'єктивним параметром якісної оцінки глини у формувальних сумішах є поняття «активна глина», під яким розуміють вміст у суміші виключно глинястих мінералів, які мають зв'язувальну здатність [6].

Вміст активної глини у формувальних сумішах визначають методом титрування водної витяжки із суміші додаванням 2%-го розчину $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$. Титрування проводять метиленовим блакитним реактивом до одержання синьо-зеленого ореола навколо краплі розчину на фільтрувальному папері. За кількістю витраченого метиленового блакитного реактиву визначають вміст активної глини.

4.2.2. Зв'язувальна здатність глин

Зв'язувальна здатність глин виражається у двох основних параметрах:

1. Схильність до водопоглинення та набухання. Ця схильність, у свою чергу, залежить від:

- будови (типу) кристалічної ґратки;
- міжшарової відстані у кристалічній ґратці.

2. Схильність до іонного обміну. Вона залежить від:

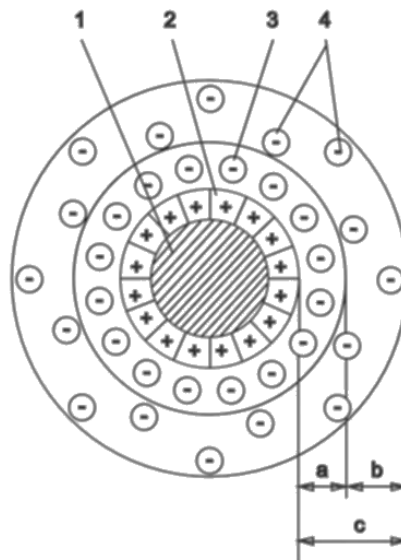
- наявності у кристалічній ґратці іонів активних металів (Na, K, Ca, Mg);
- невривноваженості заряду кристалічної ґратки.

Набухання – це збільшення об'єму глинястого матеріалу після додавання води. Особливості та характер цього процесу зумовлено наступними колоїдно-хімічними властивостями:

1) Гідрофільність – це здатність дисперсної фази зв'язувати воду молекулярними силами [13]. Зв'язок молекул води із іоном OH^- або кремнекисневими групами, які утворюють поверхневий шар глинястих часток, здійснюється за допомогою водневих зв'язків.

У воді зерна глинястих мінералів утворюють колоїдні частинки. Кожна така частинка складається з ядра і кількох (або багатьох) молекул, оточених іонами розчину. Усе це разом створює так звану гранулу (рис. 4.1).

Заряд колоїдної частинки (+) зрівноважений зарядом протилежного знака (-), і колоїдний розчин стає електронейтральним (створюється подвійний електричний шар). Частина іонів, які міцніше утримуються ядром, називається адсорбційним шаром, більш віддалений шар іонів – дифузним.



1 – ядро; 2 – іони; 3 – протіони; 4 – рухливі протіони

Рисунок 4.1 – Схема глинястої гранули: а – адсорбційний шар; б – дифузний шар; с – подвійний електричний шар

2) Дисперсність. Глинясті частки, перебуваючи в колоїдному стані, являють собою високодисперсні кристали розміром менше 0,5...1,0 мкм. У

глинах також містяться пилоподібні фракції (із зернами розміром 5,0...50,0 мкм) і піщані (від 50 мкм до 3 мм) [14].

3) Сорбційна активність. Молекули води проникають по мікротріщинах у глибину зерен, розсувають поверхневі тріщини і сприяють розпаду агрегатів. Оболонки адсорбованої води призводять до значного збільшення об'єму, внаслідок чого глина набухає і перетворюється на желеподібну масу, близьку до типових колоїдних структур.

Кристалічна ґратка монтморилоніту (рис. 4.2, а) складається із двох кремнеземних шарів і розташованого між ними глиноземного шару. Така структура здатна до активного водопоглинення (залучення молекул води у міжшарові проміжки). Кристалічна ґратка каолініту складається із одного кремнеземного і одного глиноземного шарів (рис. 4.2, б). Міцний зв'язок шарів у кристалах каолініту за допомогою водневих зв'язків ускладнює можливість проникнення дисперсійного середовища (води) у міжплощинний простір. Молекули води можуть лише адсорбуватись на поверхні із ОН-груп.

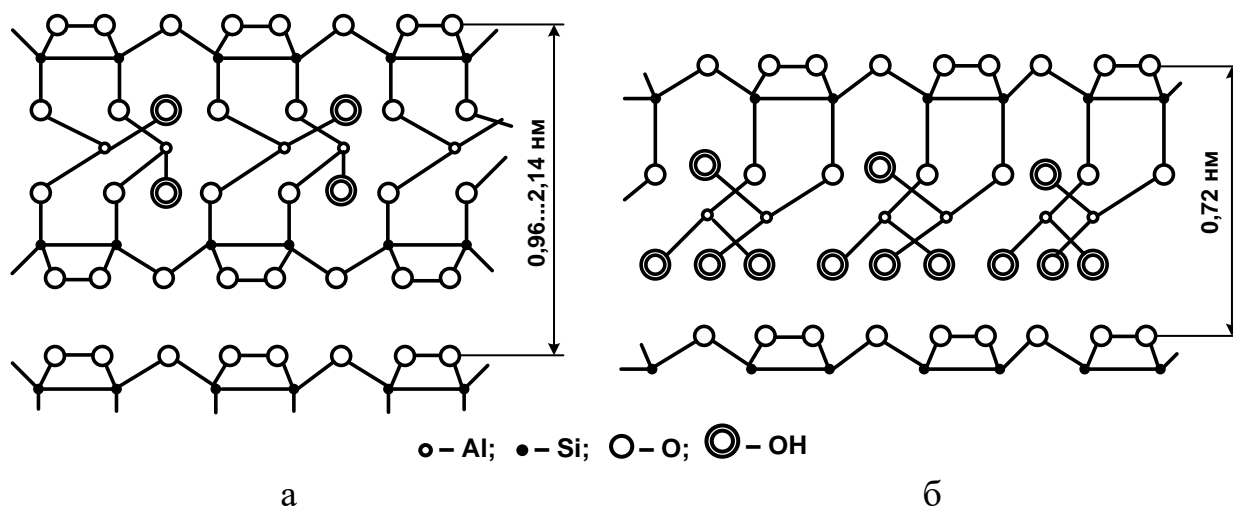


Рисунок 4.2 – Схеми будови кристалічних ґраток монтморилоніту (а) і каолініту (б)

Міжшарова відстань у ґратці монтморилоніту 0,96 нм, а у каолініту 0,72 нм. Це є другим фактором, який погіршує здатність до водопоглинення каолінових глин. Внаслідок активного поглинення води міжшарова відстань монтморилоніту збільшується у три рази – до 2,14 нм, а частинка глини при цьому збільшується в об'ємі у 10...15 разів [6].

Іонний обмін – здатність поглинати іони з водного середовища і віддавати йому раніше поглинені іони.

Здатність до іонного обміну визначається мінералогічним складом глин, їх дисперсністю та концентрацією іонів у водному середовищі, і

впливає на набухання та в'язкість глинястої маси, пластичність, текучість, міцність та інші властивості формувальних сумішей [6, 13].

У природному стані на поверхні глинястих мінералів найчастіше адсорбуються такі катіони, як H^+ , Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , K^+ .

Наявність іонів лужних і лужноземельних металів характерна для кристалічної ґратки монтморилоніту. Бентоніт, який містить більшість іонів Ca і Mg , називають природним кальцієвим. Той, який містить іони Na і K , називають природним натрієвим. Розмір катіонів Na і K більший за розмір Ca і Mg , тому наявність таких іонів призводить до деформації кристалічної ґратки, збільшення міжшарової відстані і, як наслідок, покращення зв'язувальної здатності [1, 6].

Натрієві бентоніти є більш дисперсними, мають більшу питому поверхню, більше водопоглинення та забезпечують високу міцність сумішей у зоні конденсації води. Кальцієві бентоніти забезпечують більшу загальну міцність суміші.

Наявність у кристалічній ґратці іонів Na , Ca , Mg та інших призводить до утворення **неврівноваженого заряду** ґратки, який врівноважується адсорбованими катіонами.

Мінерали каолінітової групи проявляють іонообмінну здатність тільки внаслідок заміщення іону водню у групі OH . Для каолініту нехарактерні ізоморфні заміщення, що пояснюється жорсткістю його кристалічної ґратки.

Отже, бентонітові глини через підвищену здатність до водопоглинення та іонного обміну, а внаслідок цього – до набухання, забезпечують високу міцність сумішей у сирому стані.

Гідрофільні і зв'язувальні властивості глинястих мінералів можна підвищити при їх додатковому диспергуванні, відпалі, кислотній активації або ж заміщенні визначеними обмінними катіонами.

Найбільш дієвим способом покращення зв'язувальної здатності глини є активація. **Активація** – це зміна кристалічної ґратки глини з метою введення у неї потрібних обмінних іонів з метою підвищення дисперсності, схильності до набухання, водопоглинення і, як наслідок, зв'язувальної здатності. З цією метою до глини додають, як правило, солі натрію: Na_2CO_3 , Na_3PO_4 , $Na_4P_2O_7$ та інші, у результаті чого іони кальцію у кристалічній ґратці заміщуються на більш активні іони натрію [1].

Натрієві солі додають на етапі попереднього змішування глини з водою (приготування бентонітової пасти або суспензії) або вже на етапі приготування формувальної суміші безпосередньо у змішувач.

4.2.3. Перетворення глин при нагріванні

При нагріванні волога видаляється, і глинясті оболонки в суміші переходять із пластичного (м'якого) стану у твердий, тим самим значно збільшуючи міцність системи. Але для бентонітових глин процес висушування спостерігається значною усадкою, і через це кінцева міцність менша у порівнянні з каоліновою глиною [9].

Із бентонітових глин при 100 °С видаляється вільна волога (вода, не залучена у міжшаровий простір).

При 120...180 °С видаляється міжшарова (міжпакетна) вода, при цьому відбувається значна усадка глини з виникненням напружень у зв'язувальних плівках.

При 350...500 °С видаляється кристалогідратна вода, після чого монтморилоніт втрачає зв'язувальну здатність.

При 735...850 °С руйнується кристалічна ґратка, глина перетворюється на муліт або шамот.

Із каолінових глин при 100 °С видаляється вільна волога. Міжшарової води майже немає.

При 570 °С глина втрачає кристалогідратну воду, а при 700 °С перетворюється на метакаолініт, втрачаючи зв'язувальну здатність.

При 1200 °С руйнується кристалічна ґратка, утворюється муліт.

Отже, аналіз перетворень дає змогу встановити, що каолінова глина є стабільнішою при нагріванні. По-перше, її усадка при висушуванні значно менша. Тому для сухих піщано-глинястих форм застосовують саме каолінову глину. По-друге, вона може нагріватись до більш високих температур, зберігаючи зв'язувальну здатність. І по-третє – стабільність кристалічної ґратки дає змогу їй існувати до 1200 °С, що не притаманно монтморилоніту. Таким чином, ця глина є більш придатною для сталевих литва.

Форми, виготовлені з піщано-бентонітових сумішей, використовують для формовки по-сирому. Форми з піщано-каолінової суміші сушать при температурах 200...350 °С.

4.2.4. Класифікація формувальних глин

Марка формувальних глин складається із декількох основних характеристик, кожна з яких має умовне позначення (рис. 4.3), як і для

формувальних пісків. Відмінність заключається в тому, що для каолінових і полімінеральних глин у марці наявна літера К або П, яка характеризує їх приналежність до цього класу. У марці бентонітових глин літера Б відсутня [9].

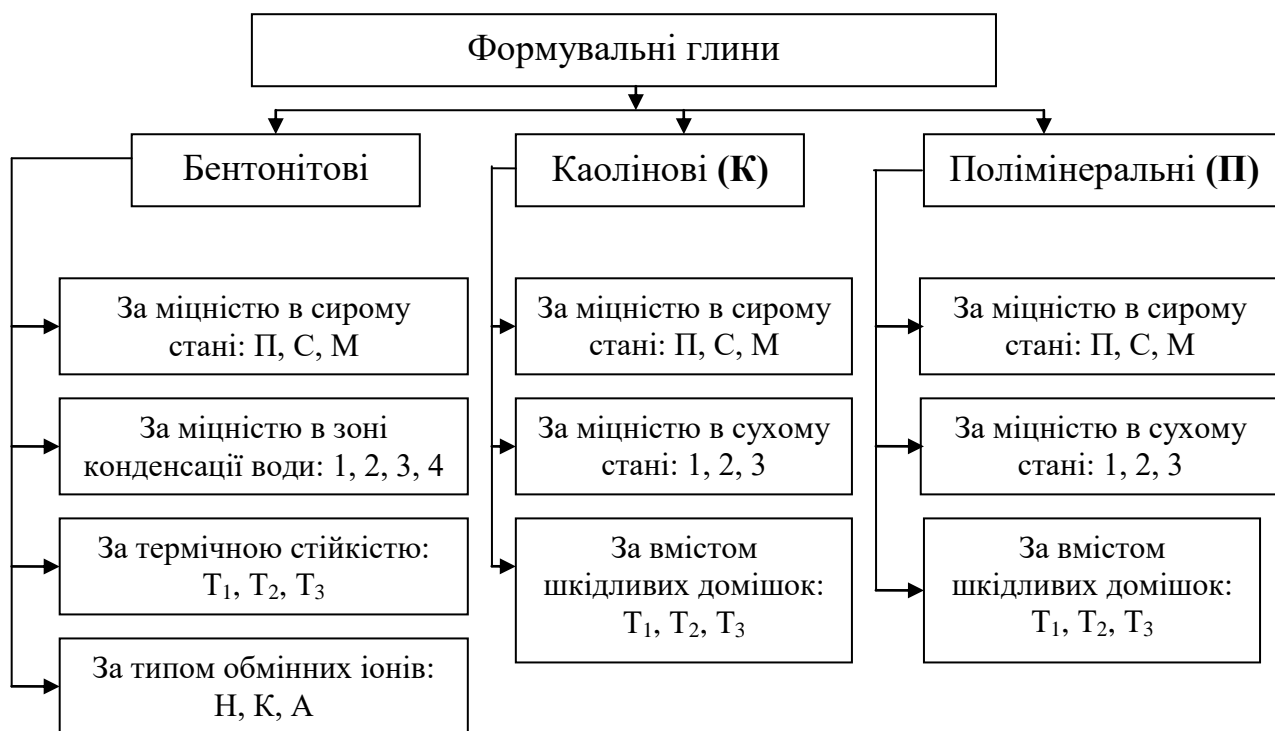


Рисунок 4.3 – Класифікація формувальних глин

4.2.4.1. Бентонітові глини

Їх використовують для формування по-сирому, у тому числі на автоматичних лініях. Згідно ГОСТ 28177-89, бентонітові глини поділяють на групи залежно від міцності у вологому стані (табл. 4.3), міцності у зоні конденсації води (табл. 4.4) і термічної стійкості (табл. 4.5).

Таблиця 4.3 – Класифікація глин за міцністю у вологому стані

Ознака класифікації	Позначення	Межа міцності при стисканні, кПа, не менше
Міцнозв'язувальна	П	90
Середньозв'язувальна	С	70
Слабкозв'язувальна	М	50

Примітка. Позначення «П» – від російського «прочносвязующая», «С» – «среднесвязующая», «М» – малосвязующая.

Міцність бентонітових глин визначають на формувальній суміші наступного складу: 95% кварцового піску, 5% бентоніту і 6,5...7,0% води.

Таблиця 4.4 – Класифікація глин за міцністю в зоні конденсації води

Ознака класифікації	Позначення	Межа міцності при розриванні у зоні конденсації води, кПа, не менше
Високозв'язувальна	1	2,8
Зв'язувальна	2	2,0
Середньозв'язувальна	3	1,5
Слабкозв'язувальна	4	не регламентується

Термічну стійкість визначають наступним чином. Суміш із бентонітовою глиною після приготування і вимірювання міцності при стисканні у сирому стані піддають прожарюванню при 550 °С. Після цього до прожареної суміші додають воду у необхідній кількості, знову виготовляють зразки і вимірюють міцність при стисканні. Коефіцієнт термічної стійкості, од. [9]:

$$T = \frac{\sigma_{550}}{\sigma_0},$$

де σ_{550} – міцність при стисканні суміші, яку було прожарено при 550 °С;
 σ_0 – міцність при стисканні свіжої суміші.

Чим стійкіша кристалічна ґратка монтморилоніту, тим менше глина втрачає зв'язувальну здатність після прожарювання.

Таблиця 4.5 – Класифікація глин за термічною стійкістю

Ознака класифікації	Позначення	Термічна стійкість, одиниць, не менше
Високостійка	T ₁	0,6
Середньостійка	T ₂	0,3
Низькостійка	T ₃	не регламентується

Позначення марки бентонітової глини складається з трьох наведених вище ознак і однієї додаткової (за необхідністю):

- межа міцності при стисканні у вологому стані;
- межа міцності при розриванні в зоні конденсації води;
- термічна стійкість;
- також включає літеру: А – для порошкових активованих глин, Н – для натрієвих природних глин, К – для кальцієвих природних глин.

Наприклад, глина P₂T₃A – міцнозв'язувальна у вологому стані, зв'язувальна за міцністю у зоні конденсації води, низькостійка, порошкова активована.

У ГОСТ 28177-89 також є класифікація бентонітових глин залежно від хіміко-мінералогічних ознак, які не входять до позначення їх марки (табл. 4.6).

Таблиця 4.6 – Класифікація бентонітових глин залежно від хіміко-мінералогічних показників

Ознаки класифікації	Значення
1. Масова частка монтморилоніту, %: висока середня низька	> 70 50...70 30...50
2. Концентрація обмінних катіонів, мг-екв на 100 г сухої глини: висока середня низька	> 80 50...80 30...50
3. Масова частка карбонатів (у перерахунку на CaCO ₃), %: низька середня висока	< 2 2...5 5...10
4. Масова частка сульфідної сірки, %: низька висока	< 0,2 0,2...0,3
5. Масова частка заліза (у перерахунку на Fe ₂ O ₃), %: низька середня висока	< 4 4...8 8...12
6. Колоїдальність, %: висока середня низька	>80 40...80 10...40
7. Водопоглинення, одиниць: високе середнє низьке	>6,6 5,1...6,5 1,5...5,0
8. За гранулометричним складом і вологістю для порошкоподібного бентоніту. Залишок, %, на ситах: 04 016 Вологість, %	< 3 >10 6...10

Збільшення масової частки монтморилоніту покращує зв'язувальну здатність глини.

Збільшення концентрації обмінних катіонів сприяє іонному обміну і також покращує зв'язувальну здатність. Загальна кількість іонів, які

містяться у глинах і здатні до обміну, називається ємністю поглинання або ємністю основного обміну, визначається кількістю іонів (катіонів) у міліграм-еквівалентах (мг-екв), що припадають на 100 г сухої глини.

Наявність карбонатів, сульфідної сірки та заліза сприяє зниженню вогнетривкості, утворенню пригару, а також підвищенню газотвірності суміші. Вміст цих домішок має бути мінімальним.

Колоїдальність – відсоток частинок глини, які мають колоїдальні розміри (менше 10 мкм). Чим більше таких частинок, тим більша питома поверхня глини (вона може досягати 215 м²/г), і більша зв'язувальна здатність. Колоїдальність глин (%) визначається за відношенням висоти осаду глини до загальної висоти глинястої суспензії (осаду та води).

Водопоглинення визначається кількістю води (на одиницю маси глини), необхідної для переходу системи глина – вода із пасти в суспензію. Чим більше водопоглинення, тим краще набухання і більша зв'язувальна здатність.

4.2.4.2. Каолінові та полімінеральні глини

Залежно від міцності при стисканні формувальної суміші (10% глини, 90% піску 1К₂О₁02 і 2,5...4,0% води відповідно до виду глини) у сирому стані глини поділяють на три групи (табл. 4.7).

Таблиця 4.7 – Класифікація глин за міцністю в сирому стані

Група	Позначення	Межа міцності при стисканні, МПа, не менше
Міцнозв'язувальна	П	0,10
Середньозв'язувальна	С	0,08
Слабкозв'язувальна	М	0,05

Примітка. Позначення «П» – від російського «прочносвязующая», «С» – «среднесвязующая», «М» – малосвязующая.

Залежно від міцності при стисканні у сухому стані (після сушіння при 180...200 °С) формувальної суміші (5% глини, 95% піску і 6,5...8,0% води до оптимальної вологості) глини поділяються на три підгрупи (табл. 4.8).

Таблиця 4.8 – Класифікація глин за міцністю у сухому стані

Група	Позначення	Межа міцності при стисканні, МПа, не менше
Міцнозв'язувальна	1	0,45
Середньозв'язувальна	2	0,30

Слабкозв'язувальна	3	0,20
--------------------	---	------

За вмістом шкідливих домішок FeS, Fe₂O₃, Na₂O + K₂O, CaO + MgO глини поділяють на кілька груп (табл. 4.9). Домішки знижують вогнетривкість глин. Чим їх більше, тим вогнетривкість глин нижча.

Таблиця 4.9 – Класифікація глин за вмістом шкідливих домішок

Група	Позначення	Вмістом домішок, %, не більше		
		Fe ₂ O ₃	Na ₂ O+K ₂ O	CaO+MgO
З низьким вмістом домішок	T ₁	2,5	1,5	2,0
З середнім вмістом	T ₂	4,5	3,0	5,0
З високим вмістом	T ₃	8,0	5,0	8,0

При маркуванні глини вказують її параметри у такій послідовності:

- вид глини (К або П);
- група за міцністю у сирому стані (П, С, М);
- група за міцністю у сухому стані (1, 2, 3);
- група за вмістом шкідливих домішок (T₁, T₂, T₃).

Наприклад, глина КПТ₂ – каолінова, міцнозв'язувальна у вологому стані, міцнозв'язувальна у сухому стані і за вмістом шкідливих домішок належить до другої групи. Глина ППТ₁ – полімінеральна, міцнозв'язувальна у вологому стані, середньозв'язувальна в сухому стані, з низьким вмістом домішок.

Є також ряд класифікацій каолінових та полімінеральних глин залежно від хіміко-мінералогічних ознак, які не входять у позначення їх марки (табл. 4.10).

Таблиця 4.10 – Класифікація каолінових і полімінеральних глин залежно від хіміко-мінералогічних показників

Ознаки класифікації	Значення
1. Концентрація обмінних катіонів, мг-екв на 100 г сухої глини:	
висока	> 35
середня	> 20
низька	не нормується
2. Число пластичності, од., не менше:	
високопластична	30
середньопластична	20
помірнопластична	10
низькопластична	не нормується
3. Колоїдальність, %, не менше:	
висока (В)	60
середня (С)	30
низька (Н)	не нормується

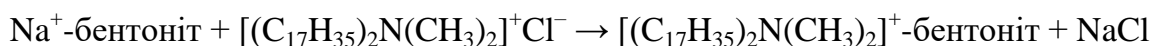
Чим більша кількість обмінних катіонів і вища колоїдальність, тим більша міцність формувальної суміші у сирому стані.

Пластичність – це здатність глинястої маси деформуватися під впливом зовнішньої дії і зберігати форму після припинення дії. Глиняста маса переходить із одного стану в інший лише при певній вологості. Межа розкачування – це вологість (%) переходу із твердого стану в пластичний і навпаки, а межа текучості – вологість (%) переходу в текучий стан. За різницею меж розкачування і текучості визначають число пластичності глин. Визначення цих характеристик здійснюють за ГОСТ 21216.1 – 75.

4.2.5. Органофільні бентоніти

У 60-ті роки ХХ ст. почали виготовляти орґанофільний бентоніт [1, 6].

Це глинястий ЗК, отриманий із природного натрієвого або кальцієвого бентоніту шляхом активації його органічною речовиною алкілбензилдиметиламонійхлоридом. Внаслідок цього оброблення катіони натрію або кальцію кристалічної ґратки монтморилоніту заміщаються на органічні радикали:



Бентоніт втрачає здатність набухати у воді, а набухає у мастилі чи іншій органічній рідині. Формувальні суміші з орґанофільним бентонітом відзначаються більшою міцністю, ніж суміші із звичайним гідрофільним бентонітом.

У суміш вводять 5...6% орґанофільного бентоніту, 3...4% машинного масла і 0,5% прискорювача зміцнення (метилового, етилового чи ізопропілового спирту). Міцність при стисканні у сирому стані 0,06...0,10 МПа [9].

Формувальні суміші з орґанофільним бентонітом використовують для одержання виливків, які зазнають значних термічних навантажень. При використанні таких сумішей чавунні виливки мають чисту поверхню без ужимин.

При виготовленні виливків із магнієвих сплавів суміш із цим ЗК не потребує введення добавок для призупинення запалення сплаву, тому що у порожнині форми створюється відновлювальна атмосфера.

4.2.6. Переваги, недоліки і область використання глини

Глини застосовують у формувальних сумішах по-сирому та по-сухому для сталевих, чавунних виливків і виливків із сплавів кольорових металів. Як стрижневі піщано-глинясті суміші не використовують [1, 6].

Склад і властивості піщано-бентонітових і піщано-глинястих сумішей наведено в додатку А. Загальну характеристику глини як зв'язувального компонента наведено у табл. 4.11.

Таблиця 4.11 – Переваги і недоліки піщано-глинястих сумішей

Індекс	Назва характеристики	Умовне позначення*		
		сирі ПГС	сухі ПГС	суміші з органофільним бентонітом
1	Питома міцність	↓↓	↓↓	↓↓
2	Технологічні властивості	↑	↑	↑↑
3	Термін зміцнення	несамотвердні		
4	Гігроскопічність	-	-	↑
5	Газопроникність	↓	-	↓
6	Газотвірність	↓↓	-	↓
7	Вогнетривкість	-	↑	-
8	Схильність до пригару	↓	↓	↓
9	Податливість	↓	↓	↓
10	Вибиваємість	↓	↓	↓
11	Придатність до повторного використання	↑↑	↑↑	↑↑
12	Недефіцитність	↑↑	↑↑	↑
13	Нетоксичність	↑↑	↑↑	-

Примітка. Переваги і недоліки сумішей викладені у відповідності до загальних вимог, сформульованих до зв'язувальних компонентів (п. 4.1). Значок ↑ показує перевагу даного ЗК над іншими, значок ↑↑ – значну перевагу. Прочерк показує нейтральну позицію, значок ↓ – недолік, а значок ↓↓ – значний недолік.

4.3. Синтетичні смоли

4.3.1. Склад і загальна характеристика

Синтетичні смоли – це органічні олігомери, які складаються з однакових або різних мономерних частин, застабілізовані на проміжній стадії полімеризації або поліконденсації.

Такі сполуки при дії на них зовнішніх факторів (температура, кислотність, наявність хімічних речовин) здатні до поліконденсації або полімеризації з утворенням твердого тіла (гелю).

Вважають, що при синтезі смол поліконденсація молекул протікає у три стадії [6]:

A (рідка смола) \leftrightarrow B (желатиноподібна смола, золь) \rightarrow C (тверда, гель)

Таким чином, суміші із смолами тверднуть при незворотній реакції переходу в стан C. Після поліконденсації утворюються об'ємні полімери. Основними видами хімічного зв'язку в їхній структурі є метилольні групи –CH₂OH– і метиленові містки –CH₂–. Побічними продуктами, як правило, є вода і формальдегід.

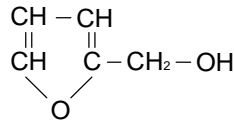
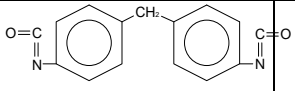
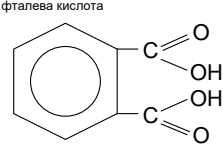
Першим смоляним ЗК, який з'явився у ливарному виробництві ще в 1946 р., була карбамідна водорозчинна смола М. Вона була призначена для отримання стрижнів 1 і 2 класу при тепловому зміцненні (210...240 °С). При 1,5...3,0% смоли М міцність при розриванні сухих зразків 0,7...2,0 МПа. Сьогодні існує велика кількість ЗК на основі смол, призначених в основному для холоднотвердних сумішей.

Для приготування смол використовують ряд широко відомих органічних сполук (табл. 4.12).

Таблиця 4.12 – Основні мономерні для синтезу смол [1]

Найменування	Хімічна формула	Структурна формула	Молекулярна маса, г/моль	Густина, кг/м ³	Агрегатний стан при 20 °С
Карбамід (сечовина, діамін оцтової кислоти) ГОСТ 2081-92	(NH ₂) ₂ CO	$\begin{array}{c} \text{NH}_2 - \text{C} - \text{NH}_2 \\ \\ \text{O} \end{array}$	60,05	1335	Твердий
Фенол (гідроксибензол, карболова кислота) ГОСТ 23519-93	C ₆ H ₅ OH		94,12	1058	Твердий

Продовження табл. 4.12

Формальдегід (мурав'їний альдегід)	CH_2O	$\text{H}-\text{C} \begin{array}{l} \text{// O} \\ \text{\ } \text{H} \end{array}$	30,03	815 (при -20°C)	Газ ¹⁾
Фуриловий спирт (фурфурол) ГОСТ 28960-91	$\text{C}_5\text{H}_6\text{O}_2$		98,11	1130	Рідина
Ізоціанат (дифенілметан-4,4'-диізоціанат)	$\text{C}_{15}\text{H}_{10}\text{N}_2\text{O}_2$		250,25	1230	Твердий
Фталева кислота	$\text{C}_8\text{H}_6\text{O}_4$		166,14	1593	Твердий
Гліцерин	$\text{C}_3\text{H}_5(\text{OH})_3$	$\begin{array}{c} \text{CH}_2 - \text{OH} \\ \\ \text{CH} - \text{OH} \\ \\ \text{CH}_2 - \text{OH} \end{array}$	92,1	1261	Рідина
Епоксидний мономер	$\text{C}_2\text{H}_3\text{O}$	$\begin{array}{c} \text{CH}_2 - \text{CH} \\ \diagdown \quad / \\ \text{O} \end{array}$			
Етилсилікат	$\text{Si}(\text{C}_2\text{H}_5\text{O})_4$	$\begin{array}{c} \text{C}_2\text{H}_5 \\ \\ \text{O} \\ \\ \text{C}_2\text{H}_5 - \text{O} - \text{Si} - \text{O} - \text{C}_2\text{H}_5 \\ \\ \text{O} \\ \\ \text{C}_2\text{H}_5 \end{array}$			Рідина
Вініловий мономер	$\text{C}_2\text{H}_4\text{O}$	$\begin{array}{c} \text{CH}_2 = \text{CH} \\ \\ \text{OH} \end{array}$	44,0	1250	Твердий ²⁾

Примітки:

1. Формальдегід використовують у вигляді 37...50%-го водного розчину з 5...11% метанолу як стабілізатора, який називається технічним формаліном ГОСТ1625-89.

2. Вініловий мономер використовують у вигляді 5...10%-го водного розчину, який називається полівініловим спиртом (ПВС).

4.3.2. Різновиди синтетичних смол

Смоли складаються із одного або декількох мономерів. Наприклад, синтетичний продукт із карбаміду та формальдегіду називається карбамідо-формальдегідною смолою (спрощена назва – карбамідна). Продукт із карбаміду, формальдегіду та фенолу – карбамідо-фенольна. Смола із фенолу

та формальдегіду – фенол-формальдегідна і т. д. Основні поширені в ливарній практиці види смол представлено в табл. 4.13 [1, 6].

Таблиця 4.13 – Синтетичні смоли і область їх застосування

Клас	Мономери для синтезу	Затверджувач (каталізатор)	Коксове число, %	Вміст азоту, % мас.	Область застосування
Карбамідні	Карбамід, формальдегід	H_3PO_4	<10	20...24	Кольорові сплави
Карбамідо-фенольні	Карбамід, формальдегід, фенол	H_3PO_4	10...15	15...20	Кольорові сплави, сірий чавун
Карбамідо-фуранові	Карбамід, формальдегід +20...30% фурфуролу	H_3PO_4	22,5...32,5	15...18	Кольорові сплави, сірий чавун
	Те ж +30...40% фурфуролу	H_3PO_4	32,5...40	12...15	Сірий чавун
	Те ж +40...60% фурфуролу	H_3PO_4	40...45	8...12	Сірий, ковкий та низьколегований чавун
	Те ж +60...80% фурфуролу	H_3PO_4 , БСК ¹⁾ , ПТСК ²⁾	45...47	3...8	
	Те ж + понад 80% фурфуролу	БСК, ПТСК	47...50	0,5...3,0	Високоміцний чавун, вуглецеві сталі
Карбамідо-фенол-формальдегідно-фуранові	Карбамід, фенол, формальдегід, фурфурол	H_3PO_4	45...50	1...3	Високоміцний чавун, вуглецеві сталі
Фенол-формальдегідні	Фенол, формальдегід	БСК, ПТСК	45...52,5	0	Вуглецеві і леговані сталі
Феноло-фуранові	Фенол, формальдегід, фурфурол	БСК, ПТСК	52,5...57,5	0	Вуглецеві і леговані сталі
Поліфуранові	Фуриловий спирт (фурфурол)	БСК, ПТСК	57,5...60,0	0	Вуглецеві і леговані сталі
		SO_2 (SO_2 -процес)	57,5...60,0	0	Чавун, вуглецеві сталі
Поліефірні, бензилефірні (Per-Set, Cold-Box-Amin)	Поліефір, полізоціанат	Аміни	20 ...30	0,5...1,0	Кольорові сплави, сірий чавун

Продовження табл. 4.13

Алкідні (Linocure)	Багатоатомні спирти, фталеві кислоти, самовисих. масла	Полізоціанат	<10	0,2...1,0	Вуглецеві та леговані сталі
Фенол-формальдегідні оцелочені (Alpha-Set, Beta-Set)	Фенол, формальдегід, гідроксид калію	Ефіри	45...52,5	0	Чавун, вуглецеві і леговані сталі
		CO ₂ (Resol-CO ₂ -Process)	45...52,5	0	
Фураново-етилсилікатні (ОФОС)	Фурфурол, етилсилікат	БСК, ПТСК		0	Кольорові сплави, сталь
Епоксидні (Ероху-SO ₂)	Епоксидна смола, гідропероксид	SO ₂		0	Кольорові сплави, сірий чавун
Акрилові, епоксиакрилові (Free-Radical)	Акрилова смола, гідропероксид	SO ₂		0	Чавун, вуглецеві і леговані сталі
Полівініловий спирт	Вініл	H ₃ BO ₃	<10	0	Кольорові сплави, сірий чавун

Примітки:

1. БСК – бензолсульфо кислота.
2. ПТСК – паратолуолсульфо кислота.

По мірі прогрівання смоли у затверженому стані спочатку газифікуються легколетючі компоненти (волога, мономери, в першу чергу формальдегід), після чого при 300...400 °С починається термічний розпад (термодеструкція), який супроводжується розривом метиленових зв'язків, виділенням газоподібних складових. У результаті можуть утворюватись коксові продукти, які мають загальну структуру циклічних полімерів і більш високу термічну стабільність. Таким чином, відбувається перетворення одних полімерів на інші, які мають набагато нижчу міцність, забезпечують податливість форми, але залишають за собою частину зв'язувальної здатності. І лише при температурах понад 650...700 °С коксова структура остаточно руйнується, і суміш знеміцнюється.

Тому смоли оцінюють за такою характеристикою як **КОКСОВИЙ залишок**. Це відносна масова доля смоли, яка переходить у коксоподібний

стан. Чим більше коксове число, тим вища термостійкість смоли. Очевидно, що коксова структура більш характерна для полімерів, які у зміцненому стані мають не лінійну, а циклічну структуру, тобто в першу чергу – фенольних та фуранових. Тому смоли з цими мономерами мають найвищу термостійкість.

Також однією із найважливіших характеристик смол є **вміст азоту**. Азот знаходиться у хімічно зв'язаному стані у вигляді амінних або поліуретанових груп, а після термодеструкції може перейти у метал вилівка. Відомо, що залізо є одним із металів, який добре розчиняє азот, особливо небезпечно це для сталевих виливків. Тому, на жаль, смоли із вмістом карбаміду або із використанням амінного затвердження для сталевих литва, незважаючи на інші переваги, не рекомендують.

Фенол-формальдегідні смоли поділяють на два різновиди: новолачні та резольні [6]. Новолачні смоли синтезують із фенолу та формальдегіду в масовому співвідношенні приблизно 1:1 у лужному середовищі. Вони термопластичні, тобто при нагріванні розм'якшуються, а при охолодженні затвердівають. Такі цикли можуть повторюватися декілька разів.

Резольні смоли синтезують у кислому середовищі з надлишком фенолу (2,0...2,5 мас. ч. фенолу на 1 мас. ч. формальдегіду). Такі смоли мають підвищену міцність і термостійкість. Вони є термореактивними: при нагріванні зміцнюються необоротно.

Окремі синтетичні смоли розроблено останнім часом і в Україні. Прикладом є олігофурилоксисилоксан (ОФОС). Це синтетична смола, продукт етерифікації етилсилікату-40 і фурфуролу, яка зміцнюється при додаванні сульфокислот. Суміші мають переваги у меншій токсичності, можливості багаторазового використання наповнювача та зниженні собівартості литва [15].

4.3.3. Модифікування синтетичних смол

Основною метою модифікування смол є різке підсилення їх адгезійного зв'язку з наповнювачем. Адгезійна міцність зчеплення смол із наповнювачем завжди менша за когезійну міцність плівок смоли, а тому резервом підвищення міцності сумішей є саме підвищення адгезії.

Для модифікування смол використовують добавки кремнійорганічних речовин – силанів – із загальною формулою $R - (CH_2)_n - Si(OR^*)_3$ у кількості 0,15...0,50% від маси смоли [1, 6].

Силан взаємодіє як із смолою, так і з поверхнею наповнювача, причому характер обох взаємодій є хімічним, а тому утворюються міцні зв'язки.

Схему хімічної взаємодії силану із смолою (на прикладі фенол-формальдегідної) і кварцовим піском наведено на рис. 4.4.

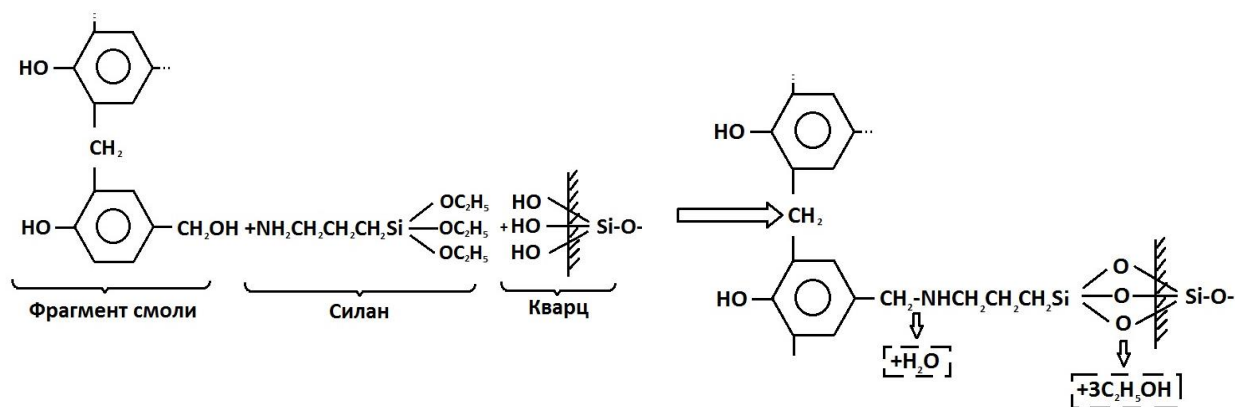


Рисунок 4.4 – Схема хімічної взаємодії силану із смолою та поверхнею кварцового наповнювача

Як видно, силанізована смола утворює міцний зв'язок із поверхнею кварцового наповнювача. Ефект зміцнення після силанізації характерний лише для тих смол, які мають у своєму складі циклічні або ароматичні групи, тобто для фенольних або фуранових. Ефективність модифікування смол основних видів наведено у табл. 4.14.

Таблиця 4.14 – Ефективність силанізації синтетичних смол [1]

Клас	Марки-представники	Ефект зміцнення ХТС, %	Примітки
Карбамідні	КФ-Ж, М-3, ВК-1	0	Не силанізують
Карбамідо-фенольні	КФФ-Л	10...20	Силанізацію не проводять через незначний ефект
Карбамідо-фуранові з вмістом фурфуролу до 30%	БС-40	10...20	
Карбамідо-фуранові з вмістом фурфуролу до 60%	КФ-35, КФ-40,	40...50	Силанізують на хімічному заводі-виробнику
Карбамідо-фуранові з вмістом фурфуролу >60%	КФ-90	50...100	
Карбамідо-фенол-формальдегідно-фуранові	КФ-65С, Фуритол	80...120	Силанізують у ливарних цехах через незначну тривалість ефекту (3...4 доби)
Фенол-формальдегідні	ОФ-1, СФ-3042	100...150	
Феноло-фуранові	ФФ-65С, ФФ-1Ф, ФФ-1СМ	>100	Силанізують на хімічному заводі-виробнику
Поліфуранові	ПФС	>100	

4.3.4. Холоднотвердні суміші із синтетичними смолами

У сучасних ливарних цехах ці суміші мають найбільше поширення для виготовлення стрижнів і частково форм. На їх основі розроблено і впроваджено прогресивні процеси, кожен із яких має свою комерційну назву:

1. **Per-Set-процес** засновано на використанні комплексного зв'язувального компонента із двох органічних складових. Перша складова ЗК – це поліспирт. Друга складова – полізоціанат (лінійний або ароматичний олігомер з ціанистими групами NCO). Хімічна будова двох складових зв'язувального компонента близька, а масове співвідношення 1:1. Найбільш поширеним є у складі цього ЗК дифенілметан-4,4'-диізоціанат.

Прикладами таких ЗК є бензилефірна смола, або ж менш термостійка поліефірна смола, залежно від сплаву, який заливають.

Каталізаторами зміцнення є рідкі аміни з максимально високою температурою кипіння (від 150 до 350 °С) і рН = 7...11. Усі ці аміни є похідними піридину.

Приготування суміші здійснюють у наступній послідовності. Рідкий амінний каталізатор додають до першого компонента зв'язувальної системи (тобто до поліспирту) у кількості 2...3% від його маси. Після цього додають утворену композицію до наповнювача, а далі вже у змішувач додають поліізоціанат.

Переваги Per-Set-процесу:

- високі технологічні властивості сумішей;
- швидке зміцнення;
- достатня живучість суміші;
- одночасне зміцнення суміші по всьому об'єму стрижня;
- найбільша питома міцність із усіх зв'язувальних компонентів;
- відмінна вибиваємість.

Недоліки процесу:

- дуже висока чутливість до якості наповнювача (вміст глинястої складової та вологість);
- низька (не більше 400 °С) термостійкість;
- токсичність через виділення парів аміну та ціанідів в атмосферу.

Область застосування зумовлена складом і властивостями суміші: стрижні для виливків із алюмінієвих сплавів і сірого чавуну. На сьогодні технологія Per-Set у ливарних цехах не розповсюджена.

2. **Linocure-процес:** зв'язувальним компонентом є алкідна смола, яка складається із фталевої кислоти, багатоатомного спирту та самовисихаючого масла [1].

Затверджувачем є поліізоціанат, такий самий, який входить до складу зв'язувального компонента Per-Set, у кількості 20...50% від маси смоли.

Додатково для прискорення зміцнення суміші можуть додавати каталізатори: нафтенати кобальту, міді, органічні гідропероксида або аміни.

Переваги Linocure-процесу:

- високі технологічні властивості сумішей;
- одночасне зміцнення суміші по всьому об'єму стрижня;
- невисока газотвірність (5 см³/г);
- невисокий вміст азоту в суміші;
- висока податливість суміші.

Недоліки процесу:

- висока чутливість до якості наповнювача (вміст глинястої складової та вологість);
- відносно повільне (1...4 год) зміцнення;
- невисока поверхнева міцність форми;
- токсичність через вміст поліізоціанатів;
- низька (не більше 400 °С) термостійкість.

Область застосування, через високу податливість суміші і попередження гарячих тріщин у виливках, – відповідальні тонкостінні виливки із вуглецевих і легованих сталей.

3. **Cold-Box-Amin-процес:** зв'язувальний компонент складається із двох частин і є таким самим, як у процесі Per-Set. Тут застосовуються виключно ароматичні сполуки (типу бензилефірної смоли). Масове співвідношення поліспирту та поліізоціанату 1:1.

На відміну від Per-Set-процесу, затверджувачем є не рідкий, а газоподібний амін. Це спрощує приготування суміші, підвищує її живучість, а головне – прискорює операцію зміцнення в окремих випадках до 10 с для крупних стрижнів та до 0,2 с для дрібних!!! Цей процес є основним для виготовлення усіх стрижнів у ливарних цехах.

Наповнювачами суміші, окрім кварцового, можуть бути хромітовий або цирконовий піски, а також піски, регенеровані після застосування у технологіях Cold-Box-Amin, Furan- і Hot-Box.

Використовують аміни з температурою кипіння від 3 до 90 °С (триметиламін, диметилетиламін, триетиламін, диметилізопропіламін).

Відразу після продування аміном стрижень набуває 60...70% кінцевої міцності, яка остаточно досягається все ж через 24 год.

Переваги Cold-Box-Amin-процесу:

– знижена витрата каталізатора (аміну) – 200...1500 г на 1 кг зміцненої суміші;

– живучість суміші 2...3 год;

– максимально швидке (до 1 хв) зміцнення по всьому об'єму стрижня;

– мінімальний вміст азоту в суміші.

Недоліки:

– низька (не більше 400 °С) термостійкість.

– токсичність зв'язувальних компонентів і затсурджувачів;

– висока чутливість до властивостей піску (глиняста складова не більше 0,6%; вологість не більше 0,2%; рН = 6,5...7,0; вміст домішок – до 0,3%);

– необхідність суворого чіткого дотримання параметрів процесу, що можливе лише при повній автоматизації виробництва.

Область використання – у масовому виробництві стрижнів масою від 1...2 кг до 300 кг (в т. ч. 1 класу складності), переважно для виготовлення чавунних виливків. Також використовується і для виливків із кольорових сплавів.

4. **Alpha-Set-процес** засновано на застосуванні фенол-формальдегідної смоли, переведеної у лужну форму обробленням розчином КОН. Для цього використовують резольну фенол-формальдегідну смолу, яка після оброблення лугом (у масовому співвідношенні 1:1) переходить у вигляд лужного поліфеноляту калію [1].

Затверджувачами такої смоли є складні ефіри (триацетат гліцерину, γ -бутиролактон, пропіленкарбонат або їх суміші) у кількості 25...30% від маси смоли. У лужному середовищі складні ефіри гідролізуються з утворенням спирту і кислоти. Ця кислота, у свою чергу, нейтралізується іоном калію, а фенолятні групи ОК перетворюються на гідроксильні ОН. При цьому фенол-формальдегідна смола починає полімеризуватись.

Швидкість зміцнення суміші від 3 до 30 хв, а у випадку використання інгібіторів – до 60 хв.

Наповнювачами суміші, окрім кварцового, можуть бути хромітовий, цирконовий, олівіновий пісок або шамотний порошок, а також піски, регенеровані після застосування у технологіях Alpha-Set, Beta-Set, Cold-Box-Amin і Hot-Box.

Переваги Alpha-Set-процесу:

- швидке зміцнення по всьому об'єму стрижня або форми;
- зменшений обсяг виділення токсичних речовин;
- відсутність азоту, сірки;
- висока термостійкість (700...750 °С).
- хороша податливість.
- менша чутливість до властивостей піску (в основному – вологості).

Недоліки:

- питома міцність менша, ніж у смол за Per-Set та Cold-Box-Amin-процесами;
- складний процес термічної регенерації суміші.

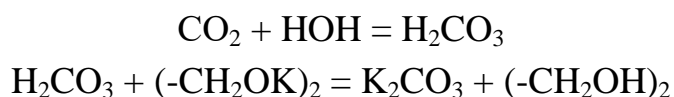
Область використання – стрижні для виливків із чавуну і сталей, а також форми для опочної і безопочної формовки. Поширення процесу стримується лише існуванням більш швидкісних технологій.

5. **Beta-Set-процес** використовує такий самий ЗК, як у Alpha-Set-процесі, тобто резольний поліфенолят калію. Замість рідких ефірів для зміцнення суміші використовують газоподібний ефір – метилформіат з температурою кипіння 32 °С.

Механізм зміцнення аналогічний Alpha-Set. Отже, переваги і недоліки цих процесів аналогічні. На відміну від Alpha-Set, забезпечується швидше зміцнення при зниженій витраті каталізатора, але додається токсичність самого метилформіату.

Область застосування – стрижні для виливків із чавуну і сталі у дрібносерійному та серійному виробництві.

6. **Resol-CO₂-процес (Fenoxu-CO₂-процес):** ЗК аналогічний Alpha-Set і Beta-Set, тобто резольний поліфенолят калію. Затверджувачем виступає вуглекислий газ (CO₂). При продуванні ним суміші утворюється вугільна кислота, яка нейтралізує фенолятні групи і сприяє полімеризації смоли [1]:



Поліфенолят калію, який застосовується у цій технології, відрізняється від попередньо описаних тим, що на його отримання застосовують більшу кількість КОН (2 мас. ч. на 1 мас. ч. смоли). В результаті він має рН = 14, на відміну від смоли для Alpha-Set (рН = 12...13).

Наповнювачами суміші, окрім кварцового, можуть бути хромітовий або цирконовий піски, а також піски, регенеровані після застосування у технологіях Resol-CO₂-, Beta-Set, Hot-Box.

Живучість суміші складає 4...6 год. Тривалість зміцнення при продуванні CO₂ складає 15...60 с.

Переваги Resol-CO₂-процесу:

- нетоксичність затверджувача;
- низька гігроскопічність суміші;
- відсутність азоту та сірки;
- невисока газотвірність;
- висока термостійкість (близько 700 °C).

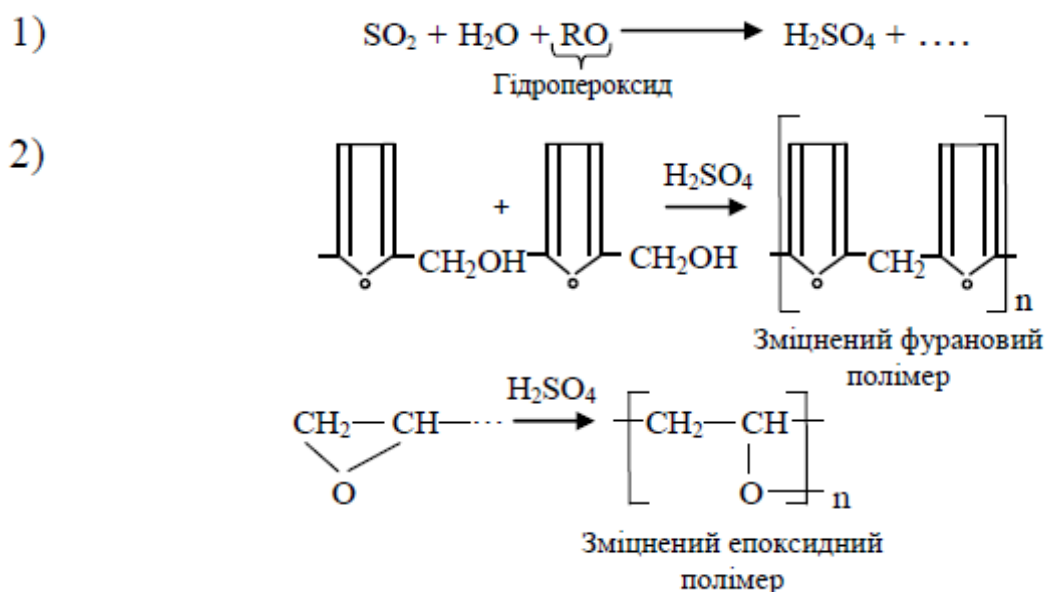
Недоліки процесу:

- відносно невисока питома міцність;
- складний процес термічної регенерації суміші;
- необхідність чіткого дотримання параметрів процесу, що можливе при повній автоматизації виробництва.

Використовують для стрижнів середньої складності масою до 150 кг, а також і для опочних форм для сталевого і чавунного литва.

7. **SO₂-процес:** зв'язувальним компонентом є поліфуранова або епоксидна смола, яка вводиться у суміш разом із рідкими гідропероксидами (пероксид етилметилкетона або гіпериз). Вміст гідропероксиду – 30...50% від маси смоли.

Затверджувач – газ SO₂. При продуванні суміші цим газом відбувається його взаємодія з гідропероксидом та утворення сірчаної кислоти H₂SO₄. Під її дією смола миттєво полімеризується [1]:



Продування триває 1...10 с.

Кислота із суміші не видаляється, і тому при заливанні форми виділяються токсичні речовини, а у металі можуть утворитись газові дефекти або відбутися насичення сіркою.

Залежно від смоли, яка використовується, є два різновиди SO₂-процесу: на фуранових смолах і Ероху-SO₂-процес. Останній майже витіснив процес на фуранових смолах через ряд переваг за міцністю, технологічними властивостями сумішей та меншою агресивністю до оснащення. Переважно використовують епоксикарилову силанізовану смолу.

Переваги SO₂-процесу:

- високі технологічні властивості суміші;
- висока живучість (24 год);
- краща податливість та вибиваємість, ніж за Cold-Box-Amin-процесом;
- відсутність азоту.

Недоліки:

- наявність залишкової сірки в суміші;
- пожежна небезпека гідропероксидів;
- корозійна активність суміші до оснащення через вміст сірчаної кислоти;
- токсичність та поганий запах SO₂;
- токсичність сумішей під час заливання форми металом через виділення сірководню, а також інших газів;
- невисока термостійкість суміші з епоксидною або епоксикариловою смолою (порядку 400 °C).

Незважаючи на ряд суттєвих недоліків, процес широко використовують для стрижнів у масовому виробництві для чавунного і кольорового литва, а в разі використання фуранової смоли – для сталевого литва. У порівнянні з найпоширенішим Cold-Box-Amin-процесом, поширення цієї технології приблизно в 10 разів менше.

8. **Free-Radical-процес** розроблено у 1983 р. Зв'язувальним компонентом є акрилова або епоксикарилова смола. До неї також додають гідропероксид, після чого продувають суміш SO₂. У даному випадку SO₂ не реагує із пероксидом, а являється каталізатором зміцнення, яке відбувається при безпосередній реакції смоли із пероксидом. Ця взаємодія можлива лише у середовищі SO₂, а тому суміш має дуже велику живучість. При продуванні каталізатором зміцнюється майже миттєво (тривалість продування 0,5...5,0 с).

На відміну від SO₂-процесу, сірчана кислота не утворюється, а тому суміш не є корозійно активною до оснащення, і при заливанні з неї виділяється менше токсичних газоподібних продуктів.

Переваги Free-Radical-процесу аналогічні перевагам SO₂-процесу.

Недоліків також менше:

- пожежна небезпека гідропероксидів;

- токсичність та поганий запах SO₂.
- невисока термостійкість суміші (порядку 400 °С).

Область використання – основний процес (після Cold-Box-Amin) у масовому виробництві стрижнів, у т. ч. для сталевих литва.

9. Furan-процес передбачає використання поліфуранових (отриманих поліконденсацією фурилового спирту) або фенол-формальдегідно-фуранових смол. Вони мають термічну стійкість 700...750 °С.

Затверджувачами є кислотні каталізatori: бензосульфо кислота (БСК), паратолуолсульфо кислота (ПТСК), ксиленсульфо кислота (КСК).

Наповнювачами суміші, окрім кварцового, можуть бути хромітовий або цирконовий піски, а також піски, регенеровані після застосування у технологіях Furan-, Cold-Box-Amin, Hot-Box.

Переваги Furan-процесу:

- висока міцність сумішей;
- збільшення обороту оснащення;
- достатня живучість сумішей (декілька годин);
- можливість отримання товстостінних чавунних і сталевих виливків;
- зниження ймовірності утворення пластинчастого графіту у високоміцному чавуні;
- можливість використання регенованого піску (до 95%).

Недоліки:

- необхідність термічної регенерації;
- накопичення в оборотній суміші продуктів деструкції смоли;
- виділення токсичних газів під час заливання.

Застосування: середні та крупні форми, а також стрижні для виливків із чавуну і сталі [9].

Склад та властивості усіх піщано-смоляних ХТС [1, 6, 16-19] наведено в додатку Б.

4.3.5. Суміші теплового зміцнення із синтетичними смолами

Для зміцнення в гарячому оснащенні використовуються деякі класи вже розглянутих смол. Взагалі, усі смоли здатні зміцнюватися при нагріванні, але у технологіях гарячого оснащення використовуються ті з них, суміші з якими мають найкращі технологічні і фізико-механічні властивості.

Смоли і каталізatori теплового зміцнення представлені в табл. 4.15.

Таблиця 4.15 – Смоли і каталізатори гарячого зміцнення [1]

Клас смоли	Марка	Каталізатор			Область застосування
		марка	хімічна природа	кількість від смоли, %	
Карбамідні	КФ-МТ, КФ-Ж ГОСТ14231-78	Водний розчин (0,5...10%) NH ₄ F		4...20	Кольорові сплави
		Борна кислота H ₃ BO ₃		5	
		Водний розчин (9,0...9,5%) щавлевої кислоти		8...12	
	МЗ ТУ6-05-1596-77	Борна кислота H ₃ BO ₃		3...5	
Карбамідо-фуранові	БС-40 ТУ6-05-1750-77	КЦ-51 ТУ6-05-1950-83	Водний розчин аміачної селітри, ЛСТ, карбаміду і уротропіну	8...12	Кольорові сплави
	КФ-35 ТУ6-05-1785-83	КЦ-51 ТУ6-05-1950-83		25...30	Кольорові сплави
	КФ-40М ТУ6-05-1785-83	КЦ-32 ТУ6-05-1950-83	Водний розчин (13...17%) Cu(NO ₃) ₂ *3H ₂ O і ЛСТ	25...30	Кольорові сплави тонкостінне литво із чавуну
	КФ-90 ТУ6-05-1785-83	КЧ-41 ТУ6-05-1950-83	Водний розчин (25...30%) Cu(NO ₃) ₂ *3H ₂ O, ЛСТ, карбаміду	20...25	Чавун
Карбамідо-фенольні	ФПР-24 ТУ6-05-1507-76	ФС26/6 ТУ6-05-1950-83	Водний розчин карбаміду, NH ₄ Cl, NH ₄ Br і уротропіну	25...30	Чавун
	СФ-411 ТУ6-05-031-516-76	М ТУ6-05-031-513-75	Карбамід 42%, NH ₄ Cl 10%, тіокарбамід 3%, вода 45%	24...28	Чавун
Фенол-формальдегідні	СФ-480 ТУ6-05-1813-77	М-1 ТУ6-05-1813-77	Карбамід 30%, NH ₄ Cl 10%, CrCl ₃ 10%, вода 50%	20	Чавун і сталь

Для виготовлення оболонкових форм для сталевих і чавунних виливків використовують порошкові фенол-формальдегідні смоли, модифіковані уротропіном, марок СФП. Із них готують плаковані термореактивні суміші.

Основним ЗК цього ряду є смола ПК-104 (ГОСТ 13507-68), яка являє собою тонко подрібнену суміш термопластичної новолачної фенол-формальдегідної смоли із 7,4...8,0% уротропіну. При нагріванні під впливом уротропіну смола переходить у нерозчинний і неплавкий продукт.

Операцію плакування наповнювача смолами СФП здійснюють у два способи. Перший – холодне плакування. У змішувач вводять порошкову смолу з органічним розчинником (наприклад, ацетоном). У процесі перемішування смола розчиняється, і утворений розчин обволакує зерна піску. Протягом 5...7 хв органічний розчинник випаровується, і в результаті утворюється суха порошкова формувальна суміш.

Другий спосіб – гаряче плакування, при якому розчинник не використовують, а наповнювач із порошковою смолою нагрівають до 100...145 °С. Смола плавиться, після чого відбувається безпосередньо плакування піску.

Суміші використовують для виготовлення оболонкових форм і стрижнів у гарячому оснащенні. Склад і властивості наведено в додатку Б [1, 20, 21].

4.3.6. Полівініловий спирт

Полівініловий спирт (ПВС) вважається одним із найбільш екологічно чистих смоляних ЗК, який при термодеструкції не виділяє шкідливих речовин.

Недоліком ПВС є його невисока термостійкість (близько 300 °С), тому суміші з ним доцільно використовувати при виробництві тонкостінного литва. ПВС зміцнюється тільки при нагріванні (200 °С), тому не знайшов широкого застосування.

До складу суміші з ПВС додають NH_4Cl або карбонові кислоти (лимонну, малеїнову), які зшивають макромолекули ПВС, створюючи міцний каркасний скелет – полімери з тривимірною структурою. Зшивальні агенти також підвищують температуру деструкції ПВС до 375...400 °С.

У режим холодного зміцнення суміші з ПВС можна перевести, використовуючи як затверджувач борну кислоту [13].

4.3.7. Переваги і недоліки синтетичних смол

Процеси виготовлення ливарних форм і стрижнів із піщано-смоляних сумішей дуже різноманітні, тому переваги і недоліки кожного з них указано у п. 4.3.4. Узагальнену характеристику піщано-смоляних сумішей зведено до табл. 4.16.

Отже, високі механічні і технологічні властивості сумішей забезпечили їм найбільше поширення у ливарних цехах для виготовлення стрижнів. Виготовлення холоднотвердних форм, у тому числі і для сталевих литва, зараз також часто здійснюють із піщано-смоляних сумішей.

Таблиця 4.16 – Переваги і недоліки піщано-смоляних сумішей

Індекс	Назва характеристики	Умовне позначення*
1	Питома міцність	↑↑
2	Технологічні властивості	↑↑
3	Термін зміцнення	↑↑
4	Гігроскопічність	-
5	Газопроникність	↑↑
6	Газотвірність	↓
7	Вогнетривкість	↓
8	Схильність до пригару	↑
9	Податливість	↑
10	Вибиваємість	↑↑
11	Придатність до повторного використання	↓
12	Недефіцитність	↓
13	Нетоксичність	↓

Примітка. Переваги і недоліки сумішей викладені у відповідності до загальних вимог, сформульованих до зв'язувальних компонентів (п. 4.1). Значок ↑ показує перевагу даного ЗК над іншими, значок ↑↑ – значну перевагу. Прочерк показує нейтральну позицію, значок ↓ – недолік, а значок ↓↓ – значний недолік.

4.4. Рідке скло

4.4.1. Загальна характеристика

Рідке скло являє собою водний розчин лужних силікатів змінного складу $\text{Na}_2\text{O} \cdot m\text{SiO}_2$ або $\text{K}_2\text{O} \cdot m\text{SiO}_2$. Температура кипіння 100,5...102,0 °С. Температура замерзання (-2...-11) °С [1].

У ливарному виробництві застосовується натрієве рідке скло як більш дешеве і менш дефіцитне, ніж калієве. Рідке скло являє собою колоїдний розчин (золь) кремнієвих кислот, який при затвердінні у формувальних сумішах переходить у гель, що зв'язує зерна наповнювача.

Рідке скло оцінюють за модулем і густиною.

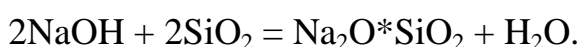
Модуль рідкого скла являє собою співвідношення вмісту в розчині SiO_2 і Na_2O , помножене на коефіцієнт 1,032 (відношення молекулярних мас оксидів натрію та кремнію).

У ливарному виробництві використовують рідке скло з модулем 2,0...3,1. Як правило, ливарним цехам поставляють рідке скло з модулем 2,7...3,1. Чим більший модуль, тим вищий ступінь полімеризації рідкого скла і тим більша швидкість затвердіння формувальних сумішей. Суміші з рідким

склом високого модуля мають малу живучість, їхня міцність швидко зростає у початкові періоди, але у більш довгі періоди твердіння (наприклад, через добу) їхня міцність нижча.

Міцність у вологому (сирому) стані визначається колоїдним розчином, який утворюється при першій фазі затвердіння рідкого скла. Чим вищий модуль, тим скоріше відбувається процес розпаду і тим більше колоїдного розчину виділяється при сумішоприготуванні. Природно, що підвищення сирої міцності супроводжується зниженням живучості суміші.

Модуль рідкого скла часто знижують добавкою NaOH, що забезпечує збільшення міцності суміші в затверділому стані у 4...6 разів. Це пояснюється тим, що вільний кремнезем зв'язується за схемою:



Вільний кремнезем, який був баластом у суміші, переводиться у хімічну сполуку. Під час подальшого твердіння ця сполука розпадається, виділяючи активний кремнезем, який стає джерелом додаткової міцності.

Густину рідкого скла знижують додаванням води.

Максимальний модуль рідкого скла, застосованого в ливарному виробництві (6,5) – для виготовлення керамічних форм за моделями, що витоплюються [23]. Мінімальний модуль рідкого скла (1,4) – у роботі КПІ ім. І. Сікорського із створення лужносилікатного ЗК. Суть процесу в тому, що при нагріванні суміші таке рідке скло реагує з аморфним кремнеземом, який окремо додають у суміш, внаслідок чого модуль реально підвищується, а стрижень зміцнюється [24]. На жаль, обидва варіанти застосування рідкого скла не мають промислового впровадження.

4.4.2. Способи приготування

Існує два способи приготування рідкого скла: двостадійний (сухий) і одностадійний (мокрый) [6].

Найширше застосовується сухий спосіб. При цьому спочатку одержують тверді силікати натрію (перша стадія) сплавленням у спеціальних печах при 1400...1450 °С кварцового піску із содою Na₂CO₃ або сульфатом натрію Na₂SO₄. Розтоплену рідку масу виливають із печі і гранулюють (водою), в результаті чого утворюються шматки (2...20 мм), які називають **силікатною глибою**.

Силікатну глибу, одержану з використанням соди, називають содовою (вона має зеленуватий колір), а з використанням сульфату натрію – сульфатною (чорна, оскільки для прискорення відновлення сульфату натрію використовують ще вугільний порошок).

Другою стадією приготування рідкого скла є розчинення подрібненої до розмірів 0,1...10,0 мм силікатної глиби у воді, що відбувається в автоклавах при температурі 120...130 °С і тиску пари 0,3...0,8 МПа. В автоклаві розчин перемішується, внаслідок чого прискорюється процес розчинення силікатів натрію у воді. Чим вищі температура і тиск, тим швидше розчиняються силікати. За тиску пари 0,4...0,5 МПа варіння рідкого скла триває 3 год.

Розчиняти силікатну глибу у відкритих ємкостях (за атмосферного тиску) нерационально, оскільки процес проходить дуже повільно.

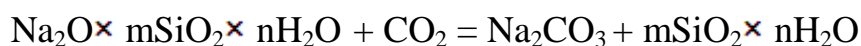
Ряд великих заводів-споживачів рідкого скла виготовляють його із силікатної глиби самі, інші закупають готове рідке скло.

У разі одностадійного способу приготування рідкого скла кремнезем розчиняють у натрієвому лузі (при нагріванні в автоклавах) до одержання розчину лужних силікатів необхідної концентрації, без попереднього одержання силікатної глиби. Оскільки цей спосіб більш тривалий, його мало використовують у ливарному виробництві. В останні роки замість кристалічного кремнезему (кварцового піску) використовують аморфний кремнезем. Він швидше розчиняється у натрієвому лузі і дає змогу одержати рідке скло із необхідними фізико-механічними властивостями.

4.4.3. Зміцнення сумішей з рідким склом

Починаючи з 50-х років ХХ ст., рідке скло широко використовується як ЗК, особливо у ливарних цехах індивідуального та дрібносерійного виробництва. Воно дало змогу широко застосовувати швидкісну технологію виготовлення форм і стрижнів, зміцнюваних у контакт з оснащенням при цехових температурах. Саме з цього ЗК почалося широке запровадження холоднотвердних сумішей (ХТС) у ливарному виробництві [6, 9].

Першим способом зміцнення форм і стрижнів з рідким склом (у 50-60-ті роки ХХ ст.) було продування CO₂ (CO₂-процес). Під час такого продування рідке скло переходить із золя в гель:



Вуглекислий газ забезпечує швидкий розпад рідкого скла, але не прискорює процес затвердіння гелю кремнієвої кислоти. Через це поверхні форм і стрижнів схильні до підвищеної обсипаємості.

Згодом для зміцнення цих сумішей стали використовувати також порошкові затверджувачі, які вміщують двокальцієвий силікат $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$. Ця сполука міститься у ферохромовому шлаку, нефеліновому шламі, деяких різновидах цементів.

Дані способи зміцнення були розраховані на вміст рідкого скла у суміші 5...8% для досягнення необхідної міцності.

У 80-х рр. ХХ ст. як затверджувачі стали використовувати рідкі ефіри. В цьому випадку рідке скло утворює більш тонкі зв'язувальні плівки, тому вміст його в суміші було зменшено до 3...4%.

Останнім часом рідке скло використовують також як ЗК, який зміцнюють при нагріванні. Меншою мірою цей процес реалізують для стрижнів, більшою мірою – для оболонкових форм. Лише рідке скло здатне забезпечити високу міцність на рівні із синтетичними смолами, яка тут необхідна. Крім цього, воно екологічно чисте. Для теплового зміцнення використовують РС із зниженим модулем (несамотвердне), що забезпечує сумішам високу живучість та більшу кінцеву міцність.

Модуль і густину рідкого скла обирають залежно від способу зміцнення сумішей (табл. 4.17).

Таблиця 4.17 – Вибір модуля і густини рідкого скла залежно від способу зміцнення суміші [1, 6]

Спосіб зміцнення	Заверджувач	Модуль	Густина*, кг/м ³
CO ₂ -процес	CO ₂	2,0...2,3	1450...1500
РСС	Двокальцієві сілікати	2,7...3,1	1320...1360
ПСС	Двокальцієві сілікати	2,7...3,1	1420...1450
ПСС	Складні ефіри	2,3...2,6	1420...1450
Теплове (оболонкові форми)	200...250°C	2,0...2,2	1450...1500

Примітка. Необхідна густина досягається при розчиненні рідкого скла водою та ПАР.

Крім перелічених промислово поширених способів зміцнення сумішей, обмежено використовувалися або були досліджені в лабораторних умовах великий ряд затверджувачів (табл. 4.18).

Таблиця 4.18 – Способи зміцнення сумішей з рідким склом [6]

Затверджувач	Хімічна формула	Агрегатний стан затверджувача	Рекомендований модуль РС
Діоксид вуглецю (вуглекислий газ)	CO ₂	Газ	2,0...2,5
Складні ефіри	R-O-R*	Рідина	2,3...2,5
Ацеталі: – гліоксаль – метилгліоксаль	ОНС-СНО СН ₂ -СО-СНО	Порошки (можуть використовуватися у вигляді розчинів)	2,3...2,4
Поліізоціанати (бажано толуїлендіізоціанат)	ОСN-R-NCO	Рідини	2,1
Тетраетоксисилан і продукти його конденсації (силоксани) плюс каталізатор (амін)	Si ₃ (OC ₂ H ₅) ₄ + амін	Рідини	2,0...3,0
Матеріали на основі двокальцієвих силікатів: – ферохромовий шлак – нефеліновий шлам – доменні, мартенівські й електропічні шлаки	2CaO·SiO ₂ –67%, решта – шпинелі 2CaO·SiO ₂ 80...85% вміст 2CaO·SiO ₂ змінний	Порошки	2,6...3,0 2,6...3,0 2,0...3,0
Портландцементи	Основа – аліт 3CaO·SiO ₂	Порошки	2,0...2,2
Гіпс-ангідрит	α і β-CaSO ₄ безводні	Порошки	2,0
Гідроксид кальцію (гашене вапно)	Ca(OH) ₂	Порошок, вапняне молоко	2,6...3,0
Хлорид кальцію	CaCl ₂	Порошок або водний розчин	2,0...2,2
Глиноземисті цементи	Основа 3CaO·Al ₂ O ₃	Порошки	2,0...2,2
Силікофторид кальцію	CaSiF ₆	Порошок	2,0
Силікофторид натрію	Na ₂ SiF ₆	Порошок або водний розчин	2,0...2,5
Кремнійфтористоводнева кислота, частково нейтралізована КОН	H ₂ SiF ₆	8%-водний розчин	2,7
Кремній, феросиліцій, силікокальцій	Si, Fe-Si, Si-Ca	Порошки	2,0...2,2
Карбід кальцію	Ca ₂ C	Порошки	2,0...2,2
Оксид цинку	ZnO	Порошки	3,0
Оксиди свинцю	PbO, Pb ₃ O ₄	Порошки	2,6...3,0

Складні ефіри, які випускаються промисловістю і застосовуються для зміцнення сумішей з рідким склом, представлено в табл. 4.19.

Таблиця 4.19 – Складні ефіри – затверджувачі сумішей з рідким склом [6, 20]

Назва ефіру	Характеристика	Швидкість зміцнення суміші, хв.
Етиленглицольмоноацетат (ЕМА)	Дуже швидке зміцнення	1
Етиленглицольдіацетат (ЕДА)	Повільне зміцнення	45...90
Гліцеринмоноацетат (Моноацетин)	Дуже швидке зміцнення	1
1,3-Гліцериндіацетат (1,3-Диацетин)	Швидке зміцнення	3...4
Гліцеринтріацетат (Триацетин)	Дуже повільне зміцнення	90...120
Пропіленкабронат	Швидке зміцнення	4...6

Для досягнення необхідного терміну зміцнення ефіри змішують між собою у певних співвідношеннях.

4.4.4. Проблема вибиваємості сумішей з рідким склом

Значним недоліком рідкого скла як ЗК є труднощі вибивання сумішей із форм. Причина цього – розплавлення силікатів натрію при нагріванні форми металом ($> 800\text{ }^{\circ}\text{C}$) і наступне спікання суміші при охолодженні, що призводить до значного підвищення її залишкової міцності. Як правило, міцність стрижневої або формувальної суміші після охолодження виливка перевищує у 3...4 рази її початкову міцність (рис. 4.5).

У системі $\text{Na}_2\text{O} - \text{SiO}_2$ уже при $753\text{ }^{\circ}\text{C}$ утворюється легкоплавка евтектика (рис. 4.6). Подальше нагрівання сприяє збільшенню кількості рідкої фази, яка являє собою силікатний розплав. Хімічно він дуже активний до кремнезему, і найбільш дрібні часточки наповнювача (піску) розчиняються в ньому, побічно збільшуючи його кількість і текучість.

Розплав евтектики спікається з поверхнею піщинок, а після затвердіння і охолодження являє з ними єдине ціле. Через таке спікання рідкого скла одноразово використані формувальні суміші у більшості випадків не придатні до повторного використання, майже не піддаються регенерації. І навіть при успішному її здійсненні регенований пісок не дає змоги отримати належний рівень властивостей знову приготованих сумішей.

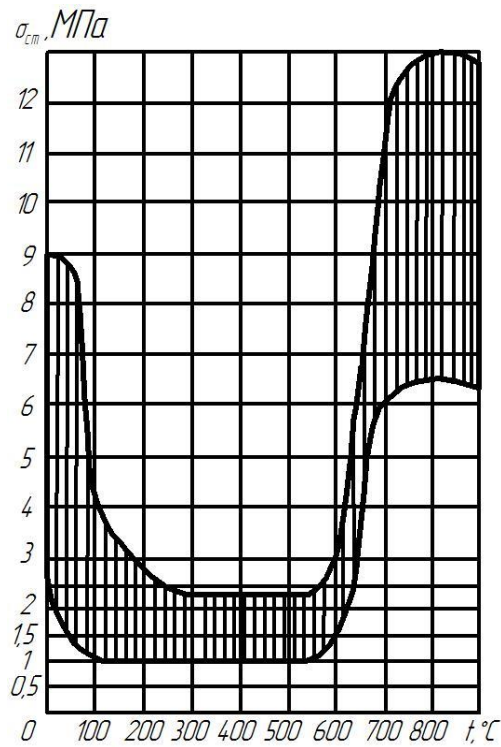


Рисунок 4.5 – Зміна міцності сумішей з рідким склом після їх нагрівання

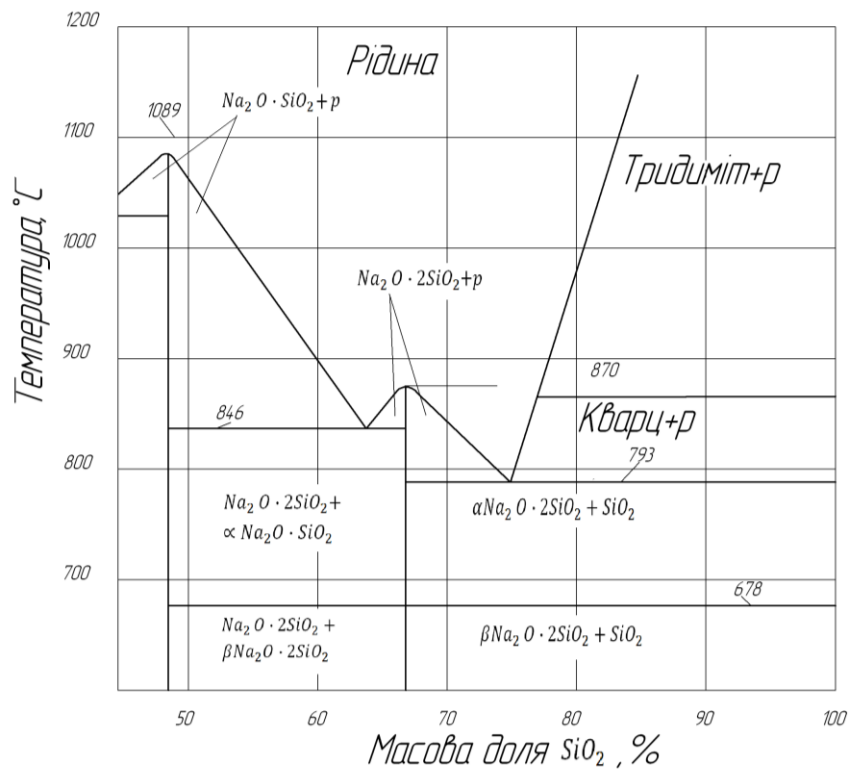


Рисунок 4.6 – Подвійна діаграма стану $\text{Na}_2\text{O}-\text{SiO}_2$

Зважаючи на поширеність рідкого скла у ливарній практиці, його екологічну і економічну привабливість, питання вибиваємості сумішей з ним є одним із найбільших актуальних завдань для наукових досліджень. Вирішенню цієї проблеми присвятили свій час і сили багато видатних

ливарників. Одержано ряд позитивних результатів, які викладено у багатьох дисертаціях кандидатів і декількох – докторів наук. Але, на жаль, остаточного вирішення на сьогодні не знайдено.

Усі способи покращення вибиваємості сумішей з рідким склом поділяють на наступні групи:

1. Зменшення кількості силікатної евтектики. Може бути досягнуто:

1) зменшенням кількості рідкого скла (можливо лише при застосуванні ефективних затверджувачів складноефірного типу);

2) підвищенням модуля рідкого скла (з підвищенням модуля зменшується кількість Na_2O , а з ним і кількість силікатного розплаву).

2. Зниження текучості силікатної евтектики, яке уповільнює її поширення у порах між зернами наповнювача. Може бути досягнуто:

1) підвищенням модуля рідкого скла. Текучість і хімічну агресивність розплаву надає Na_2O , тому зниження його вмісту підвищує в'язкість евтектики;

2) додаванням речовин, які містять глинозем Al_2O_3 , у першу чергу глини. Глинозем, розчиняючись у розплаві евтектики, значною мірою підвищує його в'язкість;

3) додаванням речовин, які містять фосфати (наприклад, триполіфосфату натрію). Поліпшення вибиваємості досягається за рахунок підвищення температури плавлення силікофосфатної системи $\text{Na}_2\text{O}-\text{P}_2\text{O}_5-\text{SiO}_2$, зв'язування луку в кристалічні фази $9\text{Na}_2\text{O} \cdot 5\text{P}_2\text{O}_5 \cdot 6\text{SiO}_2$, $5\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{P}_2\text{O}_5 \cdot 4\text{SiO}_2$, $15\text{Na}_2\text{O} \cdot 5\text{P}_2\text{O}_5 \cdot 6\text{SiO}_2$. При цьому значною мірою скорочується кількість евтектичного розплаву в температурному інтервалі $800 \dots 1100^\circ\text{C}$ і знижується його текучість, що попереджає його поширення по поверхні зерен кварцового піску [6].

3. Порушення цілісності (утворення пористої структури) зв'язувальних плівок рідкого скла при високих температурах. Це досягається:

1) додаванням органічних речовин, які розпадаються при нагріванні з утворенням газових продуктів (лігносульфонати, полісахариди). Гази, проходячи через розплав силікатної евтектики, спучують його, порушуючи цілісність зв'язувальних плівок;

2) додаванням неорганічних речовин (наприклад карбонатів), які діють аналогічно – виділяють газоподібні продукти при нагріванні;

3) додаванням речовин, які містять кристалогідратну воду. Найбільш ефективною добавкою є каолінова глина. У сумішах із глиною відбувається утворення нового продукту складу $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (гідроалюмосилікат натрію), з якого виділяється кристалогідратна вода в усьому інтервалі

нагрівання (майже до 1000 °С), яка руйнує плівки ЗК зсередини, нейтралізуючи процеси спікання їх з наповнювачем [24].

4. Зниження адгезії силікатної евтектики до наповнювача. Досягається додаванням органічних речовин (кокс, вугільний пил, графіт, смоли, цукристі речовини, лігносульфонати, нафтопродукти), які при термодеструкції виділяють сажистий вуглець. Він осідає на зернах піску і ускладнює змочування його розплавом евтектики [6].

5. Підвищення температури плавлення складових суміші.

Теоретично, якщо знайти добавки, які при нагріванні вступатимуть з рідким склом у хімічну взаємодію з утворенням нових сполук, температура плавлення яких вища за температуру прогрівання суміші, можливо буде позбутися розплаву евтектики взагалі. Але на сьогодні жодного такого способу не запропоновано.

4.4.5. Переваги і недоліки рідкого скла

Суміші з рідким склом застосовують для крупних форм та стрижнів будь-якої маси та групи складності. Для форм суміш може бути пластична або рідкорухома самотвердна. Для стрижнів в основному пластичні суміші, але для крупних стрижнів використовують також рідкорухомі. Крім цього, рідке скло обмежено застосовують для виготовлення оболонкових форм за гарячим оснащенням, а також керамічних оболонкових форм за моделями, що витоплюються. Узагальнену характеристику цього ЗК наведено у табл. 4.20. Склад і властивості сумішей наведено у додатку В.

Таблиця 4.20 – Переваги і недоліки піщано-рідкоскляних сумішей

Індекс	Назва характеристики	Умовне позначення*
1	Питома міцність	↑↑
2	Технологічні властивості	↑↑
3	Термін зміцнення	↑
4	Гігроскопічність	-
5	Газопроникність	-
6	Газотвірність	-
7	Вогнетривкість	↑
8	Схильність до пригару	↓
9	Податливість	↓
10	Вибиваємість	↓↓
11	Придатність до повторного використання	↓↓
12	Недефіцитність	↑↑
13	Нетоксичність	↑↑

Примітка. Переваги і недоліки сумішей викладені у відповідності до загальних вимог, сформульованих до зв'язувальних компонентів (п. 4.1). Значок ↑ показує перевагу даного ЗК над іншими, значок ↑↑ – значну перевагу. Прочерк показує нейтральну позицію, значок ↓ – недолік, а значок ↓↓ – значний недолік.

4.5. Технічні лігносульфонати

4.5.1. Загальна характеристика

Лігносульфонати технічні (ЛСТ) є побічним продуктом виробництва целюлози сульфітним способом.

При цьому виробництві подрібнену деревину обробляють у розчині варильної кислоти, яка містить сульфогрупу (SO_3). Внаслідок цього целюлоза випадає в осад, а залишковий розчин являє собою сульфітний луг, який містить до 8% сухих (зв'язувальних) речовин. Для підвищення їх вмісту (приблизно до 50%) сульфітний луг випарюють. Оптимальною є температура випарювання $115\text{ }^\circ\text{C}$, за більш високих температур спостерігається часткова деструкція молекул ЛСТ. Розчин з таким вмістом сухих речовин називають концентратом сульфітного луку.

З початку 30-х років XX ст. концентрат сульфітного луку почали використовувати як ЗК формувальних сумішей. Але вже з кінця 30-х років із нього почали виробляти спирт (рис. 4.7), а як побічний продукт залишався концентрат сульфітно-спиртової барди (ССБ), який мав зв'язувальну здатність.

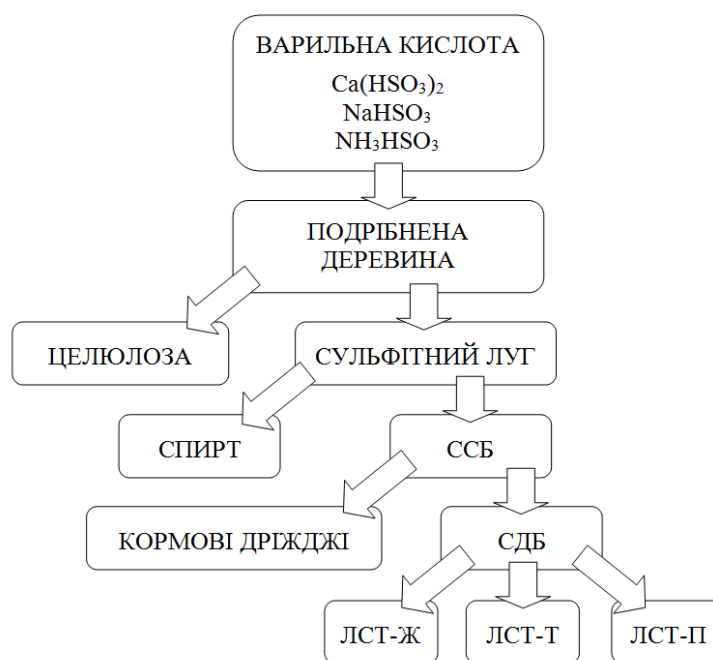


Рисунок 4.7 – Схема виробництва технічних лігносульфонатів

Але і цей продукт отримав поширення у харчовій промисловості. У 50...60-х рр. ХХ ст. ССБ почали переробляти на кормові дріжджі для худоби (корів, свиней та інших представників домашнього тваринного світу), а відходом такого перероблення стала вже сульфітно-дріжджова бражка (СДБ), яка згідно з галузевим стандартом (ГОСТ 13-183-83) називається лігносульфонатом технічним (ЛСТ) [9].

Молекули лігносульфонатів являють собою ароматичні ядра (неполярні), з'єднані пропановими групами, з приєднаними до них полярними сульфогрупами (рис. 4.8), що і визначає їх зв'язувальні та поверхнево-активні властивості.

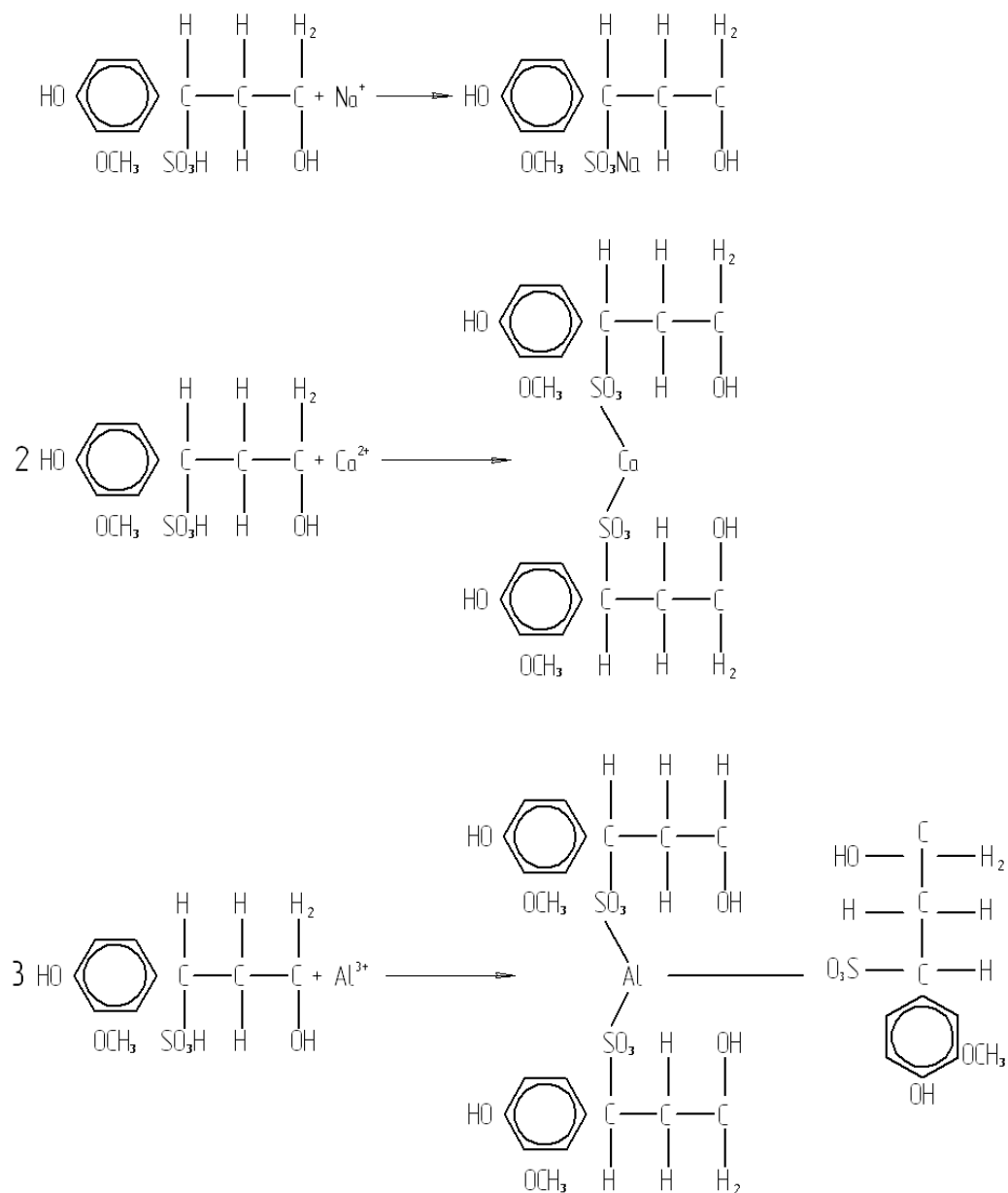


Рисунок 4.8 – Будова ЛСТ з різними основами

ЛСТ є дешевим і недефіцитним ЗК, який дає змогу досягти необхідної міцності для багатьох форм і стрижнів (часто у комбінаціях з іншими ЗК).

Згідно з ГОСТ 13-183-83, ЛСТ виробляється марки Ж (рідкі, не менше як 47% сухих речовин, густина не менше 1230 кг/м^3) і марки Т (тверді, понад 75% сухих речовин). Випускаються також (у невеликій кількості) порошкові ЛСТ-П (87% сухих речовин). Розчини ЛСТ мають кислий характер [9].

Найширше використовуються рідкі ЛСТ. Тверді ЛСТ через труднощі при зберіганні (злипання), дозуванні та розчиненні використовуються мало.

Раніше для сульфитного варіння целюлози використовувався гідросульфит кальцію (варильна кислота з кальцієвою основою), і ЛСТ являв собою лігносульфонат кальцію. Тепер використовують в основному варильні кислоти з натрієвою, мішаною Са-На або магнієвою основою й відповідно таку саму основу мають і лігносульфонати (див. рис. 4.8) [6].

Спеціально для ливарного виробництва промислово виробляли спеціальні лігносульфонати – на основі амонію та на основі алюмінію. Максимальну міцність у сухому стані мають суміші на основі лігносульфонатів алюмінію.

4.5.2. Зміцнення сумішей із лігносульфонатами

ЛСТ використовуються у формувальних сумішах у поєднанні з глиною та іншими ЗК. Міцність при розриванні формувальних сумішей з 5% ЛСТ і 3% глини після сушіння при $160...180 \text{ }^\circ\text{C}$ не менша від 0,6 МПа. При сушінні ЛСТ плівки цього ЗК внаслідок випаровування води зменшуються в об'ємі у 2,7 разів, що негативно впливає на міцність суміші. Для позбавлення цього недоліку слід вводити в ЛСТ пластифікатори (карбамід, гліцерин тощо), інертні добавки (глину, пилоподібний кварц тощо), які знижують напруження при сушінні. Оптимальна температура зміцнення сумішей становить $180 \text{ }^\circ\text{C}$. При меншій температурі зміцнення відбувається повільно, а рівень властивостей буде нижчим від максимального. При температурі понад $180 \text{ }^\circ\text{C}$ волога випаровується дуже інтенсивно, у зв'язувальних плівках виникають значні напруження і кінцева міцність знижується.

Крім теплового зміцнення, суміші з ЛСТ затверджують оксидом хрому CrO_3 . Такий механізм зміцнення використовується у РСС. Оксиди хрому містяться в побічних продуктах (гальванічних розчинах тощо), але є дуже токсичними.

Термостійкість ЛСТ дуже низька ($380 \text{ }^\circ\text{C}$), що обмежує область їх використання дрібним та середнім чавунним литвом. Крім того, ЛСТ, як і всі

водорозчинні ЗК, мають підвищену гігроскопічність, що призводить до зниження міцності сухого стрижня (форми) при зберіганні. Проте при введенні в ЛСТ гідрофобних добавок останній недолік можливо зменшити.

Значну роботу із підвищення зв'язувальних властивостей ЛСТ проведено в КПІ ім. І. Сікорського. На основі ЛСТ і поверхнево-активних речовин розроблено новий комплексний лігносульфонатний зв'язувальний компонент КЛС (ТУ 13-7308001-670-84), який знайшов використання для формування по-сирому, по-сухому та для РСС [7].

4.5.3. Переваги і недоліки лігносульфонатів

Суміші з натрієвими або натрієво-кальцієвими ЛСТ використовують для виготовлення ливарних форм по-сирому (ЛСТ як добавка до піщано-глинястої суміші). Для формовки по-сухому використовують піщано-глинясті суміші з добавками кальцієвого або алюмінієвого ЛСТ. Також ці ЛСТ можуть використовуватися як окремий ЗК у сумішах для формовки по-сухому або для виготовлення стрижнів у гарячому оснащенні. РСС з ЛСТ з кальцієвою основою використовують для форм і стрижнів у кольоровому і чавунному литві.

Склад і властивості сумішей наведено в додатку Г. Загальну характеристику цього ЗК наведено у табл. 4.22.

Таблиця 4.22 – Переваги і недоліки піщано-лігносульфонатних сумішей

Індекс	Назва характеристики	Умовне позначення*
1	Питома міцність	↓
2	Технологічні властивості	-
3	Термін зміцнення	↓
4	Гігроскопічність	↓
5	Газопроникність	-
6	Газотвірність	↓
7	Вогнетривкість	↓
8	Схильність до пригару	-
9	Податливість	↑
10	Вибиваємість	↑
11	Придатність до повторного використання	↑
12	Недефіцитність	↑
13	Нетоксичність	↓ (CrO ₃)

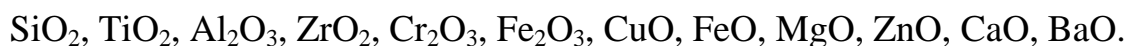
Примітка. Переваги і недоліки сумішей викладені у відповідності до загальних вимог, сформульованих до зв'язувальних компонентів (п. 4.1). Значок ↑ показує перевагу даного ЗК над іншими, значок ↑↑ – значну перевагу. Прочерк показує нейтральну позицію, значок ↓ – недолік, а значок ↓↓ – значний недолік.

4.6. Фосфатні зв'язувальні компоненти

4.6.1. Загальна характеристика

Фосфатні ЗК являють собою систему із ортофосфорної кислоти і оксидів або інших сполук металів, яка зміцнюється внаслідок хімічної взаємодії між ними при нормальних умовах або при нагріванні.

Ряд активності оксидів металів до H_3PO_4 має наступний вигляд (за зростанням активності) [33]:



У кінці ряду стоять основні оксиди, в середині – амфотерні (перехідні), а на початку – кислотний (SiO_2).

Перші суміші (70-ті рр. ХХ ст.) засновано на процесі виключно кислотно-основної взаємодії. Роль кислотного компонента виконує звичайна або частково нейтралізована ортофосфорна кислота H_3PO_4 , а роль основного компонента – оксиди заліза або магнію. Вибір основних оксидів, які стоять ближче до середини ряду (FeO , MgO) є не випадковим, оскільки вони утворюють ХТС із достатньою живучістю та відносно швидким терміном зміцнення.

Амфотерні і кислотні оксиди у поєднанні з ортофосфорною кислотою утворюють системи з більшою термостійкістю, аніж основні оксиди [25], але зміцнення у таких системах відбувається лише при нагріванні.

Останнім часом в КПІ ім. І. Сікорського розроблено ряд фосфатних сумішей, які зміцнюються при нагріванні [26, 27]. Зміцнення засновано на хімічній взаємодії ортофосфорної кислоти з оксидами алюмінію ($250\text{...}300\text{ }^\circ\text{C}$), цирконію ($320\text{...}360\text{ }^\circ\text{C}$) та кремнію ($300\text{...}320\text{ }^\circ\text{C}$). Таким чином, навіть кварцовий наповнювач може утворювати фосфатний зв'язувальний компонент при нагріванні суміші.

4.6.2. Процеси зміцнення фосфатних сумішей

Як правило, чисту ортофосфорну кислоту не використовують для приготування сумішей, а замість неї застосовують так звані фосфатні зв'язувальні компоненти – частково нейтралізовані розчини кислоти.

Найбільш поширеним є алюмофосфатний зв'язувальний компонент (АФС). Його готують розчиненням при 90...110 °С гідроксиду алюмінію в ортофосфорній кислоті. АФС у поєднанні з затверджувачами – оксидами заліза або магнію – забезпечує більшу живучість ХТС, а також більшу міцність. Наявність глиноземної складової у складі ЗК (продукти зміцнення суміші мають вигляд $x\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot y\text{P}_2\text{O}_5 \cdot m\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) підвищує термостійкість суміші (табл. 4.23).

Таблиця 4.23 – Характеристика фосфатних композицій

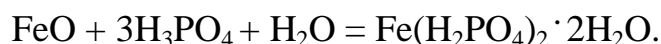
Складові композиції	Температура зміцнення, °С	Сполуки, які утворюються при твердінні	Термостійкість, °С
H_3PO_4 (АФС, АХФС) + Fe_3O_4 , Fe_2O_3	ХТС	$x\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot y\text{P}_2\text{O}_5 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ або $x\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot y\text{P}_2\text{O}_5 \cdot m\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	1100
H_3PO_4 (АФС, АХФС) + MgO	ХТС	$x\text{MgO} \cdot y\text{P}_2\text{O}_5 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ або $x\text{MgO} \cdot y\text{P}_2\text{O}_5 \cdot m\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	1250
АФС	250...300	$y\text{P}_2\text{O}_5 \cdot m\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	1400...1600
АХФС	200...250	$m\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot k\text{Cr}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	1600...1800
H_3PO_4 + Al_2O_3	250...300	AlPO_4 ; $\text{Al}_2(\text{HPO}_4)_3$; $\text{Al}(\text{H}_2\text{PO}_4)_3$	1400...1600
H_3PO_4 + SiO_2	300...320	SiP_2O_7	1400...1600
H_3PO_4 + ZrO_2	320...360	ZrP_2O_7	1600...2000
H_3PO_4 + $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$	150	$\text{Na}_2\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_7$	1200...1300
H_3PO_4 + NaCl	300	Na_2HPO_4 ; NaH_2PO_4 ; Na_3PO_4	1200...1300
H_3PO_4 + Na_2CO_3	150	NaH_2PO_4 ; $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$; Na_2HPO_4	1200...1300
H_3PO_4 + $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$	200...250	AlPO_4	1400...1600
H_3PO_4 + $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	200	у стадії дослідження	
H_3PO_4 + MnSO_4	150	у стадії дослідження	
H_3PO_4 + KCl , KBr	250	у стадії дослідження	

Також широко застосовується алюмохромфосфатний зв'язувальний компонент (АХФС). Його готують розчиненням у гарячій H_3PO_4 гідроксиду алюмінію (8...10%) і оксиду хрому (3,5...4,5%). При додаванні оксидів заліза або магнію, утворюється продукт типу $x\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot y\text{P}_2\text{O}_5 \cdot m\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot k\text{Cr}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, який має ще вищу термічну стійкість (див табл. 4.23) [6].

Менш поширеними є алюмоборфосфатний (АБФС), магнійалюмофосфатний (МАФС), кальцій-магній-алюмофосфатний (КМАФС), цинк-магній-алюмофосфатний (ЦМАФС) зв'язувальні компоненти та деякі інші. Їх готують розчиненням в ортофосфорній кислоті ряду оксидів указаних металів [28].

Без додавання затверджувачів (оксидів заліза або магнію) суміші зміцнюються при нормальних умовах не можуть.

У результаті взаємодії цих оксидів із кислотою або фосфатним ЗК у суміші утворюються кислі солі – фосфати відповідного металу (заліза або магнію). Це однозаміщені солі ортофосфорної кислоти, які мають зв'язувальні властивості, наприклад [9]:

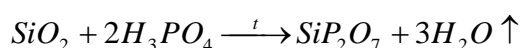


Ці суміші представляють собою ХТС.

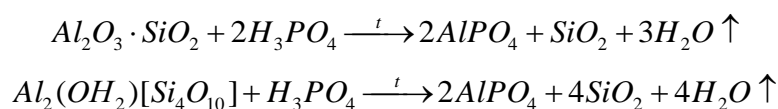
Але можливе зміцнення фосфатних ЗК при нагріванні (див табл. 4.23). У такому випадку утворюються полімерні продукти типу $\text{yP}_2\text{O}_5 \cdot \text{mAl}_2\text{O}_3 \cdot \text{nH}_2\text{O}$, $\text{yP}_2\text{O}_5 \cdot \text{mAl}_2\text{O}_3 \cdot \text{kCr}_2\text{O}_3 \cdot \text{nH}_2\text{O}$ і т. п., які мають значно більшу термічну стійкість.

Новим напрямком дослідження фосфатних зв'язувальних компонентів є створення систем, які зміцнюються при взаємодії ортофосфорної кислоти із вогнетривкими наповнювачами стрижневих сумішей при нагріванні. Ці суміші не потребують використання спеціальних затверджувачів і є найбільш економічно ефективними.

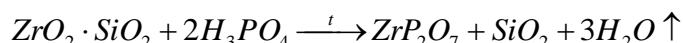
Кварцовий пісок або пилоподібний кварц при нагріванні до 300...320 °С взаємодіє за наступною схемою:



Алюмосилікатні матеріали – дистен-силіманіт та пірофіліт, враховуючи їх особливості будови, взаємодіють із кислотою так:



Циркон складається з оксидів кремнію та цирконію. Взаємодія з кислотою відбувається так:



Зв'язувальними компонентами у сумішах є пірофосфати кремнію та цирконію або ортофосфат алюмінію. Вони термічно стійкі і стабільні, тому стрижні придатні до використання у сталевому і чавунному литві.

Дослідженнями КПІ ім. І. Сікорського також доведено можливість утворення фосфатних ЗК при взаємодії ортофосфорної кислоти із неорганічними солями металів (див. табл. 4.23). Незважаючи на те, що H_3PO_4

за хімічною природою слабша за сірчану, соляну та азотну кислоти, науково доведено, що вона здатна при нагріванні вступати у взаємодію із їхніми солями та утворювати міцні ЗК.

Розроблено ряд стрижневих сумішей теплового зміцнення із неорганічними солями натрію, алюмінію, калію [29, 30]. За аналогією до відомих фосфатних зв'язувальних компонентів (АФС, АХФС та інших) запропоновано вводити у суміш розчини або суспензії неорганічних солей металів у ортофосфорній кислоті, що значно спрощує процес приготування суміші.

4.6.3. Матеріали для приготування фосфатних сумішей

На сьогодні із усіх фосфатних композицій найбільше поширення зберігають ті, які утворюють ХТС, тобто залізофосфатні та магнійфосфатні. Для залізофосфатних композицій (за даними Є. С. Гамова) можна використовувати різні матеріали, які вміщують не менш як 60% оксидів заліза: залізорудний концентрат, залізооксидний шлам, порошок магнітний, залізну окалину, плавильний пил, пил від обнаждачування виливків тощо.

Найкращі результати забезпечує застосування крокусу, трифоліну, залізорудного концентрату або окалини.

Матеріали на основі оксиду магнію (MgO) утворюють в порядку зниження своєї хімічної активності до H_3PO_4 наступний ряд: металургійний магнезит, плавлений магнезит, магнезитохроміт, хромомагнезит.

Активність цих матеріалів залежить від вмісту MgO і ступеню його пасивації, питомої поверхні порошку і концентрації H_3PO_4 .

Для приготування ХТС із оптимальною живучістю й високою міцністю необхідно сповільнювати реакцію взаємодії MgO з H_3PO_4 : провести пасивацію порошку, який вміщує магній, обробленням його поверхнево-активною речовиною при розмелюванні, а також знизити активність H_3PO_4 додаванням лимонної кислоти, фосфату амонію тощо. Це дає змогу подовжити живучість ХТС до 16...22 хв і підвищити міцність через 1 год до 0,6...0,8 МПа, а через 24 год до 2,8...3,3 МПа.

Також можуть бути використані порошок магнезитовий (периклазовий) для високотемпературного мертелю марки ПММ-1, порошок магнезитовий для виробництва склепінчастих магнезитохромітових виробів МСВ, порошок магнезитовий електропічний марки МПЭ, порошок магнезитовий (периклазовий) обмаслений ПМОЗ. Ці всі порошки є крупногранульованими матеріалами (3...10 мм) і потребують помолу до питомої поверхні 3000...4000 cm^2/g [1]. Також використовуються (після помолу) відпрацьовані вогнетривкі вироби із хромомагнезиту і магнезитохроміту.

4.6.4. Переваги і недоліки фосфатних зв'язувальних компонентів

Металофосфатні зв'язувальні композиції застосовують переважно для ХТС. Також обмежене використання вони знайшли для стрижнів, зміцнюваних у нагрітому оснащенні; для керамічних форм за моделями, що витоплюються; для футерівок плавильних печей, ковшів тощо.

Залізофосфатні суміші в основному використовують для виготовлення стрижнів для чавунних виливків, а магнійфосфатні – для сталевих. Суміші мають високу теплопровідність, що забезпечує швидкісне охолодження виливків і підвищені механічні властивості.

З інших фосфатів відомо використання як ЗК у протипригарних фарбах добре розчинних у воді триполіфосфату натрію $(\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10})_n$, поліметафосфату натрію $(\text{NaPO}_3)_n$ [9].

Формувальні суміші з металофосфатними ЗК мають високі міцність і термостійкість, добре вибиваються із виливків, нетоксичні й екологічно безпечні.

Як доведено С. С. Жуковським, гарна вибиваємість залізофосфатних сумішей пов'язана із перетворенням термодинамічно нестійких фосфатів двовалентного заліза на фосфати тривалентного заліза під дією тепла виливка. Цей перехід відбувається із збільшенням об'єму і різкою втратою міцності суміші. Узагальнену характеристику піщано-фосфатних сумішей наведено у табл. 4.24. Склад і властивості цих сумішей наведено в додатку Д.

Таблиця 4.24 – Переваги і недоліки піщано-фосфатних сумішей

Індекс	Назва характеристики	Умовне позначення*
1	Питома міцність	↑
2	Технологічні властивості	-
3	Термін зміцнення	↑
4	Гігроскопічність	↓
5	Газопроникність	-
6	Газотвірність	↑
7	Вогнетривкість	↑↑
8	Схильність до пригару	-
9	Податливість	-
10	Вибиваємість	↑
11	Придатність до повторного використання	↑
12	Недефіцитність	↑
13	Нетоксичність	↑

Примітка. Переваги і недоліки сумішей викладені у відповідності до загальних вимог, сформульованих до зв'язувальних компонентів (п. 4.1). Значок ↑ показує перевагу даного ЗК над іншими, значок ↑↑ – значну перевагу. Прочерк показує нейтральну позицію, значок ↓ – недолік, а значок ↓↓ – значний недолік.

4.7. Масла та олії

4.7.1. Рослинні олії

Одними з перших органічних ЗК для стрижневих сумішей були рослинні олії. Їх виробляють із насіння олійних рослин (льону, коноплі, бавовни тощо). Вони складаються з органічних жирних кислот ненасиченого типу або ефірів цих кислот (рис. 4.9) [6].

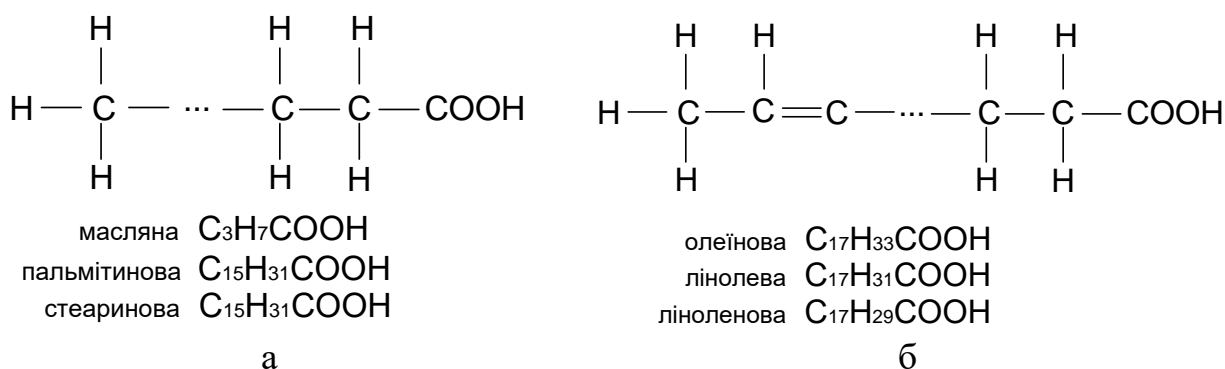


Рисунок 4.9 – Жирні кислоти, які входять до складу рослинних олій: а – насичені, б – ненасичені

Зміцнення стрижнів з рослинними оліями відбувається при нагріванні у результаті окиснення і полімеризації їх ненасичених жирних кислот (рис. 4.10).

Ненасичені – це такі жирні кислоти, у яких не всі атоми вуглецю насичені воднем, тому між атомами вуглецю є подвійні або потрійні зв'язки (валентності). Чим більше таких ненасичених валентностей, тим швидше твердне олія.

У ливарному виробництві використовували переважно лляну та конопляну олії (ГОСТ 5791-81). Оптимальним їх вміст у суміші 1,5%, температура сушіння – 200...240 °С.

Стрижні з рослинними оліями відзначаються високою міцністю після сушіння, високою податливістю, легким вибиванням, негіроскопічністю. Але оскільки рослинні олії є харчовими продуктами, ще в середині ХХ ст. використання їх як зв'язувальних компонентів було припинено. Незабаром їм було знайдено заміну.

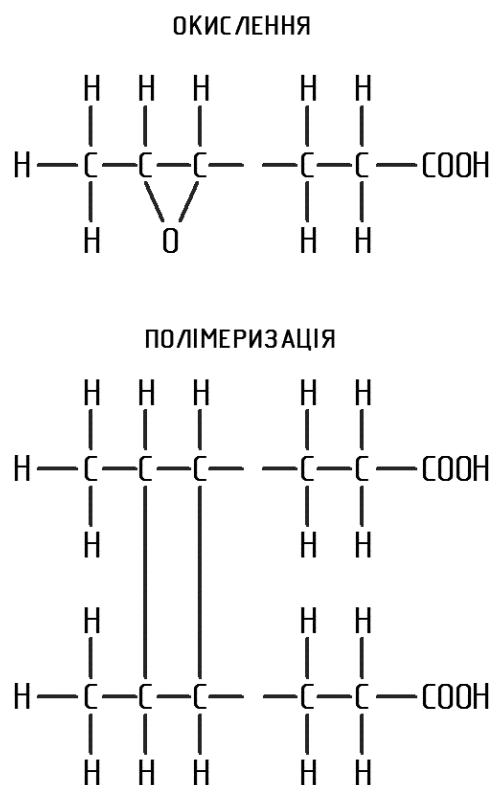


Рисунок 4.10 – Схеми твердіння олій

4.7.2. Нафтові масла

Рослинні олії було замінено маслами нехарчового характеру та іншими високоефективними зв'язувальними матеріалами. У 50-60 х рр. ХХ ст. було розроблено ряд синтетичних масел на основі продуктів перероблення сланців, нафти тощо [6, 9]:

1. **4ГУ(п)** – 50% напіввисихаючих або висихаючих олій, 47% уайт-спіриту, 3% каніфолі.
2. **4ГУ (в)** – 50% напіввисихаючих або висихаючих олій, 47% уайт-спіриту, 3% нафтополімерної смоли.
3. **ОХМ** («отработанное хлопковое масло») – відпрацьована бавовняна олія.
4. **П** – розчин окисленого петролатуму (побічного продукту при виготовленні масел із нафти) в уайт-спіриті у співвідношенні 1:1.
5. **ПТ** – розчин в уайт-спіриті окисленого петролатуму і талового масла (до 30%) – побічного продукту при виробництві целюлози із сосни.
6. **ПТА** – розчин в уайт-спіриті окисленого петролатуму, обробленого аміаком, і талового масла.

7. **КО** – розчин в уайт-спіриті кубових залишків від виробництва синтетичних жирних кислот.

8. **УСК** – розчин в органічному розчиннику кубових залишків перероблення нафти (30...35%) з адгезійною добавкою (0,1...1,5%);

9. **ГТФ** – генераторна важка фракція – продукт термічного перероблення естонських сланців. Склад наступний: 15,74% асфальтени, 20,00% смоли і 57,91% масла.

10. **Біфгаль** – 4% рослинної олії, 4% гліцерину, 16,5% каніфолі, 6% фталевого ангідриду, 24% нафтового бітуму, 0,7% сикативу і 44,3% уайт-спіриту.

Міцність сумішей при вмісті цих масел 2,0% після сушки при 210...225 °С становить 0,8...1,2 МПа при розриванні.

4.7.3. Переваги і недоліки масляних сумішей

Суміші з маслами характеризуються високою міцністю, дуже низькою гігроскопічністю (майже усі олії і масла неводорозчинні і гідрофобні рідини), а також високою газотвірністю. Найбільшу газотвірність із усіх зв'язувальних компонентів має КО (6600 см³/г, [6]). Інші характеристики представлено в табл. 4.25.

Таблиця 4.25 – Переваги і недоліки піщано-масляних сумішей

Індекс	Назва характеристики	Умовне позначення*
1	Питома міцність	↑
2	Технологічні властивості	↓
3	Термін зміцнення	↓
4	Гігроскопічність	↑
5	Газопроникність	-
6	Газотвірність	↓
7	Вогнетривкість	↓↓
8	Схильність до пригару	-
9	Податливість	↑↑
10	Вибиваємість	↑↑
11	Придатність до повторного використання	-
12	Недефіцитність	-
13	Нетоксичність	-

Примітка. Переваги і недоліки сумішей викладені у відповідності до загальних вимог, сформульованих до зв'язувальних компонентів (п. 4.1). Значок ↑ показує перевагу даного ЗК над іншими, значок ↑↑ – значну перевагу. Прочерк показує нейтральну позицію, значок ↓ – недолік, а значок ↓↓ – значний недолік.

Суміші з оліями і маслами зміцнюються тільки при нагріванні. У сирому стані вони мають дуже низьку міцність (5...7 кПа), тому часто до них додавали до 2% глини [9]. Але глина значно знижує міцність суміші після сушіння. Тому піщано-масляні суміші були витіснені із ливарних технологій сумішами з іншими ЗК.

Зараз їх використовують дуже мало, тільки в індивідуальному і дрібносерійному виробництві для стрижнів 1 і 2 класу складності.

4.8. Полісахариди

Полісахариди являють собою водні розчини побічних продуктів перероблення сировини, яка вміщує цукор.

Основними цукристими речовинами є [1, 6]:

- сахароза $C_{12}H_{22}O_{11}$;
- фруктоза $C_6H_{12}O_6$;
- глюкоза $C_{11}H_{22}O_{11}$;
- крохмаль $C_6H_{10}O_5$.

В окремому вигляді вони існують, але є харчовими продуктами досить високої якості, і тому в ливарному виробництві використовуються різні композиції, які вміщують певну кількість (45...55% у водному розчині) суміші цих речовин. При нагріванні вода випаровується, завдяки чому ЗК (полісахарид) зміцнюється.

До середини ХХ ст. стрижні зміцнювали у сушилах після вилучення їх із стрижневих ящиків. Зараз стрижні зміцнюють переважно у контакті з гарячим оснащенням. Полісахариди годяться для даної технології, але повністю поступаються синтетичним смолам і рідкому склу.

Серед найбільш поширених полісахаридів відомі наступні:

1. **Патока (меляса)** – побічний продукт перероблення цукрових буряків або цукрової тростини. Зв'язувальні властивості патоки залежать від вмісту цукристих речовин (сахарози, глюкози та фруктози). Чим більше цих речовин у розчині, тим кращі зв'язувальні властивості. Але понад 55% цукристих речовин значно збільшують в'язкість розчину, і його адгезія до зерен наповнювача знижується.

2. **Гідрол** – продукт перероблення кукурудзи на глюкозу. Його властивості подібні до властивостей патоки.

3. **Декстрин** – продукт неповного гідролізу картопляного чи маїсового крохмалю при 120...150 °С розбавленими HCl чи HNO_3 . Крохмаль є природним олігомером або навіть полімером і має велику молекулярну масу

$M \geq 500000$, внаслідок чого не розчиняється у воді. При нагріванні його молекули розщеплюються і стають розчинними. Декстрин виробляється у вигляді порошку жовтого чи палевого кольору.

4. **Крохмаліт** – продукт спеціального оброблення крохмалю. Використовується зараз не як окремий ЗК, а як добавка (0,015...0,100%) у піщано-глинястих сумішах формування по-сирому для підвищення їх технологічних властивостей [9].

5. **Екструзійний крохмаловмісний реагент (ЕКР)** – продукт спеціального оброблення крохмаліту. Застосування аналогічне – у піщано-глинястих сумішах формування по-сирому для підвищення їх технологічних властивостей, а також фізико-механічних (міцність форми у сирому стані 0,10...0,28 МПа при вологості меншій за 3,5%) [1].

Для зміцнення сумішей із полісахаридами необхідне теплове сушіння при температурах 140...200 °С. Інших способів зміцнення сумішей немає. Узагальнену характеристику сумішей із полісахаридами наведено у табл. 4.26.

Таблиця 4.26 – Переваги і недоліки піщано-полісахаридних сумішей

Індекс	Назва характеристики	Умовне позначення
1	Питома міцність	-
2	Технологічні властивості	-
3	Термін зміцнення	↓
4	Гігроскопічність	↓
5	Газопроникність	-
6	Газотвірність	↓
7	Вогнетривкість	↓↓
8	Схильність до пригару	-
9	Податливість	↑↑
10	Вибиваємість	↑↑
11	Придатність до повторного використання	-
12	Недефіцитність	↓
13	Нетоксичність	-

Примітка. Переваги і недоліки сумішей викладені у відповідності до загальних вимог, сформульованих до зв'язувальних компонентів (п. 4.1). Значок ↑ показує перевагу даного ЗК над іншими, значок ↑↑ – значну перевагу. Прочерк показує нейтральну позицію, значок ↓ – недолік, а значок ↓↓ – значний недолік.

Суміші з полісахаридами використовуються обмежено в індивідуальному і дрібносерійному виробництві для виготовлення стрижнів, які зміцнюються при нагріванні поза оснащенням. Але навіть у цьому аспекті

полісахаридам знайшли заміну. Тому вони зараз застосовуються лише як ЗК у протипригарних покриттях.

Але деякі із полісахаридів знайшли широке застосування як добавки у формувальних сумішах для автоматичних ліній формовки по-сирому. Це крохмальні добавки (до 0,1%), найефективніша із яких ЕКР. Вони стабілізують вологість суміші, підвищують міцність у зоні конденсації води, тим самим знижують ймовірність утворення ужимин на виливках.

4.9. Цементи

Цементи були першими зв'язувальними компонентами для ХТС, які використовували ще у 30-ті роки ХХ ст.

Цемент виробляють при спіканні (1300...1450 °С) сумішей вапняку та глини або інших матеріалів подібного складу. Утворений продукт розмелюють.

Зміцнення форм із цементом відбувається у результаті гідратації його мінералів (при взаємодії з водою) і утворення кристалогідратів, які, зрощуючись, створюють зв'язки (каркас) між піщинками формувальної суміші. Гідратація аліту ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) – основного мінералу, який входить до складу будь-якого цементу – проходить за реакцією [9]:



На першій стадії відбувається часткове розчинення і гідратація компонентів цементу. Утворені кристалогідрати випадають із пересиченого розчину, і процес їх зростання (полімеризації) триває доти, поки весь цемент не затвердіє. Оскільки розчинення і гідратація відбуваються повільно, необхідно додавати прискорювачі твердіння: полісахариди, ЛСТ, $(\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10})_n$, CaCl_2 , AlCl_3 , Na_2CO_3 , CaCO_3 , FeCl_3 , FeSO_4 , NaAlO_2 у кількості 10% від вмісту цементу в суміші [6, 7].

У ливарному виробництві використовують наступні різновиди цементів:

1. **Портландцемент** вміщує ряд сполук:

- трикальцієвий силікат (аліт) $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$;
- двокальцієвий силікат (беліт) $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$;
- трикальцієвий алюмінат $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$;
- чотирикальцієвий алюмоферит $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$.

Основним мінералом, який визначає міцність сумішей, є трикальцієвий силікат.

Марка цементу – його міцність при стисканні у кгс/см² через 28 діб. Для приготування ХТС використовують портландцементи марок 400 і 500.

2. Глиноземистий цемент вміщує:

- трикальцієвий алюмінат $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$;
- п'ятикальцієвий триалюмінат $5\text{CaO} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3$;
- однокальцієвий алюмінат $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$;
- однокальцієвий двоалюмінат $\text{CaO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3$.

Для приготування ХТС також використовують глиноземисті цементні марок 400 і 500.

Цементи, порівняно з рідким склом, забезпечують краще вибивання стрижнів із виливків, оскільки при нагріванні вони дегідратуються і суміші втрачають міцність. Але процес твердіння формувальних сумішей із цементами йде повільно, до 2...3 діб. Тому ХТС із цементом використовують виключно при виготовленні крупних і особливо крупних виливків у дрібносерійному виробництві. Склад і властивості цементних сумішей наведено у додатку Е. Узагальнену характеристику цього ЗК і сумішей на його основі наведено у табл. 4.27.

Таблиця 4.27 – Переваги і недоліки піщано-цементних сумішей

Індекс	Назва характеристики	Умовне позначення
1	Питома міцність	↓
2	Технологічні властивості	-
3	Термін зміцнення	↓↓
4	Гігроскопічність	-
5	Газопроникність	-
6	Газотвірність	-
7	Вогнетривкість	↑
8	Схильність до пригару	-
9	Податливість	-
10	Вибиваємість	↑
11	Придатність до повторного використання	↑
12	Недефіцитність	↑
13	Нетоксичність	↑

Примітка. Переваги і недоліки сумішей викладені у відповідності до загальних вимог, сформульованих до зв'язувальних компонентів (п. 4.1). Значок ↑ показує перевагу даного ЗК над іншими, значок ↑↑ – значну перевагу. Прочерк показує нейтральну позицію, значок ↓ – недолік, а значок ↓↓ – значний недолік.

Додатковим недоліком цементів є зниження їхньої активності при зберіганні внаслідок утворення гідратних оболонок на їх частинках. Цемент необхідно зберігати у сухому приміщенні або у герметичній тарі.

4.10. Гіпс

Основна сировина для виробництва гіпсових ЗК – це двоводний гіпс (гірська порода осадового походження $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Це м'який мінерал, який має твердість за Моосом 2,0, густину 2300 кг/м^3 , теплопровідність $0,3 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$. Із цього мінералу методом теплового оброблення (рис. 4.11) отримують напівводняний гіпс, який у нормальних умовах є активним по відношенню до води.

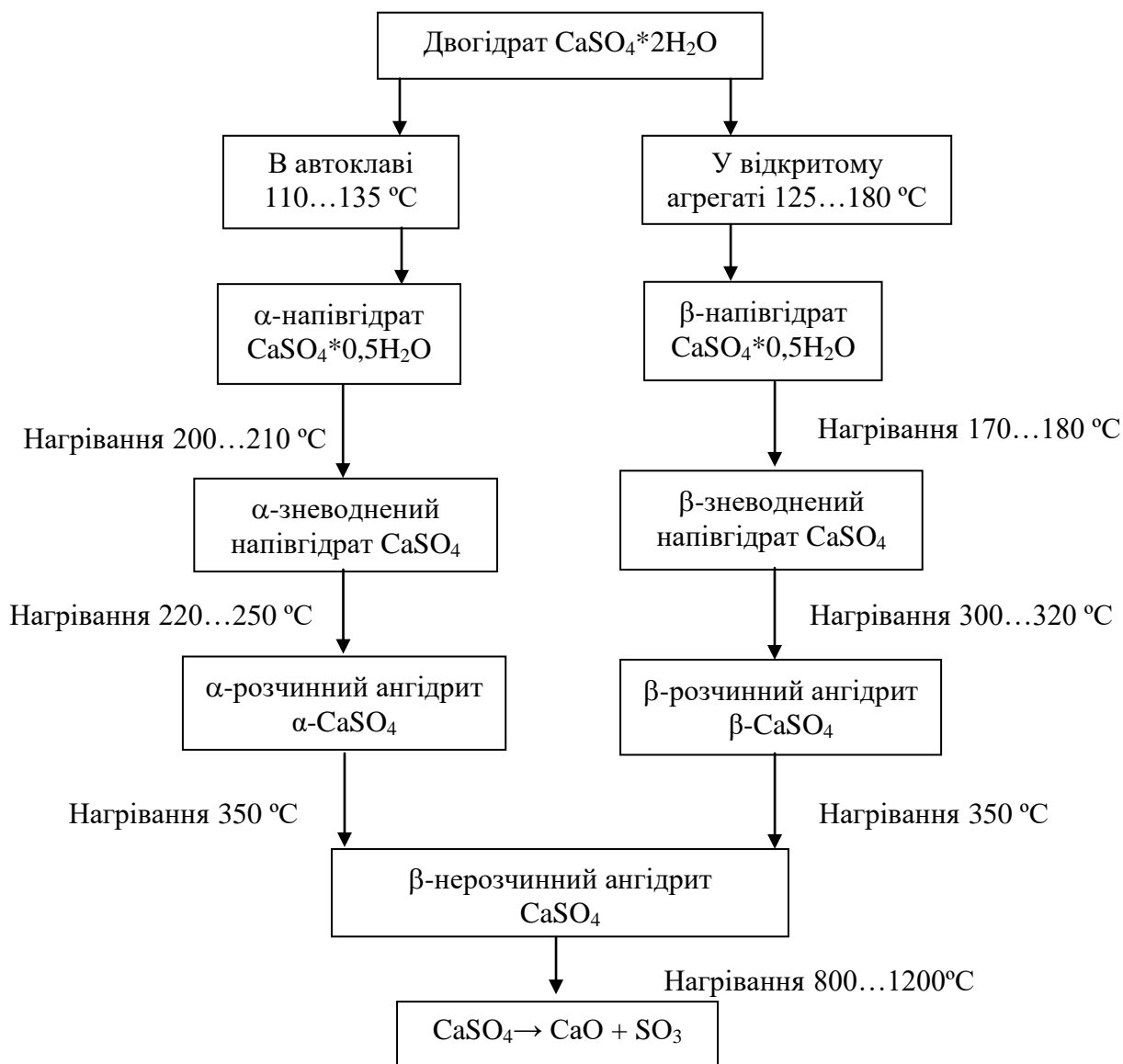


Рисунок 4.11 – Схема отримання гіпсу та його перетворень при нагріванні

Хімічна реакція дегідратації теоретично відбувається при температурі 107 °С [31]:



У реальних умовах дегідратацію проводять при 110...180 °С. Залежно від умов проведення реакції, можна отримати різні модифікації напівводного гіпсу. Якщо оброблення проводять в автоклаві – утворюється α -модифікація (високоміцний гіпс), а якщо у відкритому агрегаті – β -модифікація (будівельний гіпс). Густина напівводного гіпсу 2700 кг/м³.

Залежно від терміну зміцнення, гіпсові ЗК поділяють на три групи [31]:

1. А – гіпс швидкого зміцнення. Процес зміцнення починається через 2 хв після додавання води, закінчується не пізніше 15 хв.

2. Б – гіпс середнього зміцнення. Процес зміцнення починається через 6 хв, закінчується не пізніше 30 хв.

3. В – гіпс повільного зміцнення. Процес зміцнення починається з 20 хв, термін закінчення не регламентується.

Оптимальними для виготовлення ливарних форм термінами являються: початок зміцнення не раніше 7...10 хв та кінець не пізніше 15...20 хв.

До марки гіпсу входять наступні показники:

– міцність при стисканні зразків, висушених до постійної маси при 50 °С, виражена у кгс/мм²;

– група за терміном зміцнення (А, Б, В).

Наприклад, гіпс ГЗ-А – це гіпс із міцністю 3 кгс/мм² (30 МПа), швидкого зміцнення.

Основні марки будівельного гіпсу: Г3, Г5, Г7.

Основні марки високоміцного гіпсу: Г10, Г12. Найвища марка – Г22.

Підвищену міцність автоклавного (високоміцного) гіпсу зумовлено тим, наскільки тісно кристали напівгідрату злилися один з одним. Найщільнішу упаковку має α -модифікація, яка характеризується сплутано-волокнутою будовою.

Зміцнення сумішей з гіпсом відбувається при додаванні води і утворенні кристалогідрату.

Вміст гіпсу у формувальних сумішах – 10...30%.

При нагріванні гіпс втрачає спочатку частину води, знову перетворюючись у напівводний гіпс (див. рис. 4.11), а при 350 °С – на безводний гіпс, який називають ангідритом. Такий гіпс повторно не проявляє

зв'язувальної здатності. Починаючи із 800 °С починається частковий розпад сульфату кальцію, який завершується повністю при 1180...1200 °С.

Втрачаючи молекули води, кристалогідрати гіпсу зменшуються в об'ємі, тобто відбувається їх усадка, яка майже повністю компенсує термічне розширення наповнювача. Тому форми з гіпсовим ЗК мають найкращу термічну стабільність (коефіцієнт термічного розширення суміші $(0,2...0,6) \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, що приблизно у 5...10 разів менше, ніж у інших формувальних сумішей [10]. Саме ця причина є основою для використання їх у технологіях прецизійного (ювелірного) лиття.

Усі суміші на основі гіпсу є рідкорухомими самотвердними (РСС). Але їх рідкорухомість забезпечується не додаванням ПАР, а через високий (до 20...35%) вміст води. Ливарні форми мають високу міцність, але майже нульову газопроникність. Крім цього, термічна стійкість не дає змоги заливати у такі форми чавун або сталь.

Ці особливості зумовили їх використання лише для дрібних (ювелірних) виливків, або для виливків із сплавів кольорових металів з умовою встановлення у формі великої кількості випорів.

Узагальнену характеристику сумішей на основі гіпсу наведено у табл. 4.28.

Таблиця 4.28 – Переваги і недоліки гіпсових сумішей

Індекс	Назва характеристики	Умовне позначення*
1	Питома міцність	↓
2	Технологічні властивості	↑↑
3	Термін зміцнення	↓
4	Гігроскопічність	↓
5	Газопроникність	↓↓
6	Газотвірність	-
7	Вогнетривкість	↓
8	Схильність до пригару	↑
9	Податливість	-
10	Вибиваємість	↑
11	Придатність до повторного використання	↓
12	Недефіцитність	↑
13	Нетоксичність	↑

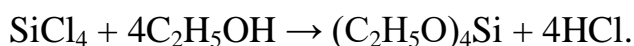
Примітка. Переваги і недоліки сумішей викладені у відповідності до загальних вимог, сформульованих до зв'язувальних компонентів (п. 4.1). Значок ↑ показує перевагу даного ЗК над іншими, значок ↑↑ – значну перевагу. Прочерк показує нейтральну позицію, значок ↓ – недолік, а значок ↓↓ – значний недолік.

Для лиття кольорових (переважно мідних) сплавів використовують будівельний гіпс, а для виготовлення форм у ювелірному литті – лише високоміцний.

Форма для лиття за моделями, що витоплюються, після виготовлення набуває маніпуляційної міцності (тобто цю форму можна транспортувати) приблизно через 1 год. Але кристалоутворення гіпсу з водою проходить досить повільно, і тому форму необхідно витримати 24 год до завершення цих процесів. Тільки після цього із неї витоплюють моделі та прожарюють, повільно нагріваючи у печі до 700...800 °С. Заливають у гарячому стані.

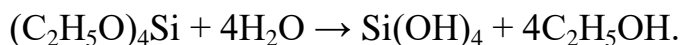
4.11. Етилсилікат

Етилсилікат $(C_2H_5O)_4Si$ – етиловий ефір ортокремнієвої кислоти. Інша його назва – тетраетоксисилан. Являє собою прозору, жовтувату або бурувату рідину. Вона є продуктом реакції етилового спирту із хлоридом кремнію [1, 6]:

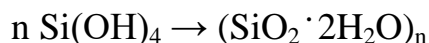


Для ливарного виробництва випускають етилсилікат трьох марок за ГОСТ 26371-84: етилсилікат-32, етилсилікат-40, етилсилікат-50. Число характеризує приблизний вміст SiO_2 в ньому. Чим більше SiO_2 , тим краща зв'язувальна здатність.

Етилсилікат застосовують у складі сумішей у вигляді розчину, який називають **гідролізованим розчином етилсилікату**. Для його отримання необхідно змішати етилсилікат із водою, внаслідок чого етоксильні групи C_2H_5O замінюються на гідроксильні OH , а лінійна будова молекул розгалужується [6]:



Утворений золь кремнієвої кислоти поступово перетворюється на гель (полімер):



Міцність кремнієвого полімеру є високою, і особливо у поєднанні з кремнеземистим наповнювачем (кварц, маршаліт, кристобаліт). Але реалізація даного механізму зміцнення можлива за умови обов'язкового змішування етилсилікату з водою, проте він у воді не розчиняється.

Неможливість змішати етилсилікат із водою викликає необхідність застосовувати органічні розчинники (ацетон, спирти, гліцерин тощо). Спочатку етилсилікат розчиняють в органічній рідині, а потім готовий розчин змішують з водою і проводять гідроліз.

Для прискорення реакції гідролізу додають каталізатор (розчин соляної кислоти). У гідролізований розчин додатково додають сірчану кислоту з метою нейтралізації шкідливих домішок (в основному оксидів заліза) у наповнювачі. Переваги і недоліки етилсилікату зведено у табл. 4.29.

На основі етилсилікату готують рідкі формувальні суміші – вогнетривкі суспензії, до складу яких входить гідролізований розчин етилсилікату (30...40%) та вогнетривкий пилоподібний наповнювач (60...70%).

Суспензії застосовують для виготовлення товстостінних керамічних або оболонкових керамічних форм (способи лиття у керамічні форми або за моделями, що витоплюються). Для таких форм вимірюють міцність на вигин на спеціальних зразках-пластинах, яка становить 1,0...10,0 МПа, а при використанні високоякісних наповнювачів (корунд, циркон, плавлений кварц) набагато більше.

Таблиця 4.29 – Переваги і недоліки етилсилікату

Індекс	Назва характеристики	Умовне позначення*
1	Питома міцність	↑
2	Технологічні властивості	-
3	Термін зміцнення	↓
4	Гігроскопічність	-
5	Газопроникність	↓
6	Газотвірність	↑
7	Вогнетривкість	↑↑
8	Схильність до пригару	↑↑
9	Податливість	↓
10	Вибиваємість	-
11	Придатність до повторного використання	↓
12	Недефіцитність	↓
13	Нетоксичність	↓

Примітка. Переваги і недоліки сумішей викладені у відповідності до загальних вимог, сформульованих до зв'язувальних компонентів (п. 4.1). Значок ↑ показує перевагу даного ЗК над іншими, значок ↑↑ – значну перевагу. Прочерк показує нейтральну позицію, значок ↓ – недолік, а значок ↓↓ – значний недолік.

4.12. Солекерамічні зв'язувальні системи

У спеціальних способах лиття використовують в основному постійні (металеві) форми. Але деякі виливки, які в них отримують, є настільки складними за конфігурацією, що для них неможливо виготовити металеві стрижні, які згодом можна буде вилучити із виливка. Тому часто доводиться використовувати піщані (разові) стрижні.

З середини ХХ ст. у таких випадках застосовували керамічні стрижні, отримані методами порошкової металургії (пресуванням із подальшим спіканням) із суміші оксидів алюмінію, кремнію, цирконію тощо. Процес виготовлення стрижнів був дуже тривалим і дорогим, а стрижень із виливка вилучити було досить важко, бо він мав величезну залишкову міцність.

Тому замість керамічних стрижнів розробили ряд так званих солекерамічних – у них разом із вогнетривкими оксидами наявні солі різних металів, які і є зв'язувальними компонентами в них. Такі стрижні також отримують спіканням, але воно відбувається за менших температур, а головне – стрижні легко вилучаються із внутрішніх порожнин виливка. Більшість із них є водорозчинними, тобто для вибивання необхідно занурити виливок у воду [1].

Виготовлення солекерамічних стрижнів є тривалим, дорогим і дуже відповідальним процесом, тому застосування таких стрижнів обмежується найскладнішими виливками відповідального призначення, коли неможливим є використання будь-якого іншого стрижня [1].

Першим методом виготовлення стрижнів є розплавлення (700...950 °С) суміші неорганічних солей металів з вогнетривким наповнювачем або без нього та подальше заливання утвореного шлікера в оснащення (стрижневий ящик). Тобто стрижень у даному випадку отримується литтям.

Другий спосіб полягає у приготуванні порошкової композиції із суміші солей та наповнювача з подальшим запресовуванням її у стрижневий ящик під високим тиском (100...400 МПа). Далі заготовку стрижня дістають із ящика і прожарюють (500...750 °С). Зміцнення відбувається за рахунок спікання (утворення рідкої фази із евтектичної суміші солей).

Третій спосіб – приготування водної або органічної суспензії із суміші солей з наповнювачем, її запресовування у стрижневий ящик. Після цього заготовку стрижня дістають із ящика і прожарюють (700...1000 °С).

Залежно від складу солей та термостійкості стрижнів, їх використовують для виготовлення виливків із сплавів на основі алюмінію, міді і навіть із сталі. Для виготовлення сталевих виливків використовують стрижні із солей барію. Переваги і недоліки сумішей із цими ЗК наведено у табл. 4.30.

Таблиця 4.30 – Переваги і недоліки солекераміки

Індекс	Назва характеристики	Умовне позначення*
1	Питома міцність	↑↑
2	Технологічні властивості	↓
3	Термін зміцнення	↓↓
4	Гігроскопічність	-
5	Газопроникність	-
6	Газотвірність	-
7	Вогнетривкість	↑↑
8	Схильність до пригару	↑
9	Податливість	-
10	Вибиваємість	↑↑
11	Придатність до повторного використання	↓
12	Недефіцитність	↓
13	Нетоксичність	-

Примітка. Переваги і недоліки сумішей викладені у відповідності до загальних вимог, сформульованих до зв'язувальних компонентів (п. 4.1). Значок ↑ показує перевагу даного ЗК над іншими, значок ↑↑ – значну перевагу. Прочерк показує нейтральну позицію, значок ↓ – недолік, а значок ↓↓ – значний недолік.

Особливостями процесів виготовлення солекерамічних стрижнів є значна складність, високі витрати енергії, необхідність суворого дотримання параметрів (температури, тиску, часу). Стрижневі ящики, у які заливають гарячі шлікери, мають бути виготовлені із спеціальних дорогих сплавів або композитів.

4.13. Інші зв'язувальні компоненти

4.13.1. Пеки та бітуми

Це матеріали, отримані шляхом простого хімічного оброблення сировини. Основними із них є пеки – деревний, торф'яний, кам'яновугільний та інші, а також комплексні ЗК на їх основі.

При вмісті 5,0...6,0% цих ЗК після сушки 200...230 °С міцність зразків при розриві становить 1,0...2,0 МПа, що дає змогу виготовляти із них стрижні найскладнішого (1-го) класу. Крім цього, вони забезпечують більш високу міцність суміші у сирому стані, в порівняно з маслами.

ТОП (таловий пек + керосин) – неводорозчинний ЗК, розчин талового пеку (65%) у керосині (35%) – однорідна рідина від темно-коричневого до чорного кольору.

КВ (необезсмолена «кисла вода» газогенераторних станцій, які працюють на деревному паливі) – побічний продукт процесу газифікації деревини, водорозчинна однорідна темна рідина з масовою долею сухих речовин понад 70%. Стрижневі суміші після сушки є негігроскопічними. Значну кількість формувального піску можна використовувати повторно, а також цей матеріал має протипригарну дію.

ЗК даної групи не застосовуються з 60-х рр. ХХ століття. Але зважаючи на їхній хімічний склад (вуглецеві матеріали), вони до цього часу використовуються як протипригарні добавки в облицювальних піщано-бентонітових сумішах для чавунного литва.

4.13.2. Кремнезоль

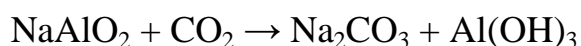
Кремнезоль – це колоїдний розчин SiO_2 (до 60%) у воді [6]. Його отримують методом видалення іонів натрію із рідкого скла, пропускаючи його через катіонітову смолу з подальшим нагріванням отриманих продуктів у лужному середовищі. Стабілізують колоїдний розчин додаванням 0,25...0,65% NaOH .

При конденсації таких кремнезольових розчинів вони утворюють гель (полімер) із силоксановими зв'язками $=\text{Si} - \text{O} - \text{Si} =$.

Застосовують переважно у вогнетривких суспензіях для виготовлення керамічних оболонкових форм за моделями, що витоплюються [32].

4.13.3. Алюмінат натрію

Водорозчинна сіль. Використовується у протипригарних покриттях, у тому числі для лиття за моделями, що газифікуються, при чавунному і сталевому литві. У разі застосування наповнювача корунду (Al_2O_3) може бути використаний як ЗК для форм та стрижнів. Зміцнюється при продуванні CO_2 протягом 2...2,5 хв [6]:



Після заливання форма легко розмивається водою, бо Na_2CO_3 – це водорозчинна сіль. Із отриманого розчину знову отримують алюмінат NaAlO_2 , таким чином це ЗК з оборотним характером зміцнення.

4.13.4. Оксинітрати та оксихлориди

До цієї групи відносяться наступні матеріали:

1. **Оксинітрат алюмінію** отримують із алюмінієвої пудри і концентрованої азотної кислоти у масовому співвідношенні 7:1. Готовий ЗК являє собою сиропоподібну рідину темно-зеленого кольору, яка містить 35...39% Al_2O_3 за масою.

Оксинітрат алюмінію $Al_3(OH)_8NO_3$ також випускається у вигляді гранул, розчиняється у воді і спиртах. У процесі прожарювання форми він перетворюється на Al_2O_3 , який і виконує зв'язувальну функцію. Бажано використовувати у поєднанні із корундом або алюмосилікатними наповнювачами.

Застосовують у вогнетривких суспензіях для виготовлення керамічних оболонкових форм за моделями, що витоплюються, при литті жароміцних і тугоплавких сплавів [10].

2. **Оксихлорид алюмінію** використовують у вигляді спиртового або спирто-ацетонового розчину із вмістом 6...12% Al_2O_3 за масою. Цей зв'язувальний компонент $Al_2(OH)_5Cl$ на повітрі зміцнюється оборотно, а при обробленні аміаком – необоротно.

Застосовується у вогнетривких суспензіях для виготовлення керамічних оболонкових форм за моделями, що витоплюються, при литті хімічно агресивних сплавів.

3. **Оксинітрат хрому** $Cr_n(OH)_{3n-1}NO_3$, оксихлорид хрому $Cr_n(OH)_{3n-1}Cl$ та оксиацетат хрому $Cr_n(OH)_{3n-1}CH_3COO$ отримують відновленням Cr_2O_3 спиртом або ацетатом у присутності розрахункової кількості кислоти, сіль якої потрібно отримати.

При прожарюванні форм виділяється Cr_2O_3 , який безпосередньо і утворює зв'язки між зернами наповнювача.

Застосовують у вогнетривких суспензіях для виготовлення високовогнетривких керамічних оболонкових форм за моделями, що витоплюються [10].

4.13.5. Сульфати

Ще в середині ХХ ст. встановлено, що майже усі кристалогідрати мінеральних солей, незалежно від їхньої приналежності до тієї або іншої групи, мають хорошу зв'язувальну здатність.

Зокрема, сульфати алюмінію $Al_2(SO_4)_3$ і магнію $MgSO_4$ та їхні кристалогідрати є водорозчинними зв'язувальними компонентами з оборотним характером зміцнення.

Для стрижневої суміші розроблено комплексний сульфатний ЗК у вигляді водного розчину – 10 мас. ч. $MgSO_4$ з додаванням 3 мас. ч. Na_2SO_4 . Суміш із вмістом 5% такого ЗК зміцнюється при нагріванні до $150\text{ }^\circ\text{C}$, має міцність при розриванні до 1,5 МПа [33].

Основне застосування даних ЗК – у протипригарних покриттях [9].

4.13.6. Полівінілбутираль

Продукт взаємодії полівінілового спирту і натрієвого альдегіду. Порошок білого кольору, розчиняється в одноатомних спиртах, ацетоні, комбінованих розчинниках, хлорованих вуглеводнях [60].

Використовують як ЗК у протипригарних покриттях, також входить до складу лаків КО-0168, КО-0169.

☞ *Контрольні запитання до розділу 4:*

1. Дайте визначення зв'язувальному компоненту та охарактеризуйте його призначення у суміші.
2. Назвіть вимоги, які пред'являють до зв'язувального компонента?
3. Що таке питома міцність зв'язувального компонента і як її визначають?
4. За якими ознаками класифіковано зв'язувальні матеріали А. М. Ляссом?
5. Наведіть найпоширеніші зв'язувальні компоненти.
6. Які фізичні та хімічні процеси призводять до зміцнення формувальних та стрижневих сумішей?
7. Які родовища глин мають промислове значення?
8. Які структурні елементи лежать в основі будови більшості глинястих мінералів?
9. На які основні класи поділяють формувальні глини?
10. Перерахуйте основні мінерали у складі формувальних глин.
11. Наведіть приклади та охарактеризуйте вплив шкідливих домішок у формувальних глинах.
12. Дайте визначення поняттю «активна глина».
13. Які основні параметри визначають зв'язувальну здатність глин?

14. Охарактеризуйте параметри глинястого матеріалу, які зумовлюють збільшення його об'єму при додаванні води.
15. Що таке активація глин і які способи її здійснення?
16. Які перетворення відбуваються у бентонітових та каолінових глинах при нагріванні.
17. За якими ознаками класифікують бентонітові глини? Наведіть приклад маркування.
18. За якими ознаками класифікують каолінові глини? Наведіть приклад маркування.
19. Дайте визначення органофільному бентоніту. Для виготовлення яких виливків його використовують?
20. Наведіть переваги та недоліки формувальних глин.
21. Надайте характеристику синтетичним смолам як зв'язувальному матеріалу.
22. Які матеріали використовують для приготування (синтезу) смол?
23. Наведіть різновиди синтетичних смол.
24. Назвіть основну мету модифікування смол та приклади модифікаторів.
25. Охарактеризуйте процеси виготовлення форм і стрижнів із холоднотвердних сумішей на синтетичних смолах.
26. Охарактеризуйте суміші теплового зміцнення із синтетичними смолами.
27. Охарактеризуйте плаковані піщано-смоляні суміші та наведіть способи плакування наповнювача смолами.
28. Наведіть переваги і недоліки синтетичних смол.
29. Надайте характеристику рідкому склу як зв'язувальному матеріалу.
30. Назвіть та охарактеризуйте способи приготування рідкого скла.
31. Назвіть та охарактеризуйте методи зміцнення сумішей з рідким склом.
32. У чому полягає проблема вибиваємості сумішей з рідким склом?
33. Назвіть та охарактеризуйте відомі способи покращення вибиваємості сумішей з рідким склом.
34. Наведіть переваги та недоліки рідкого скла.
35. Які різновиди технічних лігносульфонатів використовують як зв'язувальний компонент?

36. Назвіть способи зміцнення сумішей із технічними лігносульфонатами.
37. Наведіть переваги та недоліки технічних лігносульфонатів.
38. Охарактеризуйте фосфатні зв'язувальні компоненти.
39. Назвіть способи зміцнення сумішей із фосфатними зв'язувальними компонентами.
40. Наведіть та охарактеризуйте найбільш поширені матеріали для приготування сумішей з фосфатними зв'язувальними компонентами.
41. Наведіть переваги і недоліки фосфатних зв'язувальних компонентів.
42. Охарактеризуйте масла як зв'язувальні компоненти.
43. Наведіть переваги і недоліки масляних сумішей.
44. Охарактеризуйте полісахариди як зв'язувальні компоненти.
45. Наведіть переваги і недоліки полісахаридів.
46. Охарактеризуйте цементи як зв'язувальні компоненти.
47. Наведіть переваги і недоліки цементів.
48. Охарактеризуйте гіпс як зв'язувальний компонент.
49. Наведіть переваги і недоліки гіпсу.
50. Охарактеризуйте етилсилікат як зв'язувальний компонент.
51. Наведіть переваги і недоліки етилсилікату.
52. Охарактеризуйте солекерамічні зв'язувальні системи.
53. Наведіть способи виготовлення стрижнів із солевих та солекерамічних зв'язувальних систем.
54. Наведіть переваги і недоліки солекерамічних зв'язувальних систем.

РОЗДІЛ 5. ДОБАВКИ, ДОПОМІЖНІ ТА ПРОТИПРИГАРНІ МАТЕРІАЛИ

5.1. Добавки

5.1.1. Затверджувачі

Найбільшою групою добавок у сумішах є затверджувачі. Вони застосовуються виключно у холоднотвердних сумішах (ХТС) для реалізації процесу холодного зміцнення. Зв'язувальний компонент взаємодіє із речовиною-затверджувачем, внаслідок чого відбувається твердіння суміші за однією із схем, представлених у табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Процеси під час зміцнення ХТС

Індекс	Процеси у ХТС	Зв'язувальні композиції	Переваги	Недоліки
1	Гелеутворення $nЗК + mX =$ $ЗК_n \cdot H_2O + a$	Рідке скло + CO_2	– висока міцність – нетоксичність	– незадовільна вибиваемість – неможливість регенерації
		Рідке скло + $2CaO \cdot SiO_2$		
		Рідке скло + ефір		
		ЛСТ + CrO_3	– вибиваемість – простота регенерації	– токсичність затверджувача – низька термостійкість
2	Поліконденсація $nЗК + nX =$ $(ЗКX)_n + a$	Смола + кислота	– висока міцність – вибиваемість – швидке зміцнення	– токсичність – висока вартість
		Смола + ізоціанат + амін		
		Смола + пероксид + SO_2		
		Смола + CO_2		
		Смола + ефір		
3	Гідратація $nЗК + mH_2O =$ $nЗК \cdot mH_2O$	Цемент + вода	– недефіцитність	– повільне зміцнення
		Гіпс + вода	– недефіцитність – висока точність форми	– низька газопроникність – неможливість регенерації – низька термостійкість
		H_3PO_4 + оксид металу	– висока міцність – термостійкість – вибиваемість – нетоксичність – простота регенерації	– дефіцитність складових

Примітка. ЗК – зв'язувальний компонент; X – затверджувач; $ЗК_n \cdot H_2O$, $(ЗКX)_n$ або $nЗК \cdot mH_2O$ – затверділі полімери; a – побічні продукти

Найбільшою групою ХТС є піщано-смоляні суміші. Для них використовують різні затверджувачі органічного та неорганічного типу [1, 6, 22]:

1) для карбамідних смол – ортофосфорна кислота H_3PO_4 , розбавлена до густини $1300...1350 \text{ кг/м}^3$, як окремо, так і з добавками борної кислоти або уротропіну; алюмохромфосфатний ЗК у суміші з H_3PO_4 у масовому співвідношенні (5...9):1;

2) для карбамідо-фуранових смол із вмістом фурилового спирту до 65% – ортофосфорна кислота з густиною $1560...1590 \text{ кг/м}^3$;

3) для карбамідо-фуранових смол із вмістом фурилового спирту понад 65% – ортофосфорна кислота густиною $1700...1720 \text{ кг/м}^3$; водні розчини сульфокислот (БСК, ПТСК) концентрацією 60...75%;

4) для фенол-формальдегідних смол – водні, водно-гліколеві або водно-спиртові розчини сульфокислот (БСК, ПТСК) концентрацією 70...75%;

5) для фенол-формальдегідно-фуранових смол – водні розчини сульфокислот (БСК, ПТСК) концентрацією 70...75%;

6) для поліфуранових смол – водні розчини сульфокислот (БСК, ПТСК) концентрацією 70...75%.

Серед сульфокислот каталізаторами ХТС також можуть бути ксилолсульфокислота або парахлорбензолсульфокислота.

БСК – це продукт сульфонування бензолу концентрованою (кристалогідратною) сірчаною кислотою H_2SO_4 .

ПТСК – це продукт сульфонування толуолу концентрованою (кристалогідратною) сірчаною кислотою H_2SO_4 .

У варіанті Per-Set-процесу, де ЗК складається із двох речовин – поліспирту та поліізоціанату, затверджувачами є рідкі аміни з максимально високою температурою кипіння і показником кислотності $pH = 7...11$. Цим вимогам відповідають похідні піридину – гетероциклічної сполуки з атомом азоту в замкненому вуглеводневому ланцюжку.

В Alpha-Set процесі зв'язувальним компонентом є поліфенолят калію (оброблена лугом фенольна смола, переважно марок CHEM-REZ), а затверджувачами – складні ефіри загальної будови $R-COO-R'$ (триацетат гліцерину, γ -бутиролактон, пропіленкарбонат та їх суміші).

Ряд прогресивних процесів зміцнення ХТС побудовано на продуванні стрижнів у оснащенні газовими реагентами: амінами, SO_2 , CO_2 , метилформіатом тощо. Ці процеси описано у розділі 4.

Затверджувачі сумішей з рідким склом, ЛСТ, фосфатними зв'язувальними компонентами також представлено у розділі 4.

5.1.2. Регулятори властивостей

У піщано-глинястих сумішах використовують наступні добавки:

1) екструзійний крохмалювмісний реагент (ЕКР) у кількості 1% або крохмаліт у кількості до 0,1% для підвищення міцності в зоні конденсації води (в 1,5...2,5 рази), зниження обсипаємості (у 2...3,5 рази), покращення текучості, формувальності, ущільнювальності, стійкості до утворення ужимин [1, 6];

2) целлолігнін (речовина, яка утворюється при переробленні дубової сировини) у кількості 0,75% покращує стійкість до утворення ужимин, міцності та газопроникності суміші [1];

3) азбест у сумішах для формовки по-сирому знижує обсипаємість та схильність до утворення ужимин, покращує податливість [6];

4) агрімус (побічний продукт проведення пентозного гідролізу кукурудзяних качанів у присутності 0,5...2,0% каталізатора (суперфосфату)) у кількості 1,5% підвищує текучість, стабілізує вологість, підвищує міцність у зоні конденсації води [6];

5) ЛСТ у кількості 2% або керосин у кількості 0,4% підвищує текучість;

6) $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ у розчині з водою, обробленою магнітним або ультразвуковим полем – електроліт, який підвищує на 30...50% міцність у сирому стані;

7) дерев'яна тирса у кількості 1,5% підвищує податливість сумішей.

У піщано-смоляних сумішах використовують наступні добавки:

1) для підвищення міцності основним видом добавок є силани. Це кремнійорганічні сполуки, які вводять у смолу на етапі її приготування. При додаванні 0,1...0,5% силану міцність зростає до 3...4 разів [1];

2) додавання до кислотних затверджувачів піщано-смоляних сумішей на основі ПТСК таких речовин як HBF_6 , H_2SiF_6 , HF підвищує міцність [22];

3) бура $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ є добавкою у зв'язувальний компонент для Resol- CO_2 -процесу (лужний поліфенолят) для підвищення міцності сумішей;

4) ізопропіловий спирт $\text{C}_3\text{H}_7\text{OH}$ у кількості 0,2% підвищує живучість піщано-смоляних сумішей теплового зміцнення [6];

5) $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ у кількості 0,6% у сумішах теплового зміцнення з фурановими смолами збільшує міцність та знижує тривалість сушіння з 45 до 20 хв.

У сумішах із рідким склом використовують наступні добавки:

1) NaOH у вигляді 10%-го водного розчину для регулювання модуля, а як наслідок – тривалості твердіння, міцності і вибиваємості;

2) каолінова глина у кількості 3...6% для підвищення міцності у сирому стані та покращення вибиваємості;

3) боксит у кількості 3,0%, азбестова крошка у кількості 5,0%, корунд у кількості 2,5%, гідроксид алюмінію у кількості до 2,0% покращують вибиваємість [24];

4) вугільний пек, деревний пек, зв'язувальний компонент ГТФ, торф, бітум у вигляді бензинових розчинів у кількості 2...3% покращують вибиваємість;

5) пульвербакеліт (різновид фенольної порошкової смоли) у кількості 1,0% покращує вибиваємість;

6) FeSO_4 покращує вибиваємість за рахунок проходження кислої реакції гідролізу і утворення за реакцією заміщення гелю кремнієвої кислоти;

7) речовина Dexil 35 (25% MnO_2 , 50% декстрину, 25% CaCO_3) сприяє покращенню вибиваємості [1];

8) триполіфосфат натрію $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ додають у рідке скло на етапі його приготування. Це призводить до підвищення живучості сумішей та покращення вибиваємості у 3...4 рази [6];

9) вермікуліт або спучений перліт у кількості до 1,0% в РСС з рідким склом покращують вибиваємість [6, 7].

10) мазут також покращує вибиваємість за рахунок виділення сажистого вуглецю [7];

11) азбест у кількості 3...6% у сумішах з рідким склом, які зміцнюються продуванням CO_2 , підвищує початкову міцність та покращує вибиваємість [6].

У сумішах з ЛСТ використовують наступні добавки:

1) карбамід або гліцерин є пластифікаторами: вони знижують напруження, які виникають при сушінні [9];

2) NaNO_3 у кількості 0,5...1,0% у два рази підвищує міцність;

3) KNO_3 у кількості 1,0% дає змогу майже вдвічі збільшити міцність у сухому стані (до 0,8...1,0 МПа при розриванні). Якщо KNO_3 вводити безпосередньо в ЛСТ як модифікатор, то його загальна кількість може бути знижена до 0,6%;

4) NH_4NO_3 або KCl використовують як модифікатори ЛСТ – підвищують міцність суміші після сушіння;

5) $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ (персульфат амонію) знижує гігроскопічність сумішей на 50% за рахунок підвищення оптимальної температури сушіння.

6) KMnO_4 сприяє покращенню податливості сумішей [1].

5.1.3. Поверхнево-активні добавки

Застосовуються головним чином у рідких самотвердних сумішах (РСС). Для них важливо забезпечити певний період стійкості піни, після чого вона має зникнути для забезпечення ефективної взаємодії ЗК із затверджувачем. Таким чином, як правило, до суміші вводять два ПАР – піноутворювач та піногасник. В окремих випадках одне і те ж ПАР може виконувати обидві функції, забезпечуючи задану стійкість піни.

Досягнення заданих властивостей РСС залежить від наступних властивостей суміші [7]:

1) кратність виходу піни (об'єм піни, який утворюється із 1 см³ ПАР заданої концентрації);

2) стійкість піни (час, протягом якого суміш зберігає рідкорухомість).

При недостатній кратності виходу піни суміш не потече, необхідно додавати велику кількість ПАР. При низькій стійкості піни суміш може втратити текучість ще на етапі перемішування. При надто високій стійкості піни вона залишається у суміші після затвердіння, і суміш буде мати нульову газопроникність.

При цьому бажано, щоб необхідні технологічні властивості суміші (текучість, стійкість піни) забезпечувались при мінімальній кількості води. Залежно від кількості води, необхідної для переведення суміші у рідкорухомий стан, піноутворювачі поділяють на три групи: високої якості (суміші потребують вмісту до 2,0% води), середньої якості (2,0...3,0% води), низької якості (понад 3,0% води).

Відомі такі піноутворювачі для РСС [7]:

1) ДС-РАС (при вмісті 0,1% у суміші забезпечує стійкість піни 8 хв при вмісті води 2,0%) – ПАР високої якості;

2) нафтова ростова речовина (НРВ) (при вмісті 0,15% у суміші забезпечує стійкість піни 18 хв при вмісті води 2,0%) – ПАР високої якості;

3) асидол нейтралізований (при вмісті 0,04% у суміші забезпечує стійкість піни 20 хв при вмісті води 2,0%) – ПАР високої якості;

4) контакт Петрова, нейтралізований 10%-розчином NaOH (при вмісті 0,4% у суміші забезпечує стійкість піни 7 хв при вмісті води 2,0%) – ПАР високої якості;

5) НЧК (при вмісті 1,5% в суміші забезпечує стійкість піни 4 хв при вмісті води 2,0%) – ПАР високої якості;

6) сире сульфатне мило (при вмісті 0,4% у суміші забезпечує стійкість піни 10 хв при вмісті води 2,0%) – ПАР високої якості;

7) сульфірол-8 (при вмісті 0,1% в суміші забезпечує стійкість піни 8 хв при вмісті води 2,0%) – ПАР високої якості;

8) змочувач НБ (при вмісті 0,1% у суміші забезпечує стійкість піни 15 хв при вмісті води 2,0%) – ПАР високої якості;

9) сульфол ОП-10 (при вмісті 0,4% у суміші забезпечує стійкість піни 13 хв при вмісті води 3,5%) – ПАР низької якості.

Найкращим за комплексними характеристиками для РСС є змочувач НБ («некаль»), який являє собою бутилнафталінсульфонат натрію.

Як піногасники використовують у першу чергу НЧК (амонійну сульфосіль), пропіловий спирт. Кращими комплексними властивостями (піноутворювач + піногасник) наділений КЧНР (контакт чорний нейтралізований рафінований) – водний розчин кислого нафтового гудрону, рафінований від мастил, смол і сульфату натрію.

5.2. Допоміжні матеріали

5.2.1. Розділові покриття

Розділові покриття наносять на поверхню модельних плит, моделей і стрижневих ящиків з метою усунення прилипання суміші до оснащення.

Основна область використання – модельне оснащення для виготовлення форм із сирих піщано-глинястих сумішей (ПГС), а також для форм та стрижнів із ХТС або РСС.

Як **разові покриття** використовують дрібнодисперсні порошки сріблястого графіту, тальку, лікоподію тощо.

Графіт кристалічний ливарний (графіт сріблястий, ГОСТ 5279-74) застосовують для покриття робочих поверхонь півформ, призначених для отримання чавунних виливків.

Аналогічне застосування, але менше поширення мають тальк порошкоподібний, мікротальк (ГОСТ 2123-75, ГОСТ 21235-75, марка ТП) та сажа біла (ГОСТ 13797-84).

Лікоподій – порошок із спор рослини плауна. Не змочується водою. На практиці застосовується також штучний лікоподій КС – тонкоподрібнений мармур, змочений стеарином.

Високі антифрикційні властивості забезпечує порошок дисульфиду молібдену (MoS_2). Для його затримання на вертикальних поверхнях моделей рекомендовано підвищувати шорсткість поверхонь моделей.

Зменшення адгезії (прилипання) суміші до модельного оснащення і підвищення ресурсу його служби досягається при використанні розділових і напівпостійних покриттів.

Вказані розділові покриття потрібно наносити на поверхню оснащення перед кожною операцією формовки.

Напівпостійні покриття багаторазово захищають моделі і стрижневі ящики (переважно дерев'яні) від передчасного зношування і одночасно зменшують прилипання до них суміші. Використовують нітроцелюлозні емалі, епоксидні емалі, хімічно стійкі лаки, силоксанові каучуки тощо.

5.2.2. Допоміжні матеріали для стрижнів

Ливарні клеї призначені для склеювання стрижнів. Клей повинен мати хорошу покривальну здатність при нанесенні на поверхні стрижнів, забезпечувати високу міцність склеювання, мати мінімальну гігроскопічність.

Приклади композицій для склеювання стрижнів наведено в табл. 5.2.

Таблиця 5.2 – Склад композицій для склеювання стрижнів (мас. ч.)

Компоненти	Номер композиції							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Глина вогнетривка	40...50	20...30	10...20	-	18...28	-	15...40	-
ЛСТ (густина 1240...1250 кг/м ³)	40...42	-	64...82	-	60...65	-	-	-
Декстрин	-	-	-	1...10	-	-	-	-
Кварц пилоподібний	-	осн.	-	осн.	-	-	10...25	-
Рідке скло (модуль 2,8...3,0; густина 1490...1510 кг/м ³)	-	30...40	-	20...55	-	20...50	30...50	57...62
Полівінілацетатна дисперсія (ПВА)	-	2...4	-	-	-	-	-	-
Полігліколі	-	-	8...16	-	-	-	-	-
Гіпан ¹⁾	-	-	-	-	12...17	-	-	-
Стиромаль ²⁾	-	-	-	-	-	-	0,2...0,7	-
Бентоніт	-	-	-	-	-	10...15	-	-
Вапно (0,02...0,10 мм)	-	-	-	-	-	10...40	-	-
Азбест	-	-	-	-	-	-	-	1,7...2,1
Сода кальцинована	-	-	-	-	-	-	-	2,8...3,2
Тальк	-	-	-	-	-	-	-	30...36
Вода	16...20	10...20	-	8...10	-	-	2...15	2,8...2,9

Примітки:

1. Продукт омилення поліакрилонітрилу гідроксидом натрію.
2. Співполімер стиролу і малеїнового ангідриду.

Призначення **замазок** – зашпаровування поверхневих дефектів стрижнів (швів, тріщин, сколів) при їх остаточному обробленні перед встановленням у форму (табл. 5.3).

Таблиця 5.3 – Склад замазок для стрижнів та форм (мас. ч.)

Компоненти	Номер композиції								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Пісок кварцовий	-	47,6	60	30	-	-	-	-	-
Чорний графіт	65,90	-	25	-	-	-	-	-	-
Бентоніт	8,67	3,9	-	-	-	-	-	10	-
Глина формувальна	-	-	15	40	-	-	6...10	-	-
Кварц пілоподібний	-	-	-	30	-	-	-	-	-
Пісок жирний	-	-	-	-	34...26	60	-	90	36...38
Тальк	25,43	20	-	-	63...70	30	94...90	-	63...60
Залізний сурик	-	-	-	-	-	10	-	-	-
Декстрин	-	-	-	-	-	-	-	-	1...2
Пектиновий клей	-	-	-	-	1...2	-	-	-	-
ЛСТ	-	-	-	2 ¹⁾	2	-	-	-	1...2 ¹⁾
Крохмаль або ЕКР	-	4,3	-	-	-	-	-	-	-
Кристалічний NaOH	-	0,6	-	-	-	-	-	-	-
Вода	60 ¹⁾	23,6	30 ¹⁾	13 ¹⁾	30...40	35 ¹⁾	20...30	25 ¹⁾	30...40
Застосування за типом сплаву	СЧ	Сплави Al і Cu	СЧ	Сталь	Алюмінієві сплави				

Примітка: Понад 100%.

При виготовленні стрижнів і форм із ХТС як замазки використовують безпосередньо ці ХТС.

Для ущільнення роз'ємів, знаків стрижнів, а також ливникових чаш при складанні форм використовують **прокладочні джгути**. Вони мають бути пластичними, досить міцними (0,04...0,05 МПа при розриві) і протидіяти механічному та термічному впливу рідкого металу. Приклади композицій для прокладочних джгутів наведено в табл. 5.4.

Витрата джгута 2,5...4,0 кг на 1 тонну придатних виливків. У результаті їх застосування досягається зниження маси заливів по роз'єму форми в обсязі 6...12 кг на тонну придатних виливків.

Таблиця 5.4 – Склад композицій для прокладочних джгутів (мас. ч.)

Компоненти	Номер складу					
	1	2	3	4	5	6
Азбест мелений	60...80	-	-	-	-	65
Глина мелена	-	50	10...12	основа	-	-
Бітум нафтовий (БН-П)	10...20	25	-	20...28	-	16
Мінеральне мастило	10...20	-	-	-	-	-
Промислове мастило И-40А	-	-	-	-	-	19
Бентоніт	-	-	-	-	35...40	-
Тальк	-	-	-	-	10...12	-
Рідке скло (густина 1340...1360 кг/м ³)	-	-	-	-	48...55	-
Пісок кварцовий	-	-	70...75	-	-	-
Хлорид кальцію або магнію	-	-	-	23...32	-	-
Вода	-	25	13...20	8...10	-	-

Призначення **матеріалів для забезпечення вентиляції** – полегшення газовиведення із стрижнів у процесі заливання металу і твердіння виливка. Рекомендовано використовувати наступні композиції:

- 1) для стрижнів, висушуваних при температурі 220 °С і вище: бітум №5 – 80 мас. ч., парафін – 15 мас. ч.; петролатум – 5 мас. ч.;
- 2) для стрижнів, висушуваних при температурі нижче 220 °С: бітум №2 (або №3) – 80 мас. ч., парафін жовтий – 20 мас. ч.

Для стрижнів із піщано-смоляних ХТС рекомендується використання капронових шнурів, які представляють собою жорстку трубку діаметром 7 мм із капронових моноволокон і бавовняних ниток, яку розміщують у стрижні в порожнині стрижневого ящика в процесі подачі туди суміші.

5.2.3. Екзотермічні та теплоізоляційні суміші для надливів

Екзотермічні суміші використовують для підігрівання металу в надливах з метою підвищення ефективності живлення виливків, зменшення маси надливу і підвищення виходу придатного литва (табл. 5.5).

Таблиця 5.5 – Екзотермічні суміші для надливів

Компоненти сумішей	Індекси сумішей ¹⁾							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Окислювані компоненти								
Порошок Al	23	23	19...23	12...25	-	20...25	15...20	-
Феросиліцій ФС-75	-	-	-	-	21	-	-	-
Силікокальцій	-	-	-	-	28	-	-	-
Сплав Si-Mg-Ca-Al	-	-	-	2...6	-	-	-	-
Окислювачі								
Оксиди заліза (рудний концентрат, окалина тощо)	12	12	10...15	-	26	6...14	8...16	-
Марганцева руда	4	4	3...5	-	-	4...6	-	40...52
Хромітова руда	-	-	-	20...45	-	-	-	-
Натрієва селітра	-	-	-	2...6	7	-	-	0,5...6,0
Калієва селітра	-	-	-	-	-	2...8	-	-
Каталізатори								
Кріоліт Na ₃ AlF ₆	6	6	4...6	-	-	6...8	2...4	-
NaF або CaF ₂	-	-	-	0,3...0,4	-	-	-	0,5...1,5
Уповільнювачі горіння								
Деревна тирса	-	-	-	2...10	-	-	-	-
Графіт	-	-	-	-	-	-	0,5...4,0	-
Зв'язувальні компоненти								
Декстрин	4	-	3...5 ²⁾	-	-	4...6	4...6	-
Рідке скло	-	10...12	-	10...20	-	-	-	4...6
ЛСТ	-	-	-	-	8	-	-	-
Синтетична смола	-	-	-	-	-	-	4,5...5,5	-
Добавки								
Глина вогнетривка	10	12	52...55	1...15	18	7...10	7...10	4,0...6,5
Керамзит	-	-	-	1...8	-	-	-	-
Шамот	41	43	-	1...15	-	решта ³⁾	решта ³⁾	-
Пісок кварцовий	-	-	-	-	-	-	-	10...25
Вода	До необх. формувальності	-	-	-	-	-	-	-

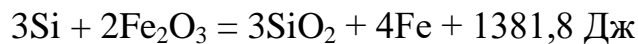
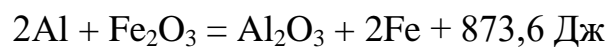
Примітки:

1. Область використання екзотермічних сумішей наступна:

- №1 для закритих надливів (діаметром до 200 мм) сталевих виливків;
- №2 для закритих і відкритих надливів діаметром понад 200 мм;

- №3 універсальна для сталевих виливків;
 - №4 універсальна для сталевих виливків;
 - №5 для високолегованої сталі 12Х18Н9ТЛ;
 - №6 для виливків із високоміцного чавуну;
 - №7 для виливків із сірого і високоміцного чавуну;
 - №8 для виливків із мідних і алюмінієвих сплавів.
2. Замість декстрину можуть бути використані рідке скло, ЛСТ або синтетична смола.
 3. Замість шамоту може бути використано кварцовий пісок.

Джерелом теплоти, яка виділяється, служать реакції окиснення алюмінію (у вигляді порошку або стружки), а також кремнію (у складі феросиліцію, силікокальцію тощо):



До складу екзотермічних сумішей входять наступні п'ять компонентів:

- 1) окиснюваний компонент (алюміній, феросиліцій, силікокальцій тощо);
- 2) окиснювач (залізородні мелені концентрати, залізна окалина, концентрати марганцевих і хромітових руд, натрієва і калієва селітра тощо);
- 3) каталізатор, який знижує температуру займання термітної суміші (фториди лужних металів, кріоліт);
- 4) уповільнювач реакції горіння (мелений шлак, зола);
- 5) зв'язувальний компонент (вогнетривка глина, рідке скло, ЛСТ, декстрин, синтетична смола тощо).

Із екзотермічних сумішей струшуванням або пресуванням виготовляють оболонки для відкритих або закритих надливів, або брикети для відкритих надливів. Витрата екзотермічної суміші на 1 т виливків становить 60...70 кг. Маса надливів знижується в 2,5...4 рази, вихід придатних виливків зростає до 75... 80%.

Теплоізоляційні суміші використовують у вигляді пластин чи втулок для облицювання порожнин надливів, а також як засипки на дзеркало металу в ковшах, відкритих надливах і у виливницях при отриманні зливків з метою зниження тепловтрат через дзеркало металу.

Рецептури теплоізоляційних сумішей, мас. ч.:

- 1) високоглиноземиста вата 25...30; рідке скло (модуль 2,0...2,2, густина 1480...1500 кг/м³) 5...6; вода 64...70;

- 2) спучений перліт 82...88; мелений боксит 4...7; ортофосфорна кислота 8...11;
- 3) спучений перліт 100; рідке скло 10;
- 4) високоглиноземиста вата 60...70; рідке скло (модуль 2,6, густина 1100...1130 кг/м³) 30...40;
- 5) спучений перліт 81; каолін 19; рідке скло 40;
- 6) кварцовий пісок – основа; деревна тирса 5...30; перемелений кокс 5...30; РС 10...35; гідроксид натрію (10%-й розчин) 0,5...1,5;
- 7) подрібнений керамзит 42,5; деревна тирса 2,2; азбест 12,8; рідке скло 6,5; вода 33,5; ферохромовий шлак 2,5;
- 8) подрібнений керамзит (фракцій 0,15...2,00 мм) 65...90; рідке скло 10...35;
- 9) вагранковий шлак 85...95; рідке скло 5...15;
- 10) спучений перліт 10...50; подрібнений керамзит 10...80; рідке скло 4...35, гідроксид натрію (10%-й розчин) 0,5...1,5;
- 11) високоглиноземиста вата 10...20; полівінілацетатний клей 5...15; вода 65...85;
- 12) спучений перліт 4,5...5,5; шамот 27...33; азбест 40...50; рідке скло 11,5...12,5; вода 7...9;
- 13) спучений перліт 100; алюмофосфатний зв'язувальний компонент 12...13;
- 14) спучений перліт 94; мелений боксит 6; ортофосфорна кислота (густина 1500 кг/м³) 10.

Шляхом теплоізоляції надливів досягається підвищення виходу придатного литва у середньому на 10%.

5.3. Протипригарні матеріали і покриття

5.3.1. Види протипригарних матеріалів

Спосіб попередження пригару залежить від таких основних факторів:

- тип ливарного сплаву;
- маса виливка;
- товщина стінок виливка;
- спосіб формоутворення.

У свою чергу, спосіб формоутворення вибирають залежно від трьох попередніх факторів.

Застосовують наступні способи попередження пригару:

1. **Протипригарні припили** – дрібнодисперсні порошки, які наносять на поверхню моделей перед формовкою, після чого вони переходять на поверхню сирих ливарних форм. Використовують в індивідуальному і дрібносерійному виробництві для дрібних виливків, товщина стінок яких не перевищує 10 мм. Для чавунного литва наносять такі припили: графіт або тальк $3\text{MgO}\cdot 4\text{SiO}_2\cdot \text{H}_2\text{O}$. Для сталевого литва – пилоподібний кварц (або маршаліт), дистен-силіманіт, циркон чи корунд [9].

2. **Добавки у формувальну суміш.** У серійному і масовому виробництві припили не використовують. При литті у сирі форми у суміш додають протипригарні добавки, які залежать від ливарного сплаву чавун або сталь. Для чавуну використовують переважно графіт або інші вуглецеві матеріали з метою створення у суміші після заливання вмісту блискучого вуглецю на рівні 0,5...0,6%. Розрахунковий вміст вуглецевих матеріалів при товщині стінок 10 мм становить 3%, а при товщині стінок 50 мм – 6...8% [3].

Але слід враховувати, що із збільшенням вмісту вуглецевих матеріалів у суміші погіршуються її фізико-механічні властивості, особливо міцність. Тому їх вміст має не перевищувати 6%. Якщо за такої кількості вугілля неможливо досягти чистої поверхні виливків без пригару, необхідно переходити на формування по-сухому.

Формовка по-сирому використовується для чавунних виливків масою до 100...200 кг, а в окремих випадках допускається для виливків масою до 500 кг, за умови використання облицювальної і наповнювальної формувальної суміші. В такому разі добавки вуглецевих матеріалів містяться тільки в облицювальній суміші.

Для сталевого литва (маса виливків до 100 кг) використовують добавки пилоподібного кварцу або циркону (від 5 до 15%). Також хорошу протипригарну здатність, завдяки утворенню легковідокремлюваного пригару, мають окислювальні добавки. Як окислювачі використовують хлориди і фториди металів, оксиди ванадію, сульфати натрію чи алюмінію, марганцеву або залізну руду (0,3...0,7%). Окислювальні добавки доцільно вводити тільки в облицювальну суміш.

Крім цього, на поверхню форми можна наносити окислювальні порошки $\text{AlNH}_4(\text{SO}_4)_2\cdot 12\text{H}_2\text{O}$, $\text{NaH}_2\text{PO}_4\cdot 12\text{H}_2\text{O}$, $\text{Al}(\text{NO}_3)_3\cdot 9\text{H}_2\text{O}$, $(\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10})_n$ та ін. При заливанні металу у форму ці порошки розплавляються і сприяють зчепленню між піщинками, зменшенню пористості поверхні форми [9].

3. Протипригарні фарби – це суспензії на основі пилоподібного вогнетривкого матеріалу, призначені для нанесення тонким шаром на поверхню форми чи стрижня.

Фарби використовують при литті в сухі форми або форми із ХТС. Ці процеси застосовують для виготовлення виливків масою понад 100 кг. Фарбуванню піддають усі поверхні форм, які контактують з рідким металом.

Для чавунних виливків використовують фарби на основі графіту. Для сталевих виливків основою фарби можуть бути пилоподібний кварц (або маршаліт), хроміт, хромомагnezит, магнезит, дистен-силіманіт, циркон, корунд.

Усі ливарні стрижні, незалежно від розмірів і складу сумішей, в обов'язковому порядку піддають фарбуванню.

4. Протипригарні пасти – це густі суспензії (за складом схожі на фарби), призначені для нанесення товстим шаром (декілька міліметрів) на поверхню форм при отриманні крупних товстостінних виливків (маса понад 5000 кг, товщина стінок понад 100 мм). Такі виливки отримують у сухих піщано-глинястих формах або формах із ХТС.

Для чавунного литва використовують пасти на основі графіту, для сталевих виливків – на основі хроміту, хромомагnezиту, циркону, корунду.

5. Облицювальні протипригарні суміші. При виготовленні крупних і унікальних товстостінних виливків (лиття у форми із ХТС) використовують облицювальні формувальні суміші на основі високотермостійких матеріалів – хроміту, хромомагnezиту, магнезиту, циркону. Наповнювальною сумішшю в такій формі є зазвичай суміш на основі кварцового піску.

6. Розчини зв'язувальних компонентів. В індивідуальному і дрібносерійному виробництві застосовують спрощений спосіб попередження пригару – оброблення поверхні форми або стрижня розчином самотвердного ЗК (наприклад, рідкого скла). Після затвердіння поверхневий шар форми зміцнюється і має мінімальну пористість. Але через низьку ефективність цей спосіб майже не застосовують.

5.3.2. Протипригарні фарби

5.3.2.1. Різновиди та склад протипригарних фарб

Основним способом попередження пригару для сухих форм, форм із ХТС та для усіх ливарних стрижнів є використання протипригарних фарб. Після зміцнення на поверхні форми або стрижня вони утворюють шар

протипригарного покриття необхідної товщини. Класифікацію покриттів і способів їх отримання наведено на рис. 5.1.

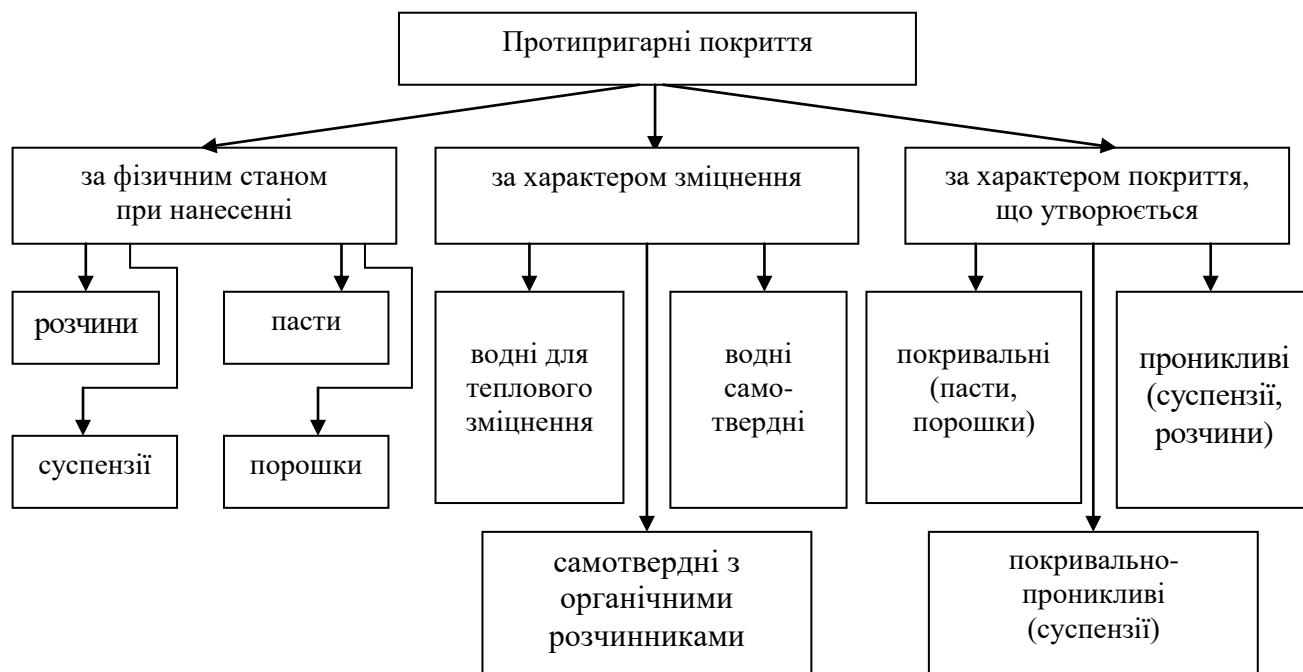


Рисунок 5.1 – Класифікація протипригарних покриттів

Як видно із класифікації, фарби розділяють на три основні види:

1. Водні фарби: розчинником є вода, і вони підлягають обов'язковому тепловому зміцненню. Їх використовують для форм і стрижнів, які зміцнюють тепловим сушінням;

2. Водні самотвердні фарби: відрізняються тим, що вони додатково вміщують затверджувач і такі зв'язувальні матеріали, які утворюють міцні плівки при випаровуванні з них вільної води. Утворені покриття після тверднення зберігають кристалогідратну воду, що обумовлює їх високу газотвірну здатність, а тому для запобігання появи газових дефектів у виливках ці фарби доцільно застосовувати для форм і стрижнів з підвищеною газопроникністю та низькою газотвірною здатністю;

3. Самотвердні фарби: зміцнення покриттів відбувається через випаровування розчинника, внаслідок чого утворюються плівки зв'язувального компонента, які з'єднують часточки наповнювача покриття з поверхнею форми або стрижня.

До складу протипригарних фарб входять:

1. Наповнювач (складає основу фарби).
2. Зв'язувальний компонент.
3. Розчинник.

4. Стабілізатор.

5. Добавки.

Перші чотири складові у фарбі наявні обов'язково, добавки – за необхідністю.

Вимоги до протипригарних фарб:

1. Висока седиментаційна стійкість.

2. Добра покривальна здатність.

3. Висока міцність зчеплення з поверхнею форми або стрижня.

4. Висока вогнетривкість.

5. Нейтральність до рідкого металу та його оксидів.

6. Мінімальна газотвірність.

7. Протипригарне покриття повинно мати мінімальну газопроникність.

8. Не токсичність.

9. Низька вартість і недефіцитність складових.

5.3.2.2. Наповнювачі протипригарних фарб

Для приготування протипригарних фарб використовують різні матеріали, залежно від типу ливарного сплаву, маси й товщини стінок виливків, складу формувальних і стрижневих сумішей та інших факторів.

Розмір частинок протипригарних наповнювачів має бути меншим за 100 мкм, переважно 20...50 мкм. За менших розмірів знижуються реологічні властивості фарби, а за більших – знижується седиментаційна стійкість і покривальна здатність (проникнення фарби в пори поверхні форми чи стрижня).

Для чавунного литва кращим наповнювачем протипригарних фарб є графіт двох видів – кристалічний (сріблястий) і прихованокристалічний (чорний).

Для тонкостінних виливків із чавуну та сплавів кольорових металів як наповнювач використовують порошок тальку (марки ТМК-28). Для крупних чавунних виливків – порошок коксу або суміш коксу із графітом.

Замість графіту останнім часом використовують шунгіт. Він вміщує вуглець і мінеральні речовини у різному їх співвідношенні. Краще використовувати шунгіти із вмістом вуглецю понад 20%. Відомі також фарби, в яких використано комбінований наповнювач – шунгіт із коксом.

При сталевому литві протипригарними наповнювачами фарб залежно від виду сталі, маси та товщини стінок виливків можуть бути пилоподібний кварц, дистен-силіманіт (марки КДСП), хроміт, хромомагnezит, магнезит, корунд, циркон (марки КЦП) та інші вогнетривкі матеріали.

Характеристики усіх вогнетривких наповнювачів наведено у розділі 3, а область використання у складі протипригарних фарб – у табл. 5.6.

Таблиця 5.6 – Рекомендована область застосування вогнетривких наповнювачів протипригарних фарб

Наповнювач	Ливарний сплав					
	чавун	сталь			мідні сплави	алюмінієві сплави
		вуглецева	марганцовиста	хромо-нікелева		
Графіт (кристалічний та прихованокристалічний)	+	-	-	-	+ ²⁾	+ ²⁾
Шунгіт	+	-	-	-	-	-
Цирконовий концентрат	+ ¹⁾	+	+	+	-	-
Дистен-силіманітовий концентрат	+ ¹⁾	+	+ ³⁾	+ ³⁾	-	-
Корунд, електрокорунд	+ ¹⁾	+	+	+	-	-
Пилоподібний кварц	+ ¹⁾	+ ⁴⁾	-	-	-	-
Хроміт	-	+	+	+	-	-
Хромомagneзит	-	-	+	+	-	-
Тальк	+ ¹⁾	-	-	-	+	+

Примітки:

1. Наповнювачі використовуються у поєднанні з графітом.
2. Наповнювачі використовуються у поєднанні з тальком.
3. Використовуються для дрібних і середніх виливків.
4. Використовується для дрібних виливків.

В окремих випадках необхідним є використання комбінованих наповнювачів, тобто поєднувати два різні наповнювачі у складі фарб. Це пов'язано в основному із необхідністю покращення змочування поверхні форми протипригарною фарбою і підвищення міцності зчеплення покриття з нею. Наприклад, у покриттях для чавунного литва пилоподібний кварц, циркон, дистен-силіманіт або корунд забезпечують цей комплекс технологічних властивостей, а графіт виконує основну протипригарну дію.

5.3.2.3. Зв'язувальні компоненти для фарб

Як зв'язувальні компоненти протипригарних фарб використовують органічні і неорганічні матеріали, кремнійорганічні олігомери:

- 1) декстрин для водних фарб;
- 2) рідкі та порошкові ЛСТ для водних фарб;

- 3) дисперсія полівінілацетатна (ПВА) для водних фарб;
- 4) натрію триполіфосфат для водних фарб;
- 5) рідке скло для водних самотвердних фарб;
- 6) алюмохромфосфатний ЗК для самотвердних фарб;
- 7) полівінілбутираль (ПВБ) для самотвердних фарб;
- 8) смоли фенол-формальдегідні СФ-011Л, СФ-015 для самотвердних фарб;
- 9) лак кремнійорганічний КО-75 для самотвердних фарб;
- 10) форлак-4А, форлак-5А для самотвердних фарб.

ЗК є найважливішою складовою частиною покриттів, від правильного вибору якої залежить здатність захисного шару зберігати суцільність і міцність зчеплення з поверхнею форми.

Важливою характеристикою ЗК є їхня термостійкість. Покриття з органічними ЗК, в основному декстрином або ЛСТ, які мають термостійкість менше 400 °С, не захищають від пригару товстостінні і масивні виливки. Для них використовують неорганічні ЗК, в першу чергу рідке скло.

5.3.2.4. Розчинники

Розчинник у фарбі відіграє дуже важливу роль. По-перше, він входить до її складу у великій кількості (до 50%). По-друге – залежно від використаного розчинника фарби поділяють на два основних класи: водні та самотвердні.

Водні фарби являють собою водну суспензію, яка містить наповнювач, ЗК та стабілізатор. У разі використання органічних ЗК для попередження бродіння у фарбу вводять 0,02...0,05% 40%-ного розчину формаліну.

Для швидкого висихання самотвердних фарб у них замість води використовують органічні розчинники: спирти (етиловий, ізопропіловий та ін.), ацетон, уайт-спірит, розчинник 646 і т. д. (табл. 5.7).

Самотвердні фарби раціонально застосовувати для форм і стрижнів, які зміцнюються в оснащенні (із ХТС і в нагрітому оснащенні), оскільки водні фарби знижують (через необхідність їх сушіння) ефективність цієї технології. Проте всі органічні розчинники токсичні, тому при їх використанні необхідно дотримуватися відповідних правил техніки безпеки.

Таблиця 5.7 – Розчинники протипригарних фарб

Індекс	Найменування розчинника	Властивості				
		густина при 20 °С, кг/м ³	гранично допустима концентрація (ГДК), мг/м ³	температура займання, °С	температура кипіння, °С	швидкість випаровування, хв ³⁾
1	Спирт етиловий технічний ГОСТ 17299-73, 18300-87	790...800	1000	+13	78	71
2	Спирт ізопропиловий ГОСТ 9805-84	814...819	10	+14	81...84	78
3	Ацетон ГОСТ 2768-84	730	200	-18	56	14
4	Бензин БР-1 ГОСТ 443-76	730	300	-17	88...110	31
5	Толуол ГОСТ 14710-78	856...867	50	+4	110	115
6	Бутилацетат ГОСТ 8981-78	875	200	+22	110...145	120
7	Етилцелозольв	932	740	40	130...137	-
8	Розчинник 646 ¹⁾	820...845	-	-	-	180
9	Розчинник антипригарних фарб АПК ²⁾ ТУ 2-043-677-78					

Примітки:

1. Розчинник 646 складається із 10% бутилацетату, 8% етилцелозольву, 7% ацетону, 15% бутилового спирту, 10% етилового спирту, 50% толуолу.
2. Розчинник АПК складається із 22% ацетону, 12% бензину марки БР-1, 66% етилового спирту.
3. Швидкість випаровування визначають за часом випаровування 1 см³ розчинника з годинникового скла (діаметр 55 мм) при 20 °С.

Для самотвердних фарб бажано застосовувати розчинники, час випаровування яких становить 40...70 хв. Цій умові задовольняє етиловий спирт, який також є малотоксичним (гранично допустима концентрація 1000 мг/м³) і недорогий. Тому його можна вважати найкращим, але широке застосування етилового спирту пов'язане з відомими труднощами. Замість нього використовують непридатні до пиття розчинники на його основі або відходи: ефіроальдегідну фракцію, розчинник взуттєвого гранітолю та ін.

5.3.2.5. Стабілізатори

Для попередження швидкого розшарування суспензій і утворення важкорозмішуваного осаду до складу фарб додають суспензувальний компонент, який забезпечує седиментаційну стійкість наповнювача.

Як стабілізатори використовують колоїдні речовини. Вони набухають у розчині й створюють просторову структуру, яка утримує наповнювач у завислому стані і забезпечує однорідність фарби в усьому її об'ємі.

У водних протипригарних фарбах стабілізатором може бути натрієва бентонітова глина (ГОСТ 28177-89) з колоїдальністю не менше 80%. Кількість її в суспензії 2...4%. Також можливе використання як стабілізатора органофільного бентоніту. Крім основного призначення, бентоніт зміцнює протипригарне покриття при високотемпературному нагріванні. Але бентоніт незначною мірою підвищує седиментаційну стійкість фарб, особливо з наповнювачами високої густини (циркон або дистен-силіманіт). При введенні понад 4% бентоніту суспензія вже не розшаровується, але збільшується пригар на виливках, тобто фарба не виконує своєї основної функції.

Замість бентоніту як стабілізатори використовують деякі ПАР (милонфт, сульфонол, ЛСТ тощо). Вони покращують змочування поверхні форми або стрижня фарбою та сприяють кращому проникненню в пори поверхні форми або стрижня, але забезпечують лише незначне підвищення седиментаційної стійкості.

Високоєфективними стабілізаторами водних фарб, як показали дослідження КПІ ім. І. Сікорського, є високомолекулярні речовини у кількості 3...5%. До них відносяться карбоксиметилцелюлоза (КМЦ), оксиетилцелюлоза (ОЕЦ), оксипропилцелюлоза (ОПЦ) та інші [9]. Вони підвищують такі властивості як в'язкість фарби та статичне напруження зсуву і забезпечують значне підвищення седиментаційної стійкості та можливість отримання потовщених шарів покриття (0,6...0,7 мм).

При використанні таких високомолекулярних стабілізаторів у результаті зчеплення їх макромолекул утворюється сітчаста структура, яка захоплює розчинник, внаслідок чого система втрачає текучість і переходить у желеподібний стан. При перемішуванні желеподібна фарба повертається до початкового (рідкорухомого) стану. Така зворотність властивостей суспензій називається тиксотропією. В КПІ ім. І. Сікорського розроблено ряд тиксотропних фарб, у т. ч. і на основі циркону.

Для самотвердних фарб використовують інші стабілізатори, в першу чергу полівінілбутираль (ПВБ) у кількості 2...4%. Ця речовина особлива тим, що має зв'язувальні властивості, тому поєднує в собі функції ЗК і стабілізатора. На жаль, ПВБ має низьку термостійкість (220 °С). При більш високій температурі покриття, звісно, втрачає зчеплення із поверхнею форми (стрижня). Значне підвищення термостійкості фарб досягається при додаванні

фенол-формальдегідної смоли ОФ-1. Такі фарби можна використовувати при виробництві сталевих виливків із товщиною стінок до 80 мм.

Для фарб, розчинником у яких є ацетон, як стабілізатор використовують каучук.

5.3.2.6. Технологічні добавки

Для покращення змочуваності поверхні форми (стрижня) протипригарною фарбою та збільшення здатності проникати в пори суміші використовують поверхнево-активні добавки. Крім цього, деякі із них використовують як знижувачі в'язкості фарб.

Молекули ПАР містять наряду із однією або декількома полярними групами неполярні вуглеводневі радикали. Ці молекули адсорбуються на межі рідкої і твердої фаз, при цьому змінюючи властивості останньої. Наприклад, за допомогою ПАР можна зробити гідрофільною поверхню гідрофобного матеріалу.

Використовують сульфонол ОП-7, ОП-10 (ТУ6-01-1043-86) у кількості до 0,3%, мийний засіб «Прогрес» (ТУ38-10-719-92) у кількості до 0,4% або ЛСТ. Додавання більшої кількості ПАР призводить до небажаного утворення у суспензії великої кількості піни.

5.3.3. Приготування фарб та їх склад

Приготування фарб здійснюється у спеціальних установках, які називають фарбозмішувачами.

При змішуванні компонентів протипригарної фарби наповнювач може подаватися у вигляді порошку, гранул або пасти. Бажаним з точки зору відсутності пилоутворення, швидкості приготування і якості змішування є використання пастоподібної композиції. Такі пастоподібні композиції для приготування фарб виготовляють і постачають до ливарних цехів централізовано. Вони відразу містять наповнювач, зв'язувальний компонент і стабілізатор.

Залежно від вогнетривкого наповнювача, фарби поділяють на види: Г – графітові, Ц – цирконові, Д – дистен-силіманітові, Т – талькові, К – кварцові, Э – електрокорундові. За вихідним фізичним станом: П – пасти, С – порошки, Г – гранули.

Фарбозмішувач являє собою циліндричний бак, у якому обертається мішалка (вал з лопатями) із швидкістю 60...200 об/хв. Іншим видом

фарбозмішувача є агрегат барботажного типу, де перемішування забезпечується стисненим повітрям, яке пропускається через суспензію.

Рецептури і область застосування протипригарних фарб представлено в табл. 5.8 і 5.9.

Таблиця 5.8 – Склад і область використання водних протипригарних фарб [1, 6, 35]

Компоненти	Вміст компонентів, %, у фарбі								
	№1	№2	№3	№4	№5	№6	№7	№8	№9
Графіт прихованокристалічний	85,0	67,0	-	-	-	-	-	70,0	-
Графіт кристалічний	10,0	-	-	-	-	-	-	-	-
Дистен-силіманіт	-	-	91,0	-	-	-	-	-	-
Циркон	-	-	-	92,0	-	-	-	-	90,0
Електрокорунд	-	-	-	-	91,0	-	-	-	-
Хроміт	-	-	-	-	-	-	85,0	-	-
Тальк	-	-	-	-	-	92,0	-	-	-
Кварц пилоподібний	-	24,5	-	-	-	-	-	20,0	-
Бентоніт	3,5	3,5	4,0	4,5	3,5	3,5	3,5	2,0	-
Декстрин	-	1,5	1,5	1,0	1,0	1,5	-	3,0	3,0
Карбоксиметилцелюлоза (КМЦ)	1,5	-	-	-	-	-	-	-	-
ЛСТ	-	3,5	3,5	2,5	4,5	3,0	11,5	-	-
Рідке скло	-	-	-	-	-	-	-	5,0	7,0
Вода – до густини, кг/м ³	1300	1350	1650	2000	1900	1370	1750	1320	1900
Область використання	Сплави кольор. металів; чавун (дрібне і середнє литво)	Чавун (середнє і крупнє литво)	Сталь (дрібнє і середнє литво)	Сталь	Сталь (дрібнє і середнє литво)	Сплави кольор. металів; чавун (дрібнє литво)	Сталь (середнє і крупнє литво)	Чавун (середнє і крупнє литво)	Сталь (дрібнє і середнє литво)

У процесі приготування водних фарб із напівфабрикатів у фарбозмішувач заливають 30...60% необхідного вмісту води, а потім окремими порціями додають пасту або порошок, перемішують 30...60 хв і витримують 60...120 хв, після чого додають воду до необхідної густини [9].

При приготуванні протипригарних фарб із окремих компонентів спочатку готують рідку композицію із розчину зв'язувального компонента, стабілізатора та інших речовин, які утворюють істинний або колоїдний розчин. Вміст розчинника у композиції на 20...30% менший від необхідної

кількості. Потім додають наповнювач і, ретельно перемішуючи, решту розчинника до необхідної густини фарби.

Таблиця 5.9 – Склад і область використання самотвердних протипригарних фарб

Компоненти	Вміст компонентів, %, у фарбі						
	№1	№2	№3	№4	№5	№6	№7
Графіт прихованокристалічний	45,0	-	-	-	33,0	-	-
Дистен-силіманіт	-	52,0	-	-	-	74,0	44,0
Циркон	-	-	58,0	-	-	-	-
Тальк	-	-	-	42,0	-	-	-
Кварц пилоподібний	-	-	-	-	45,0	-	-
Полівінілбутираль	2,5	2,0	1,5	2,5	-	-	-
Алюмохромфосфатний ЗК	-	-	-	-	21,4	25,4	-
Рідке скло	-	-	-	-	-	-	48,0
Сульфонол	-	-	-	-	0,6	0,6	-
Ортофосфорна кислота нейтралізована (рН > 5)	-	-	-	-	-	-	8,0
Розчинник АПК або етиловий спирт	52,5	46,0	40,5	55,5	-	-	-
Вода – до густини, кг/м ³	-	-	-	-	1460	2250	2200
Область використання	чавун; сплави кольор. металів	сталь	сталь	Сплави кольор. металів; чавун (дрібне і середнє литво)	чавун	сталь	сталь

5.3.4. Нанесення фарб

Спосіб нанесення фарби на поверхні форм і стрижнів має забезпечити рівномірний шар протипригарного покриття, має бути високопродуктивним і відповідати санітарно-гігієнічним вимогам.

Протипригарні фарби наносять на поверхні форм і стрижнів наступними способами: пензлем (або щіткою), занурюванням стрижня у бак із фарбою, або пульверизацією [1, 9].

Нанесення фарби пензлем або щіткою – найпростіший і широко застосовуваний спосіб. При цьому мінімально забруднюється атмосфера. Проте цей спосіб малопродуктивний, трудомісткий, не забезпечує

рівномірної товщини протипригарного покриття. На поверхні залишаються сліди пензля, які потім передаються на поверхню виливка.

При нанесенні фарби занурюванням стрижень опускають у фарбу на 3...5 с, виймають і витримують над ванною до повного стікання зайвої фарби. Спосіб застосовують у масовому виробництві для невеликих стрижнів складної конфігурації.

При пульверизації досягається рівномірний за товщиною шар покриття, протипригарний наповнювач фарби глибше проникає в поверхню форми чи стрижня, що підвищує зчеплення покриття з поверхнею. Фарборозпилювач розміщується перпендикулярно до поверхні форми на відстані 250...350 мм. Пульверизація у 5...6 разів продуктивніша від нанесення фарби пензлем. Однак при цьому 15...20% фарби не потрапляє на робочу поверхню форми (стрижня) – розбризкується.

У масовому виробництві переважає фарбування форм і стрижнів пульверизацією у прохідних закритих камерах, щоб підтримувати необхідні санітарно-гігієнічні умови праці.

У закордонній практиці для крупних стрижнів простої конфігурації використовують метод струменевого обливання [1]. Недоліки цього методу: неможливість використання для стрижнів із складною поверхнею, нерівномірність шару покриття, підвищена витрата фарби.

Слід нагадати: фарба, нанесена на форму, може вміщувати зв'язувальний компонент, який є несумісним із зв'язувальним компонентом самої форми, і це може знизити поверхневу міцність форми.

Міцність зчеплення протипригарних покриттів з поверхнею форми, крім властивостей зв'язувального компонента, залежить також, як уже зазначалося, від ступеню проникнення фарби у форму. Оптимальною вважається глибина проникнення, в 1,3...1,6 рази більша від середнього розміру часток формувальної суміші.

Рівномірний шар протипригарного покриття, достатній для попередження утворення пригару на виливках з товщиною стінок до 40...50 мм, складає близько 0,4 мм. При більшій товщині стінок виливка фарбування здійснюється, як правило, у декілька шарів для того, щоб отримати покриття товщиною 1 мм і більше. Для закупорювання пор у поверхні форми інколи використовують фарби з малою густиною для першого шару, а потім фарби з нормальною густиною для подальших шарів. Тривалість сушіння (зміцнення) кожного шару фарби 40...60 хв.

Температура сушіння водних протипригарних покриттів залежить від температури деструкції ЗК, а тривалість сушіння – від розмірів форми (стрижня) та товщини шару фарби і становить 40...60 хв. Для покриттів із органічними ЗК температура сушіння складає 200...250 °С.

5.3.5. Властивості протипригарних фарб і покриттів

5.3.5.1. Фізичні властивості

1. **Густина** – це фізична величина, яка характеризує ступінь наповнення фарби твердою фазою, перш за все об'ємну концентрацію наповнювача. Залежить від густини окремих компонентів. За максимальної густини (1700...2400 кг/м³) фарба набуває консистенцію пасти.

Найбільш точними способами визначення густини є ваговий та пікнометричний методи. При цьому мірний циліндр або пікнометр заповнюють до верхньої позначки суспензією, таким чином визначаючи її об'єм. Потім визначають масу суспензії та розраховують її густину.

У виробничих умовах використовують ареометричний метод. У ємність із фарбою занурюють прилад поплавкового типу – ареометр, який займає певне положення у суспензії. Позначка шкали, яка співпадає із верхнім рівнем суспензії, відповідає її густині. Але такий метод може давати значні похибки (до 20%), особливо при вимірюванні густини тиксотропних суспензій.

Оптимальну робочу густину фарб із різними наповнювачами наведено у табл. 5.10.

Таблиця 5.10 – Рекомендована робоча густина протипригарних фарб

Вогнетривкий наповнювач фарби	Густина фарб, кг/м ³	
	водних	самотвердних
Графіт	1250...1350	1050...1200
Циркон	1800...2100	1700...1850
Дистен-силіманіт	1650...1800	1250...1400
Електрокорунд	1800...2000	1400...1500
Тальк	1350...1500	1050...1250

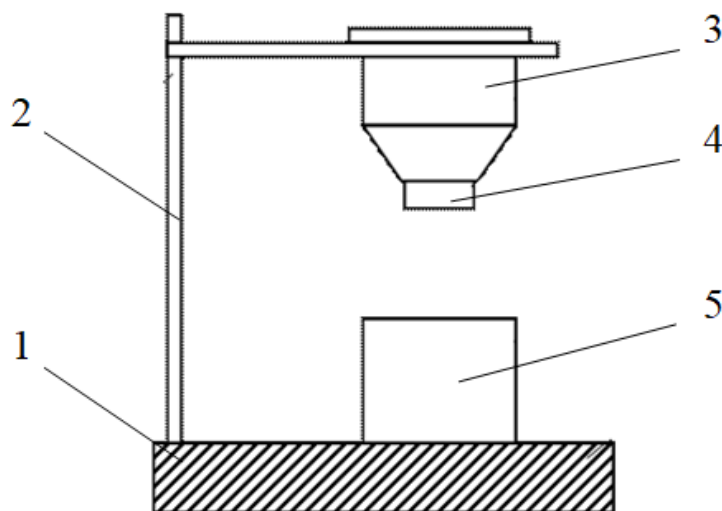
2. **В'язкість** важлива у тому відношенні, що вона значною мірою впливає на покривальну здатність фарб, рівномірність і товщину утвореного шару покриття.

Для рідин та суспензій показниками їх текучості є такі фізичні величини як кінематична і динамічна в'язкість. Але їх визначення є досить

складним, і тому в лабораторних і виробничих умовах прийнято визначати умовну в'язкість.

Умовна в'язкість суспензії – це час (у секундах) виливання 100 мл суспензії через отвір фіксованого діаметра (2, 4 або 6 мм) із чаші віскозиметра ВЗ-246 (рис. 5.2). Найчастіше застосовують віскозиметр ВЗ-4 із діаметром отвору 4 мм, який складається із штативу 2, закріпленого на опорі 1, та чаші 3 із соплом 4, з якої досліджувана суспензія витікає у приймальний стакан 5.

Умовна в'язкість різних протипригарних фарб за віскозиметром ВЗ-4 становить 15...30 с.



1 – опора; 2 – штатив; 3 – резервуар; 4 – сопло; 5 – приймальний стакан

Рисунок 5.2 – Віскозиметр ВЗ-246

3. Непрямим показником в'язкості фарби є також **статичне напруження зсуву (СНЗ)**, яке характеризує міцність її коагуляційних структур. Це напруження визначають за допомогою приладу, який має два коаксіальні циліндри, в зазорі між якими розміщується фарба. СНЗ вимірюють за механічним опором суспензії під час обертання циліндрів.

Чим більше СНЗ, тим більшою є в'язкість фарби. Для тиксотропних фарб, до складу яких входять високомолекулярні стабілізатори, СНЗ досягає максимальних значень (0,3...0,5 Па), і воно тим більше, чим більша молекулярна маса стабілізатора.

4. **Седиментаційна стійкість** є показником швидкості розшарування твердої і рідкої фаз у фарбі.

Дисперсні частинки наповнювача під дією власної ваги поступово осідають, при цьому швидкість осідання залежить від густини, розміру і форми

зерен частинок. Інколи вони злипаються у більш крупні агрегати, які осідають набагато швидше, а отриманий осад важко піддається перемішуванню.

Як уже відзначалося, для уповільнення осідання часток наповнювача або для підтримання їх у підвішеному стані у фарбу додають стабілізатор, який значною мірою підвищує в'язкість.

Для визначення седиментаційної стійкості застосовують два способи.

Більш простим із них є визначення (ГОСТ 10772-78) за об'ємом виділеної з фарби рідини при вистоюванні її протягом 7 годин у мірному циліндрі об'ємом 250 мл з градуванням.

Седиментаційну стійкість (СС) визначають за формулою:

$$CC = \frac{(V_1 - V_2) \cdot 100}{V_1},$$

де V_1 – загальний об'єм фарби в циліндрі, мл;

V_2 – об'єм верхнього освітленого шару фарби в циліндрі, мл.

Максимально точні значення дає метод відбору проб на різних рівнях стовпа суспензії з подальшим визначенням їх густини. Для цього можна використовувати седиментометр – мірний циліндр висотою 300...350 мм із патрубками, які поділяють його на декілька (як правило 4) рівних частин. Седиментаційну стійкість (СС) визначають:

$$CC = \frac{\rho_B}{\rho_H} \cdot 100\%,$$

де ρ_B – густина верхнього шару фарби, кг/м³;

ρ_H – густина нижнього шару фарби, кг/м³.

Фарбу вважають достатньо стійкою, якщо $CC > 90\%$. Для фарб із високомолекулярними стабілізаторами цей показник може досягати 98%.

5.3.5.2. Технологічні властивості фарб

1. Покривальна здатність – це здатність фарб при нанесенні на форми (стрижні) проникати у поверхневий шар суміші та утворювати рівномірний шар покриття.

Покривальна здатність у першу чергу залежить від змочуваності поверхні форми покриттям, яка характеризується крайовим кутом змочування.

Проникнення фарби у пори суміші покращується, якщо використовується більш крупний наповнювач, зменшується ступінь ущільнення форми, а також якщо зменшуються в'язкість та густина фарби.

Висока в'язкість фарби та її густина, у свою чергу, дають змогу отримати більш товстий шар покриття.

Покривальну здатність визначають за характером отриманого шару покриття на стандартному циліндричному зразку. Зразки для випробувань виготовляють із тієї самої формувальної (стрижневої) суміші, для якої вибирають покриття. Товщину шару визначають мікрометром, а глибину проникнення – за допомогою біноклярного мікроскопа (збільшення у 35...69 разів), який має окуляр із шкалою або окулярний мікрометр.

2. Міцність зчеплення. Для визначення міцності зчеплення протипригарних покриттів з поверхнею формувальної суміші використовують методику, суть якої полягає у відриві покриття стисненим повітрям при нагріванні зразка.

У спеціальному оснащенні виготовляють зразок із формувальної суміші висотою 15 мм із стабільною товщиною протипригарного покриття (0,5 мм). Через зразок пропускають стиснене повітря, поступово збільшуючи тиск. Тиск, при якому відбувся відрив покриття, є міцністю зчеплення у Па.

3. Гігроскопічність покриттів залежить від вологості і температури повітря, а також від фізико-хімічних властивостей компонентів. Водні фарби мають підвищену гігроскопічність у порівнянні із самотвердними.

При насиченні вологою міцність покриття значно зменшується, а газотвірна здатність підвищується. Таким чином, покриття майже втрачає свою протипригарну функцію. Особливо небезпечними є умови роботи протипригарних покриттів на стрижнях у контакті із сирими формувальними сумішами. У такому випадку насичення вологою відбувається більш інтенсивно.

Гігроскопічність покриттів визначають [1] за кількістю поглиненої вологи при їх витримці в ексікаторі з розчином сірчаної кислоти густиною 1070 кг/м³. Наважку протипригарного покриття розтирають у фарфоровій ступці, після чого встановлюють в ексікатор, де витримують 5 діб. Розраховують гігроскопічність:

$$G = \frac{m_1 - m_0}{m_0} \cdot 100\% ,$$

де G – гігроскопічність покриття, %;

m_1 – маса наважки покриття після випробування, г;

m_0 – маса наважки покриття до випробування, г.

Задовільним вважається показник Γ у межах 1%.

4. **Газотвірна здатність** демонструє, наскільки небезпечним є протипригарне покриття з точки зору виділення газів після заливання.

Джерелами утворення газів із протипригарного покриття можуть бути:

- випаровування вільної води;
- горіння органічних домішок;
- термічна деструкція зв'язувальних компонентів;
- виділення кристалогідратної води;
- хімічні реакції у газовій фазі (дисоціація води, вуглеводнів тощо).

Газотвірну здатність покриттів визначають непрямим методом, так само, як і для сумішей (розділ 11).

5. Під **термічною міцністю** покриття мають на увазі його тріщиностійкість при термічній деформації і здатність протистояти ерозійній дії рідкого металу.

Тріщиностійкість контролюють методом термічного удару [1] з використанням зразків висотою 50 мм, виконаних у вигляді напівсфери радіусом 25 мм на циліндричній основі висотою 25 мм і діаметром 50 мм. Така проба найбільш чутлива до деформацій, які призводять до появи тріщин, і її виготовляють із суміші, для якої призначено покриття.

При випробуванні зразки із нанесеним і зміцненим покриттям поміщають у піч, попередньо нагріту до 950...1000 °С, і витримують у ній протягом часу, що відповідає тривалості заливання форми, для якої призначено покриття. За критерій тріщиностійкості приймають час із початку термічного оброблення зразка до моменту появи тріщин.

5.3.5.3. Робочі властивості фарб

Для визначення робочих (протипригарних) властивостей покриттів використовують декілька технологічних проб. Усі методи є прямими, тобто пов'язаними із заливанням проб рідким металом. Найбільш показовими є проби, які мають різну товщину стінок.

Для оцінки впливу товщини стінки вилівка на утворення пригару використовують пробу (рис. 5.3), яка являє собою вилівок прямокутного типу із товщиною стінок 10, 30, 60 і 120 мм. Перевага цієї проби в тому, що вона призначена не тільки для визначення ефективності протипригарних покриттів, а і для визначення ефективності дії протипригарних добавок.

Стрижень із досліджуваної суміші (або пофарбований досліджуваним покриттям) встановлюють у роз'ємну піщано-глинясту форму, яку заливають

рідким металом. Після вибивання форми візуально контролюють наявність пригару на внутрішній поверхні стінок виливка.

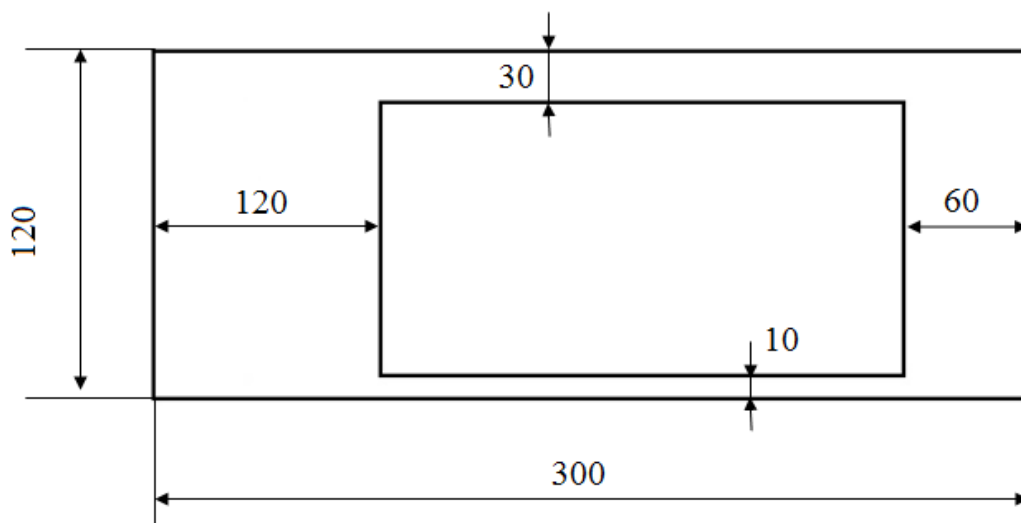


Рисунок 5.3 – Прямокутна проба для визначення схильності сумішей до утворення пригару

Для більш точного контролю протипригарних властивостей сумішей і фарб Федоров М.М. у КПІ ім. І. Сікорського розробив технологічну пробу (рис. 5.4), товщина стінок у якій становить 5, 10, 15, 20, 30 і 40 мм. Порядок проведення випробування і контролю результатів аналогічний. Обидві проби дають можливість визначати шорсткість литих поверхонь кожної стінки виливка.

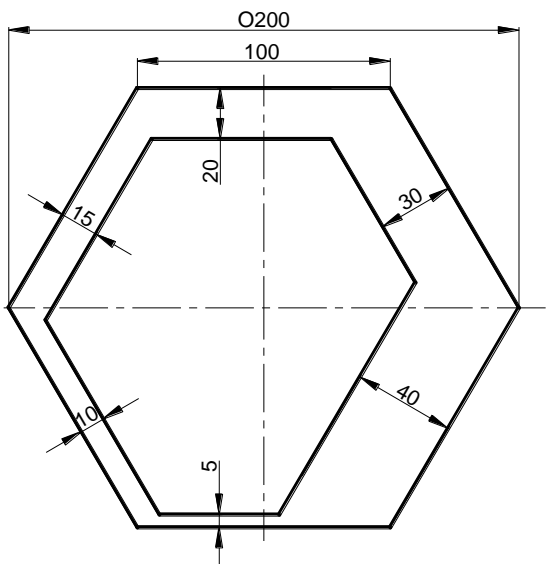


Рисунок 5.4 – Технологічна проба М.М. Федорова

5.3.6. Протипригарні пасти

Протипригарні пасти використовують при виготовленні крупних товстостінних виливків із сталі (інколи із чавуну), коли протипригарні фарби не дають бажаного ефекту. Протипригарні пасти приготують на основі високовогнетривких матеріалів – хроміту, хромомагнезиту, циркону тощо.

На відміну від фарб, пасти є гущішими (1700...2400 кг/м³) і утворюють на поверхні форм і стрижнів шар завтовшки 3...6 мм. Перед нанесенням паст у поверхнях форм і стрижнів роблять отвори діаметром 3...4 мм і глибиною 20 мм для кращого зчеплення пасти з цією поверхнею. З такою ж метою форми та стрижні прошпилюють цвяхами з кроком 80...100 мм, залишаючи їх шляпки виступати над поверхнею на 1...2 мм [9].

Пасти готують у коткових змішувачах. Спочатку перемішують наповнювач із зв'язувальним компонентом, а вже потім додають воду до необхідної густини. Пасту зберігають у закритих ємкостях не більше двох діб. Склад паст наведено у табл. 5.11.

Таблиця 5.11 – Рецептури протипригарних паст [1, 9]

Компоненти	Вміст компонентів, %, у пасті					
	№1	№2	№3	№4	№5	№6
Хроміт	65...70	-	-	-	-	-
Хромомагнезит	-	65...70	-	-	-	-
Електрокорунд	-	-	65...70	-	-	-
Цирконовий концентрат	-	-	-	65...70	65...70	-
Графіт прихованокристалічний	-	-	-	-	-	30...32
Тальк	-	-	-	-	-	20...22
Глина вогнетривка	-	-	5...7	6...8	-	10...12
ЛСТ	10...12	10...12	5...7	8...10	-	-
Декстрин	1...2	1...2	-	-	-	-
Рідке скло	-	-	-	-	30...35	-
Вода	16...20	16...20	16...20	15...17	-	35...37
Область застосування	Сталеві виливки					Чавунні виливки

Через підвищені в'язкість і густину пасти не можна наносити пензлем або звичайним пульверизатором. Їх наносять на поверхні форм і стрижнів за допомогою спеціального пульверизатора, перед заповненням якого пасту ретельно перемішують. За один прийом наносять шар завтовшки 1,5...2,0 мм, через 10...30 хв – другий шар і т. д. до необхідної товщини. Щоб поверхня

після покриття її пастою була рівною, її вирівнюють гладилкою. Форми і стрижні, покриті пастою, пров'ялюють 1,5...2,0 год на повітрі, а потім висушують при температурі 360...380 °С.

Оптимальна товщина протипригарної пасти для сталевих виливків масою до 35 т (за Є.А. Білобровим) розраховується за формулою [9]:

$$\delta = 1,5 + 0,21\sqrt[3]{m^2},$$

де δ – оптимальна товщина шару пасти, мм;

m – маса виливка, т.

5.3.7. Облицювальні протипригарні суміші

Якщо протипригарні фарби та пасти не забезпечують виготовлення виливків із чистою поверхнею, використовують облицювальні суміші на основі високовогнетривких матеріалів. Це актуально при виготовленні крупних і унікальних виливків, особливо з легованих сталей. Завдяки своїм високим теплофізичним властивостям (більшій вогнетривкості, меншому коефіцієнту теплового розширення і більшій теплоакумулювальній здатності), меншій хімічній активності до заліза такі суміші забезпечують одержання виливків із чистою поверхнею [6].

Оскільки ці матеріали дорожчі порівняно з кварцовим піском, їх витрачають економно, виключно для облицювальних сумішей, а решта форми (наповнювальна суміш) містить більш дешевий наповнювач – як правило, оборотну суміш на основі кварцового піску. Товщина облицювального шару суміші залежно від маси, товщини та конфігурації виливка – 50...200 мм. Зв'язувальними компонентами облицювальних сумішей є рідке скло, синтетичні смоли, фосфати. Суміші на основі цих матеріалів можна використовувати у вигляді ПСС і РСС.

Із високовогнетривких матеріалів найширшого використання дістав хроміт як найбільш дешевий наповнювач.

Зменшення пригару при застосуванні **сумішей на основі хроміту** пояснюють здатністю їх швидко спікатися за температури 1000...1300 °С із закупорюванням пор на поверхні форми і низькою змочуваністю таких форм сталлю. Недоліки хромітових сумішей – підвищена гігроскопічність і погана вибиваємість.

Хромомагnezитові суміші готують із відходів хромомагnezитової цегли, із якої шляхом дроблення, розмелювання і просіювання одержують

порошок (залишок на ситі №04 – 60...70%, а на ситах №№02, 01 і в тазику – 30...40%). Хромомагнетитові суміші відрізняються від хромітових меншим спіканням за високих температур, незначним виділенням газів, але низькою газопроникністю у зв'язку з дрібним розміром зерен. Останнє вимагає влаштування додаткової вентиляції стрижнів і форм.

Хромомагнетитові суміші мають високу стійкість проти агресивної дії оксидів заліза у сталі. Їх використовують при виготовленні товстостінних складних і унікальних виливків відповідального призначення: корпуси турбін, станини прокатних станів, циліндри важких пресів тощо.

Магнетитові формувальні суміші раціонально застосовувати для одержання виливків із марганцевистих сталей, оскільки магнетит є інертним до оксиду цього легувального елемента.

Цирконові суміші. З метою досягнення чистої поверхні крупних і унікальних товстостінних сталевих виливків деякі заводи використовують цирконові піски замість кварцових. Хоч ці піски дорожчі, значне підвищення якості виливків і повторне використання звороту цирконових сумішей (за умови розділення потоків оборотних цирконових і кварцових сумішей) економічно виправдовують їх використання.

Перспективними формувальними матеріалами для облицювальних сумішей і протипригарних покриттів є алюмосилікати кіаніт або дистен-силіманіт $Al_2O_3 \cdot SiO_2$ та пірофіліт $Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O$, які мають досить високу термостійкість. Ці матеріали є недорогими, а пірофіліт добувається в Україні [11].

Для одержання унікальних чавунних виливків, а також виливків із сплавів тугоплавких хімічно активних металів (зокрема, титану) як наповнювач облицювальних протипригарних сумішей використовують графіт. Окремо для чавунних виливків є приклади застосування шамотного наповнювача.

🌀 **Контрольні запитання до розділу 5:**

1. З якою метою використовують добавки у формувальних та стрижневих сумішах?
2. Назвіть та охарактеризуйте затверджувачі для сумішей із різними зв'язувальними компонентами.
3. Назвіть та охарактеризуйте добавки для регулювання властивостей сумішей.

4. Охарактеризуйте поверхнево-активні добавки. Для сумішей якого типу їх використовують?
5. Назвіть та охарактеризуйте допоміжні формувальні матеріали. На які групи їх поділяють? Яке їх призначення?
6. Які допоміжні матеріали застосовують для виготовлення ливарних стрижнів?
7. Для чого призначені екзотермічні суміші і які компоненти входять до їх складу?
8. Для чого призначено теплоізоляційні суміші і які компоненти входять до їх складу?
9. Назвіть та охарактеризуйте різновиди протипригарних матеріалів.
10. Наведіть різновиди протипригарних фарб та вимоги до них.
11. Наведіть та охарактеризуйте основні компоненти протипригарних фарб.
12. Які наповнювачі використовують у протипригарних фарбах для чавунного литва?
13. Які наповнювачі використовують у протипригарних фарбах для сталевого литва?
14. Які компоненти додають до формувальних сумішей з метою попередження утворення пригару?
15. Які методи застосовують для боротьби з пригаром при заливанні піщано-глинястих форм по-сирому?
16. Які методи застосовують для боротьби з пригаром при заливанні форм по-сухому або із холоднотвердних сумішей?
17. Які методи застосовують для боротьби з пригаром під час виготовлення ливарних стрижнів?
18. Яким чином відбувається приготування протипригарних фарб та їх нанесення на поверхню форм і стрижнів?
19. Для яких форм і стрижнів використовують самотвердні протипригарні фарби?
20. Для яких форм і стрижнів використовують водні протипригарні фарби?
21. Наведіть та охарактеризуйте властивості протипригарних фарб і покриттів.
22. Охарактеризуйте протипригарні пасти, способи їх приготування та нанесення на поверхню форм і стрижнів.
23. Охарактеризуйте облицювальні протипригарні суміші. Для виготовлення яких виливків їх використовують?

РОЗДІЛ 6. МЕХАНІЧНА ВЗАЄМОДІЯ ВИЛИВКА З ФОРМОЮ

6.1. Взаємодія з розплавом

При заливанні форми струмінь металу чинить на неї в першу чергу динамічну дію, яка виражається у наступних особливостях [3]:

1. Струмінь падає з певної висоти у ливарну форму і б'ється об її дно.

При цьому може відбутися розмивання поверхні форми струменем металу і потрапляння вимитих із цієї поверхні піщинок у потік металу. Це призводить до забруднення розплаву неметалевими частинками і, як наслідок, появи неметалевих вкраплень і піщаних раковин у виливку.

2. Проходячи по тонких каналах ливарної форми, струмінь металу рухається із високою швидкістю, яка може досягати 1 м/с і більше. Внаслідок цього можливе розмиття стінок форми не тільки в місці падіння струменя, а й в інших місцях. Наслідки – аналогічні.

3. Частини форми, які виступають, можуть бути змиті потоком металу, а це вже призводить до більш серйозних дефектів виливка, ніж неметалеві вкраплення. Через руйнування частини форми можливе порушення конфігурації виливка, тобто повний його брак.

4. Метал може зрушити стрижень при неправильному його закріпленні у формі і порушити внутрішню конфігурацію виливка.

5. У момент закінчення заповнення порожнини форми рідкий метал, при досягненні верхньої стінки, чинить на неї гідравлічний удар. Це може призвести до тимчасового (нетривалого) підняття верхньої півформи, і в такому випадку рідкий метал проникне у зазор між півформами.

Після завершення заповнення форми рідкий метал припиняє динамічну дію. Далі він чинить статичну дію, яка виражається у наступному [36]:

1. Згідно закону Паскаля, метал тисне на усі стінки форми. Статичний тиск (Па) можна розрахувати за рівнянням:

$$P_M = \rho \cdot g \cdot h, \quad (6.1)$$

де ρ – густина металу, кг/м³;

g – прискорення земного тяжіння, $g = 9,81$ м/с²;

h – металостатичний напір, м.

Наприклад, на глибині h_x діє тиск P_x (рис. 6.1), а максимальний статичний тиск $P_M = \rho \cdot g \cdot h_H$ діє на нижній поверхні форми. Якщо цей тиск

перевищує міцність при стисканні ущільненої форми, може відбутися її деформація, утворюється дефект конфігурації виливка, який називається «подутість» (рис. 6.2).

2. На стрижні, як і на усі тіла, які знаходяться у рідині, діє сила Архімеда. Під дією цієї сили погано закріплені стрижні можуть зміститися або навіть сплисти, що призведе до браку виливка.

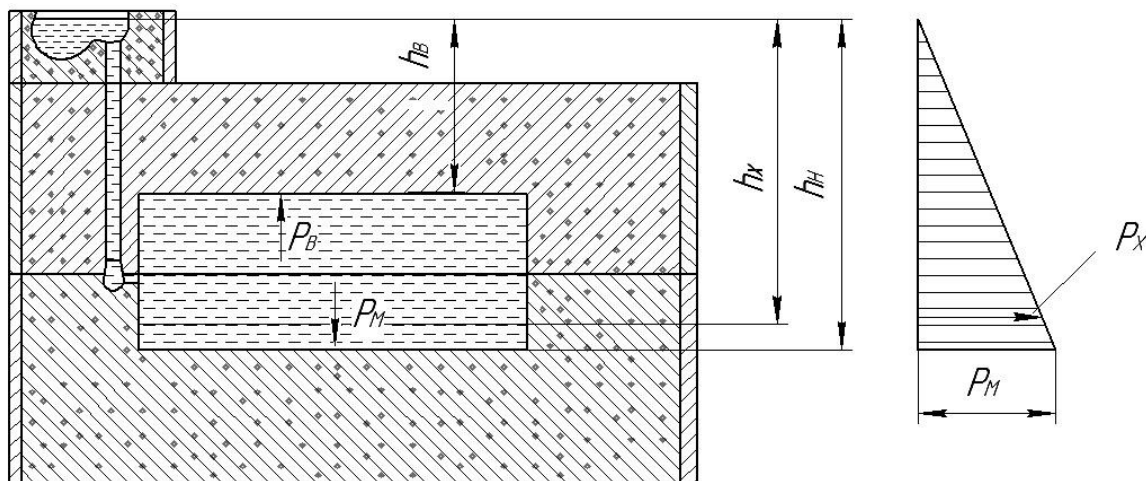


Рисунок 6.1 – Розподіл статичного тиску в заповненій формі

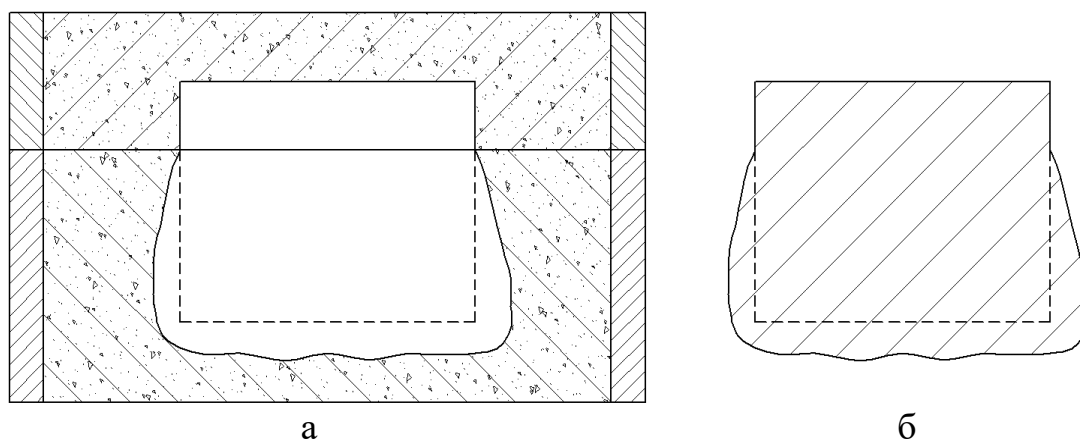


Рисунок 6.2 – Схема утворення дефекту «подутість»: а – деформація порожнини форми; б – вигляд дефектного виливка

3. Внаслідок статичної дії металу на верхню півформу (тиск P_B на рис. 6.1) вона може піднятися, і тоді рідкий метал витече по роз'єму форми.

4. У випадку, якщо роз'єм форми не плоский, а фігурний, можливе також зсування верхньої півформи відносно нижньої у горизонтальному напрямку, відповідно, також із порушенням конфігурації виливка.

Отже міцність ливарної форми має першочергове значення, а її контроль є обов'язковим.

6.2. Взаємодія з твердою кіркою

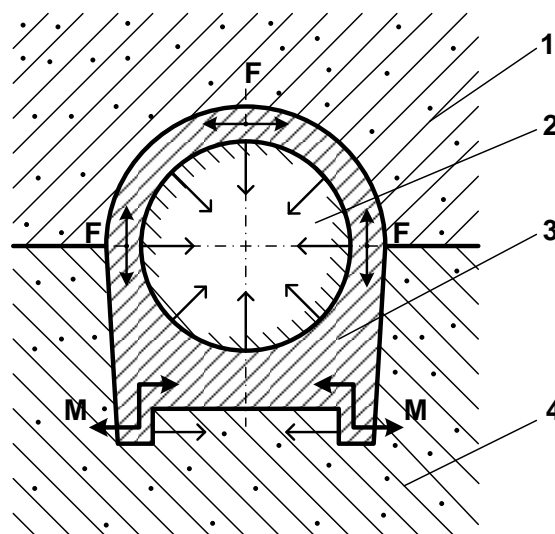
Після утворення твердої кірки рідкий метал, який знаходиться всередині вилівка, продовжує чинити статичний тиск, який приймає на себе як форма, так і кірочка металу. Поки вона є дуже тоненькою, залишається небезпека порушення конфігурації вилівка (виникнення дефекту «подутість»). Також залишається небезпека зміщення верхньої півформи в горизонтальному напрямку.

6.3. Взаємодія з виливком у процесі твердіння

При твердінні вилівка зменшується питомий об'єм сплаву і, як наслідок, об'єм вилівка. Цей процес називають **усадкою**. Частина вилівка знаходиться в рідкому або твердо-рідкому стані, і через це міцність сплаву дуже низька, за абсолютними значеннями вона близька до міцності при стисканні формувальної суміші.

Якщо вилівок має складну конфігурацію, то форма і стрижень перешкоджають усадці. Внаслідок протидії усадці вилівка з боку форми і особливо стрижнів, у виливку виникають внутрішні напруження (рис. 6.3). Якщо напруження стають більшими за межу міцності, тоді з'являються тріщини, які називають гарячими тріщинами (тобто ті, які утворилися в гарячому, твердо-рідкому стані). Для того, щоб у виливку не утворювалися внутрішні напруження і тріщини, необхідно щоб форма мала податливість.

Податливість форми – це здатність не чинити опору усадці вилівка.



1 – верхня півформа; 2 – стрижень; 3 – вилівок; 4 – нижня півформа; F – розтягувальні сили; M – вигинальний момент; стрілки – напрямки усадки вилівка

Рисунок 6.3 – Утворення внутрішніх напружень у виливку

У реальних формах завжди є частини, які перешкоджають усадці або частково її ускладнюють. Частини форми, розташовані між частинами вилівка, стискаються ним, і у вилівку виникає напруження розтягу. Найбільші напруження викликають стрижні, оскільки міцність стрижневих сумішей набагато більша за міцність формувальних.

Внаслідок нагрівання форми вона збільшується у розмірах, що сприяє зростанню внутрішніх напружень у вилівку.

6.4. Взаємодія із затверділим вилівком

На цьому етапі відбувається лінійна усадка вилівка. Твердий вилівок має набагато вищу міцність, ніж стрижень та форма, тому окремі частини форми і стрижні без особливих перешкод стискаються вилівком. Але якщо при цьому міцність суміші не знижується, то може виникнути проблема складного вибивання вилівка.

Вибиваємість – це здатність форми і стрижнів легко руйнуватися під час операції вибивання вилівка.

Тому необхідно, щоб міцність форми і стрижнів знижувалася при охолодженні вилівка. Але така закономірність спостерігається в основному для сумішей з органічними зв'язувальними компонентами, які вигорають на перших трьох етапах. При вибиванні від суміші залишається майже один наповнювач і форма має міцність близьку до нуля.

Форми з такими зв'язувальними компонентами як глина (через наявність у ній легкоплавких домішок – оксидів лужних та лужноземельних металів, комплексних сполук на їх основі тощо) і рідке скло (через особливості хімічної будови) при нагріванні в контакті з вилівком спікаються (тобто в них утворюється при високих температурах рідка фаза, яка при охолодженні твердне, забезпечуючи велику міцність суміші при вибиванні вилівоків) [6].

Отже, ливарна форма повинна мати високу міцність у момент заливання металу, зберігати високу міцність на I і II етапах, значно знижувати свою міцність на III-му і мати мінімальну міцність (бажано нульову) на IV-му.

☞ *Контрольні запитання до розділу 6:*

1. Якими є наслідки динамічної дії рідкого металу на ливарну форму?
2. Як розрахувати статичний тиск розплаву на ливарну форму?
3. Якими є наслідки статичної дії рідкого металу на ливарну форму?
4. Який процес називають усадкою та у чому його причина?
5. Наведіть умови виникнення внутрішніх напружень у виливках під час їх охолодження у формі.
6. Наведіть причини виникнення гарячих тріщин у виливках.
7. Поясніть поняття податливості форми та стрижня?
8. Поясніть поняття вибиваємості форми та стрижня?
9. Використання яких зв'язувальних компонентів надає найнижчу та найвищу міцність суміші під час вибивання виливків і чому?
10. Які дефекти виливків можуть утворитися внаслідок механічної взаємодії з ливарною формою?
11. Яку міцність повинна мати ливарна форма на різних етапах взаємодії з виливком?

РОЗДІЛ 7. ТЕПЛОВА ВЗАЄМОДІЯ ВИЛИВКА З ФОРМОЮ

При заливанні металу в форму з самого початку її поверхня починає інтенсивно нагріватися – отримує тепловий удар. У перші моменти заливання відбувається нагрівання форми за рахунок випромінювання металом теплоти, а починаючи з моменту торкання – також за рахунок теплопровідності і конвекційної тепловіддачі.

Фактори, які впливають на теплообмін між виливком і формою:

- 1) матеріал сплаву і його теплофізичні властивості;
- 2) температура заливання;
- 3) швидкість заливання;
- 4) маса, конфігурація і товщина стінок виливка;
- 5) матеріал форми і його теплофізичні властивості;
- 6) товщина форми.

Основну роль грають теплофізичні властивості форми. Приблизну тривалість контакту форми з рідким металом, залежно від товщини стінки виливка і матеріалу наповнювача форми, наведено у табл. 7.1.

Таблиця 7.1 – Вплив товщини стінок виливка і матеріалу наповнювача на тривалість контакту рідкого металу з формою, с

Товщина стінки виливка, мм	Наповнювач					
	кварцовий пісок	дистен-силіманіт	циркон	рутил	хроміт	хромо-магнезит
25	12	10	7	5	4	4
50	43	34	26	23	19	9
100	89	71	51	44	37	17
150	141	115	83	68	58	25
200	210	167	112	93	80	33
250	309	227	153	122	109	44
300	442	306	199	159	142	57
400	–	485	315	259	218	81
600	–	972	594	472	391	135

7.1. Теплофізичні властивості

Питома теплоємність – це кількість тепла, яка необхідна для нагрівання одиниці маси речовини на 1 К.

Питома теплоємність основних наповнювачів піщаних сумішей при 20 °С наступна, $\frac{Дж}{кг \cdot К}$: SiO₂ – 840; Al₂O₃ – 1130; MgO – 1050; ZrO₂ – 590 [37].

Наповнювач складає основу формувальної суміші (понад 90%), а теплоємність деяких зв'язувальних компонентів (особливо в рідкому стані) важко точно встановити. Тому для орієнтовних розрахунків за теплоємність форми приймають значення теплоємності її наповнювача. Проте будь-який рідкий компонент, в першу чергу вода, значно змінює теплоємність, і це треба додатково враховувати.

Збільшення теплоємності суміші забезпечує прискорення тепловіддачі від виливка до форми і тим самим прискорює охолодження і кристалізацію виливка.

У свою чергу, збільшення теплоємності сплаву веде до сповільнення процесу його кристалізації і охолодження.

Теплопровідність будь-якого матеріалу характеризується коефіцієнтом теплопровідності λ . Він характеризує властивість матеріалу проводити кількість тепла протягом одиниці часу через одиницю площі поверхні при перепаді температур в 1 К на 1 м товщини матеріалу. Розмірність – $\frac{Вт}{м \cdot К}$.

Теплопровідність формувальних сумішей залежить від їх складу, ступеню ущільнення і температури (рис. 7.1). Оскільки теплопровідність піску, глини або іншого зв'язувального компонента і води більше, ніж у повітря, то при збільшенні ступеню ущільнення суміші теплопровідність зростає.

Чим вище коефіцієнт теплопровідності суміші λ , тим швидше відводиться тепло від розплаву, тому прискорюється кристалізація і охолодження виливка.

Чим вища теплопровідність сплаву, швидше він віддає тепло – прискорюється кристалізація і охолодження виливка.

Але остаточний висновок про інтенсивність теплообміну між виливком та формою, виходячи із значень теплоємності і теплопровідності, робити не можна. Наприклад, сира форма із додаванням тирси має підвищену теплоємність, що сприяє відведенню більшої кількості тепла від виливка, але при цьому вона має низьку теплопровідність, що уповільнює цей процес.

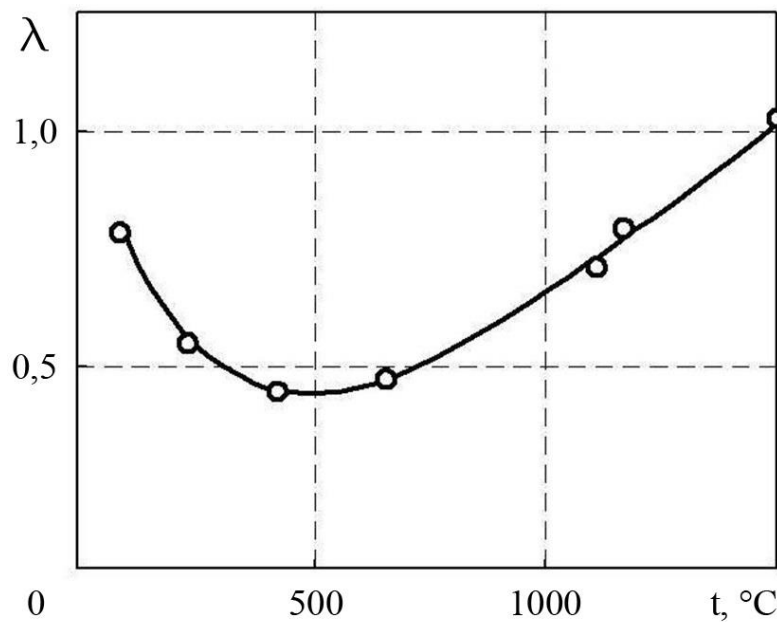


Рисунок 7.1 – Типова залежність теплопровідності формувальних сумішей від температури

Для повної оцінки процесів взаємодії форми з металом існують інтегральні теплофізичні характеристики, такі як температуропровідність та теплоакумулювальна здатність.

Температуропровідність характеризується коефіцієнтом температуропровідності, який є показником теплоінерційності матеріалу.

Цей коефіцієнт, $\text{м}^2/\text{с}$, визначають за формулою:

$$a = \frac{\lambda}{C \cdot \rho},$$

де λ – коефіцієнт теплопровідності, $\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$;

C – питома теплоємність, $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$;

ρ – густина ущільненої форми, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Коефіцієнт температуропровідності a головним чином залежить від теплопровідності λ , тому що об'ємна теплоємність ($C \cdot \rho$), як показала практика, змінюється незначною мірою.

Для приблизних розрахунків приймають a для сумішей:

– на основі кварцового піску: $5 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$;

– на основі цирконового піску: $8 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$.

Підвищення температуропровідності як форми, так і сплаву, прискорює охолодження і кристалізацію виливка.

Теплоакумулювальна здатність грає вирішальну роль у процесі теплообміну. Тепло виливка може бути сприйняте формою в настільки більшій кількості, наскільки більша її теплоакумулювальна здатність.

Очевидно, що чим вища теплоакумулювальна здатність b , тим швидше охолоджується виливок. Ця теплофізична властивість об'єднує в собі усі інші властивості і враховує їх спільний вплив:

$$b = \sqrt{\lambda \cdot C \cdot \rho},$$

де b – теплоакумулювальна здатність форми, $\frac{Вт \cdot c^{1/2}}{м^2 \cdot К}$;

λ – коефіцієнт теплопровідності, $\frac{Вт}{м \cdot К}$;

C – теплоємність, $\frac{Дж}{кг \cdot К}$;

ρ – густина ущільненої форми, $кг/м^3$.

Вогнетривкість – це здатність матеріалу протистояти дії високих температур.

Під дією тепла залитого у форму металу форма нагрівається. Залежно від C , λ , a , b температура її може бути доволі значною, особливо температура шарів, які контактують з металом.

Вогнетривкість сумішей залежить від вогнетривкості складових та їхнього співвідношення. По суті, це температура у $^{\circ}C$ або K , до якої ливарна форма не руйнується.

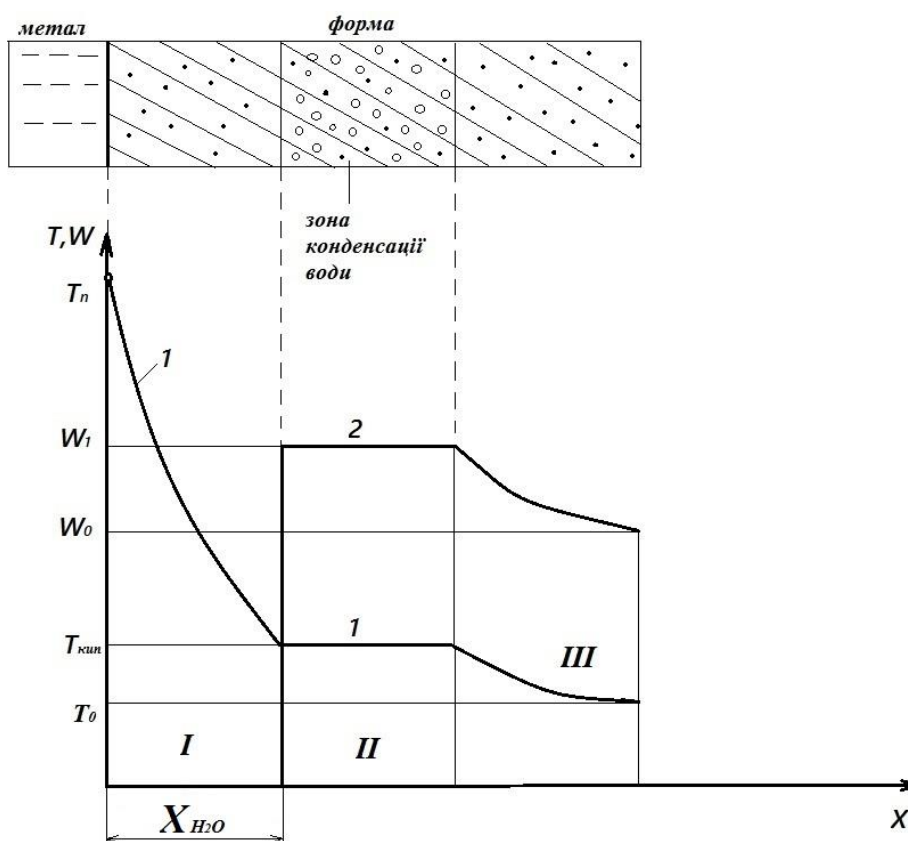
Вогнетривкість окремих компонентів формувальної суміші висока і співпадає з їх температурою плавлення (для SiO_2 1713 $^{\circ}C$, Al_2O_3 – 2050 $^{\circ}C$). Ці два вогнетривкі оксиди складають основу формувальних глин, а також ряду вогнетривких наповнювачів алюмосилікатного класу.

Проте у системі 5,5% Al_2O_3 і 94,5% SiO_2 утворюється евтектика з температурою плавлення 1545 $^{\circ}C$. При наявності в суміші домішок FeO вогнетривкість знижується до 1177 $^{\circ}C$, при наявності Na_2O – до 1100 $^{\circ}C$ через утворення потрійних і більш складних евтектик цих сполук з Al_2O_3 і SiO_2 .

Вогнетривкість сумішей, які містять органічні речовини, ще менша через низьку термічну стійкість цих сполук. Для сумішей із різними органічними зв'язувальними компонентами ця величина лежить у межах 300...800 $^{\circ}C$ і відповідає температурі деструкції даного зв'язувального компонента [1, 3, 6].

7.2. Теплова взаємодія з розплавом

При нагріванні поверхневих шарів форми відбувається інтенсивне випаровування із них вологи, а також теплове розширення суміші [3]. Волога, яка випаровується, рухається у вигляді пари у глибину форми, а досягаючи горизонту з температурою $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, конденсується, і там утворюється перезволожена зона (рис. 7.2). Вона знаходиться на відстані декількох міліметрів від поверхні вилівка і називається **зоною конденсації води**. Міцність формувальної суміші у цій зоні мінімальна (приблизно у 10...20 разів менша за початкову), і тому можливе відшарування поверхневої кірки форми (рис. 7.3).



T_n – початкова температура металу; T_0 – початкова температура форми;

$T_{\text{кип}}$ – температура кипіння води; W_0 – початкова вологість форми;

W_t – вологість в зоні конденсації води

I – поверхнева (висушена) зона форми; II – зона конденсації води;

III – віддалена від вилівка зона форми

Рисунок 7.2 – Розподіл температури (1) і вологості (2) у ливарній формі

Внаслідок теплового розширення поверхневого шару суміші в ньому виникають напруження, які часто перевищують міцність суміші. В такому разі у формі виникають тріщини, в які незабаром проникає рідкий метал (рис. 7.3, 7.4).

Відшаровані ділянки форми ще до моменту контакту з рідким металом можуть обвалитися (рис. 7.4), утворюючи поверхневі дефекти виливків. Ці дефекти мають загальну назву «ужимина» (рис. 7.5). Вона являє собою поглиблення з пологим краєм на поверхні виливка, яке заповнене формувальною сумішшю, прикрите шаром металу, товщина якого дорівнює відшарованій кірці.

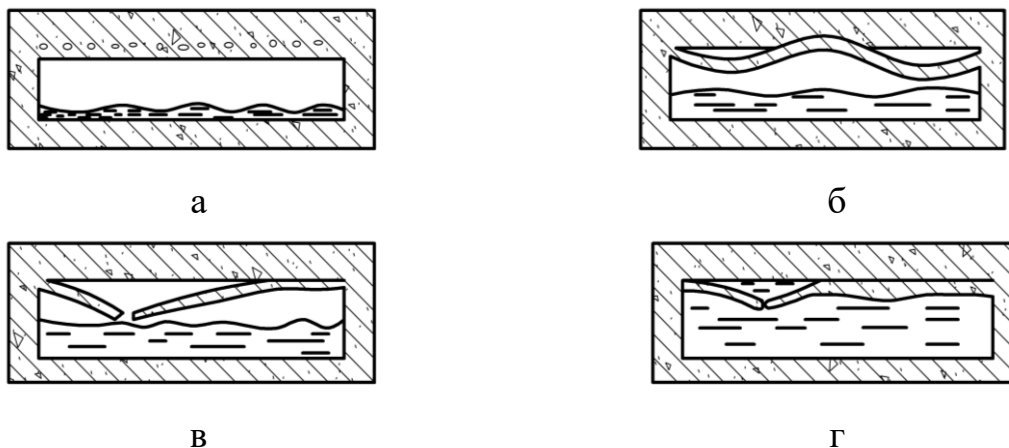


Рисунок 7.3 – Схема відшарування поверхні форми в зоні конденсації води: а – початок заповнення порожнини; б – теплове розширення і відшарування поверхневої кірки; в – утворення тріщини в поверхні форми; г – проникнення металу в тріщину

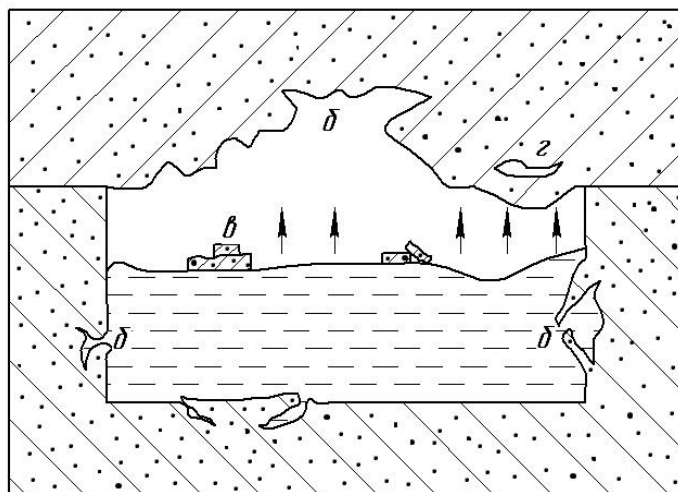


Рисунок 7.4 – Схема утворення поверхневих дефектів типу «ужимина»

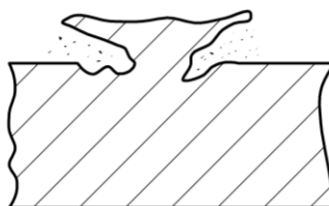


Рисунок 7.5 – Зовнішній вигляд дефекту «ужимина»

Крім ужимин, внаслідок обвалу суміші в метал, може утворитися піщана раковина.

Дефекти, зумовлені розширенням і відшаруванням форми, найчастіше з'являються на верхніх горизонтальних поверхнях виливків, які мають великі плоскі ділянки, де форма значно прогривається від теплового випромінювання металу.

Для попередження утворення «ужимин» необхідно [3]:

- застосовувати формувальні суміші з високою загальною міцністю при стисканні (бажано понад 0,08 МПа);

- підвищити міцність суміші в зоні конденсації води (досягається вибором різновиду формувальної глини або введенням спеціальних добавок, які стабілізують вологість);

- вводити у суміш добавки, які підвищують її пластичність;

- не допускати переущільнення поверхневого шару форми (переущільнений шар при тепловому розширенні відразу тріскається);

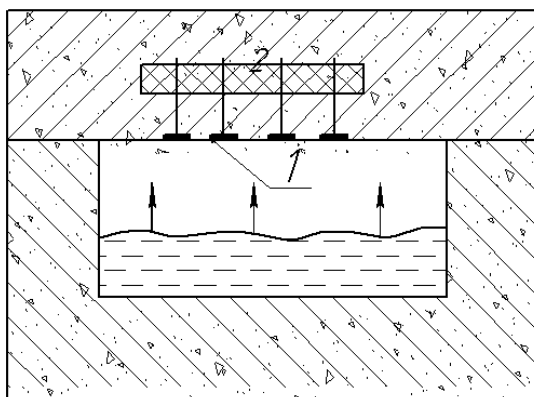
- заливати форму в нахиленому положенні (замість горизонтального).

У такому разі знижується інтенсивність теплового випромінювання металу на горизонтальну поверхню форми;

- проводити заливання в сухі або підсушені форми;

- укріплювати поверхневий шар форми за допомогою шпильок або цвяхів (рис. 7.6). На 1 дм² горизонтальної поверхні форми рекомендується 20...25 цвяхів.

- наносити на поверхню форм протиужиминні сітки (рис. 7.7). При цьому висушена кірка на поверхні форми має змогу розширюватись у всіх напрямках, внаслідок поділу її на дрібні частини, не відриваючись при цьому. Оскільки розміри виступів протиужиминної сітки невеликі і значно менші за припуски на механічне оброблення поверхні виливка, сітка видаляється з поверхні виливка при механічному обробленні.



1 – цвяхи; 2 – зона конденсації

Рисунок 7.6 – Схема укріплення поверхні форми цвяхами

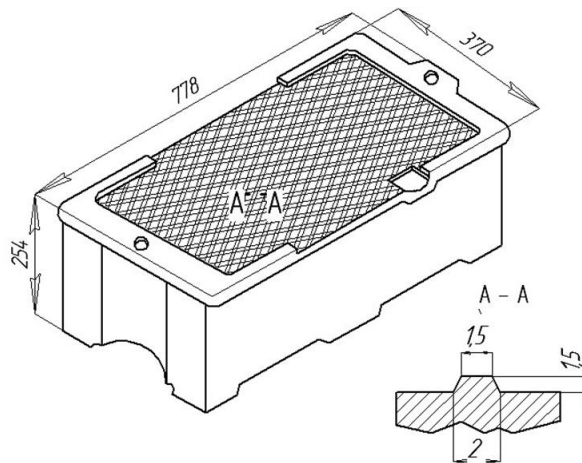


Рисунок 7.7 – Виливок з протижиминною сіткою

На практиці схильність формувальних сумішей до утворення «ужимин» визначають за методикою, зображеною на рис. 7.8. Отримують виливок у вигляді плити, на зовнішній поверхні якого визначають площу, у см^2 , зайняту ужиминами [3].

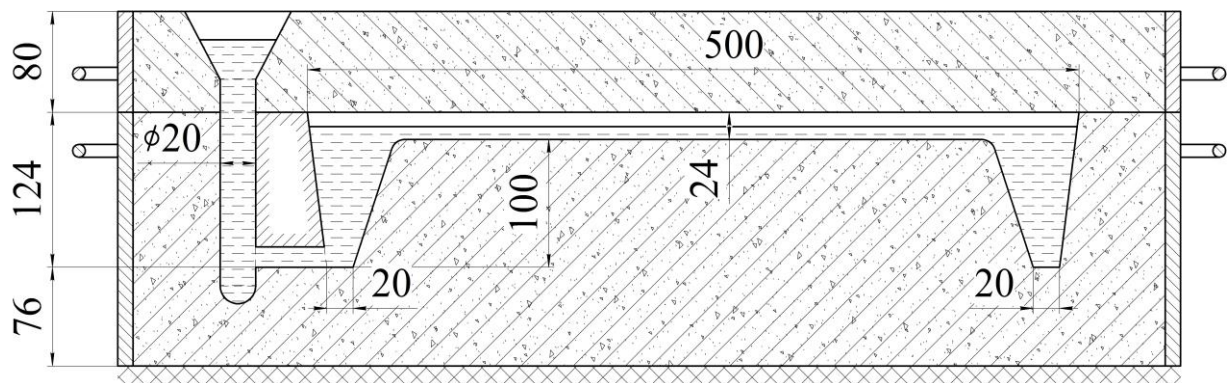


Рисунок 7.8 – Технологічна проба на ужимини

7.3. Взаємодія на етапах твердіння і у твердому стані

7.3.1. Температурні поля у виливку і формі

З перших моментів нагрівання форми металом на межі контакту між ними існує температурний перепад, який поступово зменшується (рис. 7.9).

Після того, як на поверхні металу з'являється затверділа кірка, продовжується інтенсивне нагрівання поверхні форми і віддача теплоти від виливка. Як правило, температури поверхні форми і виливка вирівнюються на 2 або 3 етапі. Після цього виливок і поверхня форми продовжують охолоджуватись разом.

Через деякий інтервал часу починає підвищуватись і температура зовнішньої поверхні форми. Із цього моменту теплота відводиться від форми у навколишній простір.

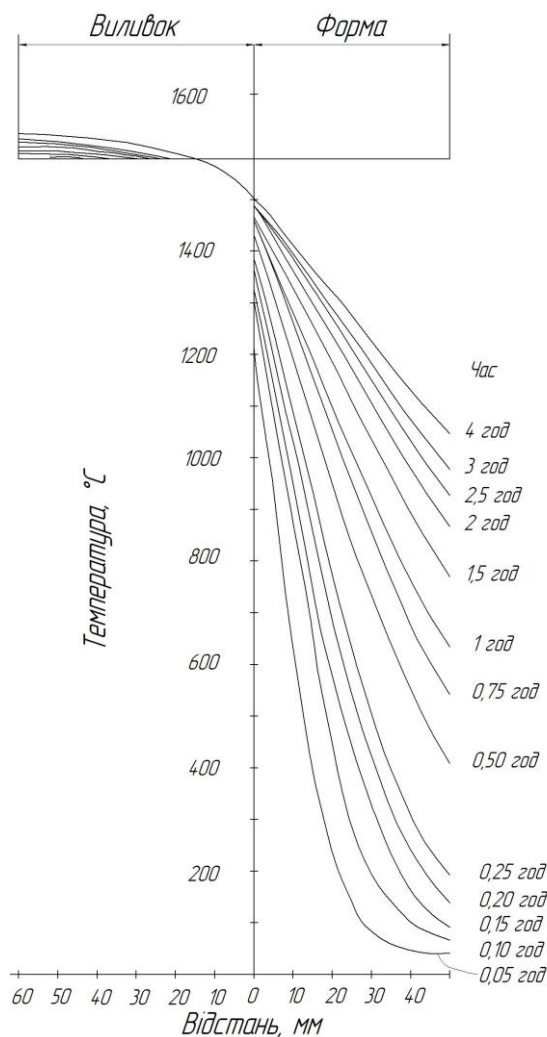


Рисунок 7.9 – Розподіл температур у виливку і формі

За температурою прогрівання ливарну форму по всій товщині умовно поділяють на три шари [3]:

1. Шар форми, який прогрівається до температур, близьких до температури поверхні виливка. Максимальна температура прогрівання поверхні форми, зафіксована експериментально при заливанні особливо крупних сталевих виливків, 1510 °С. Товщина шару форми, де суміш прогрівається понад 1000 °С, не перевищує 10 мм (рис. 7.10). Суміш у цьому шарі зазнає значних фізико-хімічних змін і стає непридатною до повторного використання.

2. Шар форми, який прогрівається понад 500 °С. Товщина цього шару коливається в широких межах, а у разі використання тонкостінних чи оболонкових форм він може досягати їх зовнішньої поверхні. При нагріванні понад 500 °С, наприклад, у формувальних глинах відбуваються незворотні

перетворення, внаслідок яких вони частково або повністю втрачають зв'язувальну здатність. Тобто використовувати повторно таку суміш можливо, але необхідним є додавання свіжих матеріалів.

3. Шар форми, який прогрівається не вище 500 °С. Суміш повністю придатна до повторного використання.

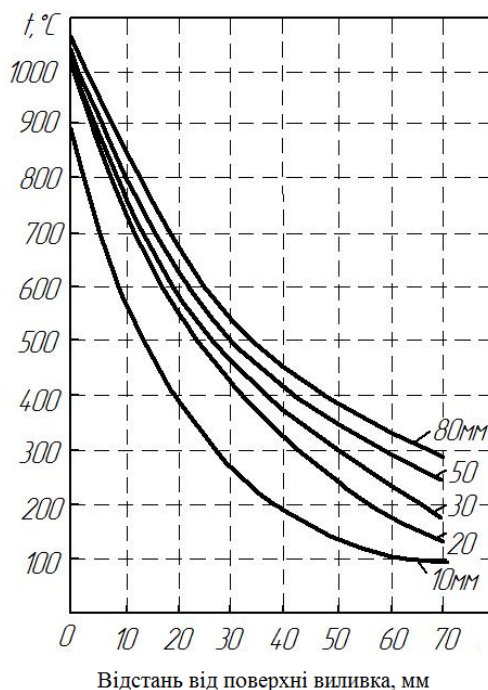


Рисунок 7.10 – Розподіл температур у формах при виготовленні сталевих плит товщиною від 10 мм до 80 мм

7.3.2. Фізичні та фізико-хімічні процеси у формі

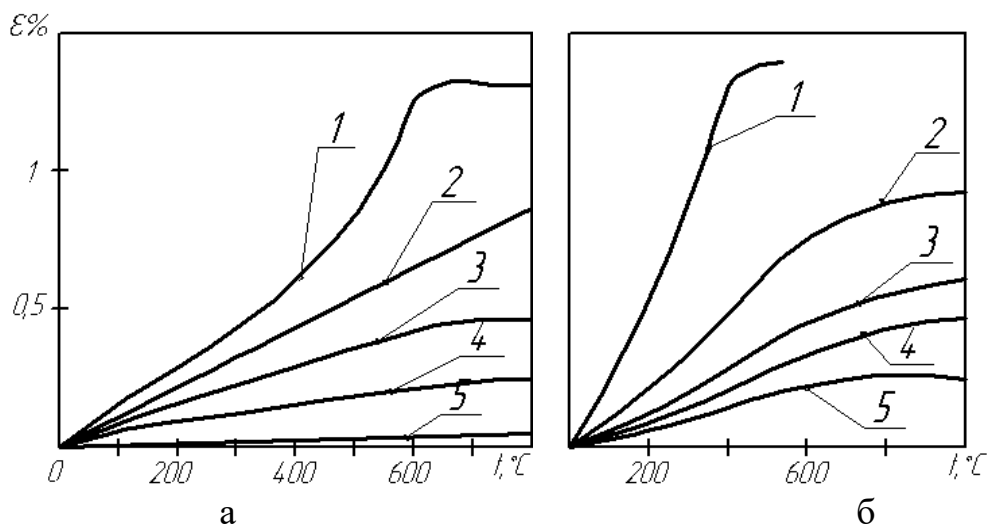
Швидке нагрівання та значний температурний перепад у формі не проходить безслідно для суміші. У ній відбуваються наступні процеси і перетворення [3]:

1. Випаровування вологи з виділенням водяної пари: на I етапі у поверхневому шарі форми, на II, III, IV етапах – в інших шарах. Небезпечним цей процес є тільки на першому етапі через можливе утворення ужимин (що описано у п. 7.2).

2. Усадка глини через видалення з неї вологи – відбувається в усіх шарах форми, найінтенсивніше – у перших двох. Це викликає об'ємні зміни у формі, що певним чином впливає на геометричну точність вилівка.

3. Теплове розширення наповнювача (максимальний коефіцієнт теплового розширення притаманний кварцовому піску ($\alpha = 1,5 \cdot 10^{-5} \text{K}^{-1}$)). Теплове розширення основних наповнювачів показано на рис. 7.11. Процес відбувається

на всіх етапах у всіх шарах форми. Чим більшим є прогрівання форми, тим більші значення теплового показника розширення. Так, суміш на основі кварцового піску у поверхневих шарах форми має лінійне розширення понад 1,5%, а суміш, наприклад, з плавленим кварцом, не більше 0,25% (рис. 7.11).



1 – кварц; 2 – олівін; 3 – хроміт; 4 – циркон; 5 – плавлений кварц

Рисунок 7.11 – Теплове розширення вогнетривких наповнювачів: а – повільне нагрівання разом із піччю; б – швидке нагрівання (термоудар) до 1000 °С

4. Розпад органічних складових із виділенням газоподібних продуктів. У поверхневому шарі форми відбувається на I і II етапах, в середньому шарі – на III і IV етапі, коли форма прогрівається вглиб. У зовнішньому шарі температура не перевищує 500 °С, і розпаду органічних складових майже не відбувається.

5. Розплавлення подвійних, потрійних і більш складних евтектик у суміші – відбувається лише у поверхневому шарі форми. Небезпечним цей процес є на I етапі, коли метал рідкий, тому що він може вступити в хімічну взаємодію з цими евтектиками, внаслідок чого утвориться пригар.

6. Модифікаційні перетворення наповнювача суміші. Найчастіше застосовують пісок на основі SiO_2 , а ця сполука має ряд поліморфних перетворень. Вони відбуваються з перебудовою кристалічної ґратки і відповідно із зміною питомого об'єму матеріалу, що у свою чергу є причиною зміни розмірів форми і відхилення розмірів виливка:

1) при 573 °С β -кварц, який є основою природного піску, перетворюється на α -кварц із збільшенням питомого об'єму на 2,4%;

2) при 870 °С відбувається перетворення α -кварцу на α -тридиміт із збільшенням питомого об'єму на 12,14%;

3) при 1470 °C відбувається перетворення α -тридиміту на α -кристобаліт із збільшенням питомого об'єму на 4,7%.

На температуру поліморфних перетворень значною мірою впливає наявність домішок у кварцовому наповнювачі. В основному, вони знижують температуру кожного із перетворень.

У поверхневому шарі форми можуть відбуватися усі три перетворення, внаслідок чого напруження, які виникають у зернах піску, призводять до їх розколу. Такий пісок є малоприсадним для повторного використання. У середньому шарі форми відбувається лише перетворення на α -кварц без вагомих наслідків, а у зовнішньому шарі поліморфні перетворення не відбуваються.

☞ *Контрольні запитання до розділу 7:*

1. Які фактори впливають на теплообмін між виливком і формою?
2. Дайте визначення та наведіть приклади теплофізичних властивостей ливарної форми.
3. Від яких факторів залежать теплофізичні властивості ливарної форми?
4. Які процеси відбуваються у ливарній формі під час її теплової взаємодії з розплавом?
5. Що таке зона конденсації води і які передумови її утворення?
6. Що являють собою ливарні дефекти із загальною назвою «ужимина»? Які причини та динаміка їх утворення?
7. Які засоби необхідно провести для попередження утворення ужимин?
8. Які процеси теплової взаємодії відбуваються у ливарній формі під час і після твердіння виливка?
9. На які шари за температурою прогрівання умовно поділяють ливарну форму по товщині?
10. Як впливають теплофізичні властивості ливарної форми на умови твердіння і охолодження виливків?

РОЗДІЛ 8. ГАЗОВІ ПРОЦЕСИ У ЛИВАРНІЙ ФОРМІ

8.1. Утворення газів у формі

Джерелами газів є [3]:

1. Повітря, яке знаходиться у порожнині форми.

2. Випаровування вологи із формувальної суміші. Це випаровування відбувається у декілька етапів і в широкому інтервалі температур. Формувальні глини мають особливість кристалічної будови: крім кристалогідратної води, яка міститься у ґратках цих мінералів, глина здатна поглинати і міцно утримувати додатково певну кількість води між шарами кристалічної ґратки. Таким чином, виділення парів H_2O при нагріванні форми відбувається:

1) при $100...110$ °С – вільна волога;

2) при $120...180$ °С – міжшарова (поглинена глиною) волога;

3) при $350...800$ °С – кристалогідратна вода. Точна температура її видалення залежить від типу кристалічної ґратки глини.

Суміші з іншими зв'язувальними компонентами також можуть містити вільну і хімічно зв'язану (імобілізовану) воду, яка видаляється при $180...250$ °С;

4) горіння органічних добавок або домішок суміші. Це можуть бути деревна тирса, вугілля, парафін, мазут тощо. Внаслідок горіння цих речовин виділяється значна кількість газів;

5) термічний розпад (деструкція) органічних зв'язувальних компонентів. Такі компоненти як масла, полісахариди, полівініловий спирт розпадаються при $300...400$ °С, а синтетичні смоли – при $400...800$ °С. При цьому виділяється значна кількість газової фази.

Під час нагрівання усі гази збільшуються в об'ємі:

$$V_t = V_0 \left(1 + \frac{1}{273} t\right), \quad (8.1)$$

де V_t – об'єм газу при температурі t ;

V_0 – об'єм газу при стандартних умовах;

t – температура, °С.

При робочих температурах (понад 1000 °С), згідно формули (8.1), об'єм повітря та інших газів у формі збільшується у $4...5$ разів.

1 см³ води при випаровуванні дає 1240 см³ водяної пари, 1 г вуглецю при згоранні дає 1870 см³ CO₂. Органічні зв'язувальні компоненти при термічному розпаді 1 см³ дають від 1000 до 6600 см³ газів (максимум для зв'язувального компонента КО).

За даними Я. І. Медведєва [38], протягом 3 хв після заливання з кожного 1 см² площі форми виділяється 30...40 см³ газів.

Основними газами, які утворюються у формі, є Н₂ (до 60% за об'ємом), СО (до 35%), СО₂, Н₂О, N₂, О₂, оксиди азоту, вуглеводні (у першу чергу метан). При розпаді органічних зв'язувальних компонентів також можуть виділятися формальдегід, фенол, толуол, фурфурол, а також навіть ціаніди, бензапірен та інші небезпечні гази.

Звідси ясно, що об'єм виділених газів залежить від вологості суміші, складу і вмісту різних добавок, температури прогрівання суміші.

Для опису процесів взаємодії газів із ливарними формами прийнято розрізняти дві властивості формувальних сумішей – газотвірну здатність і газопроникність.

Газотвірна здатність показує, який об'єм газів виділяється з одиниці маси або одиниці об'єму суміші при її нагріванні до робочих температур [3].

Сира піщано-глиняста суміш через наявність вільної вологи має найбільшу газотвірну здатність. Суміші з рідким склом містять іммобілізовану воду, яка також збільшує газотвірність. Суміш із смолою, незважаючи на велику кількість газів, які виділяються під час її деструкції, має менше значення газотвірної здатності, тому що вміст смоли у цих сумішах не перевищує 2...3%.

Другою важливою характеристикою є газопроникність.

Газопроникність – це здатність ущільненої формувальної (стрижневої) суміші пропускати крізь себе гази. Газопроникність суміші є наслідком її пористості. Якщо уявити формувальну суміш, яка складається з піщинок різних розмірів і форми, то при укладанні піщинок між ними будуть пори. Через ці пори можуть рухатися повітря й інші гази.

8.2. Взаємодія рідкого металу із газами у формі

На початку заливання форми метал, який заповнює її порожнину, має витіснити з неї усе повітря, яке, до того ж, стрімко розширюється в об'ємі через нагрівання. Газопроникності суміші, як правило, не вистачає, і тому у формах для виливків понад 10 кг передбачають спеціальний повітровивідний канал – **випор**. Цей елемент ливникової системи розташовують у найвищій

точці порожнини форми: таким чином усе повітря, яке поступово витісняється металом, виходить з форми через випор. Для крупних форм кількість випорів збільшують, а для сумішей, які мають низьку газопроникність (наприклад суміш на основі гіпсу), кількість випорів може доходити до декількох десятків.

Після завершення заливання металом форми у ній починаються процеси стрімкого нагрівання і утворення газів. Гази поступово розширюються і утворюють надлишковий тиск P_{ϕ} . Якщо цей тиск перевищує протитиск з боку рідкого металу, то гази спрямовуються у вилівок [3]:

$$P_{\phi} > P_{Me} + P_{над} + P_{\sigma} \quad (8.2)$$

де P_{ϕ} – надлишковий тиск газів у формі;

P_{Me} – металостатичний тиск (визначається за формулою (6.1));

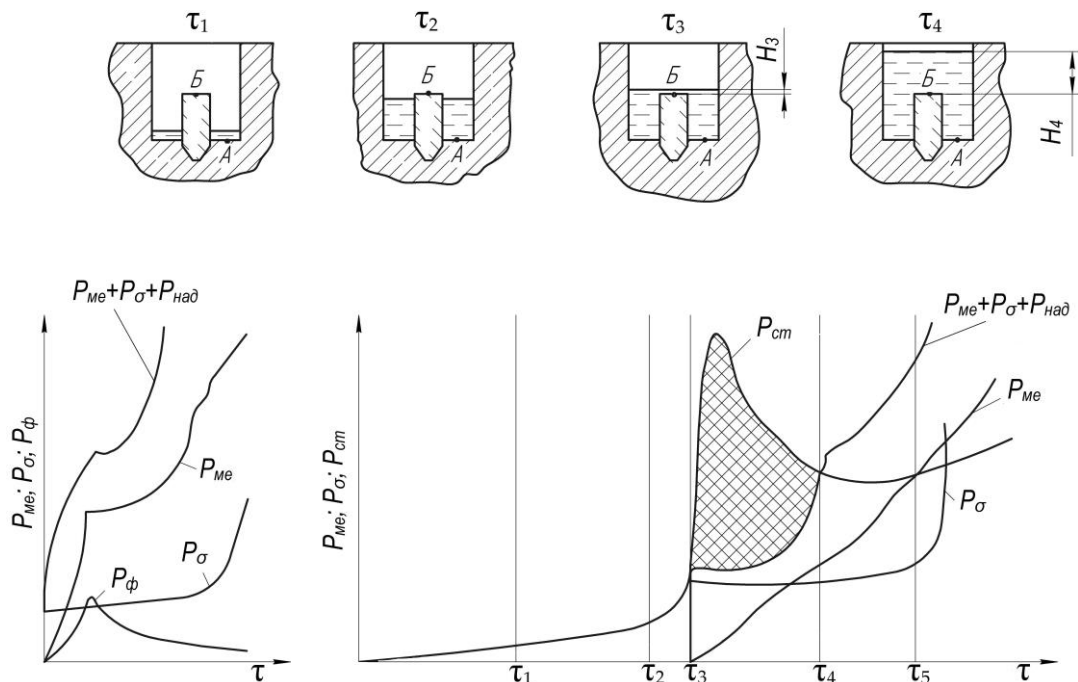
$P_{над}$ – надлишковий тиск над дзеркалом металу (дорівнює атмосферному, якщо не створюється додатковий тиск у формі);

P_{σ} – протитиск, який виявляє поверхневий натяг розплаву (капілярний або Лапласівський тиск):

$$P_{\sigma} = \frac{2\sigma}{r},$$

де σ – поверхневий натяг металу на межі із власною парною;

r – радіус утвореної газової бульбашки.



P_{ϕ} – тиск газів у формі; $P_{ст}$ – тиск газів у стрижні; P_{Me} – металостатичний тиск;
 $P_{над}$ – надлишковий тиск на поверхню розплаву; P_{σ} – протитиск, зумовлений
 поверхневим натягом розплаву

Рисунок 8.1 – Розподіл тиску в формі і стрижні в різний період

Особлива небезпека проникнення газів у метал існує з боку не форм, а стрижнів, оскільки вони містять більше газотвірних складових, при цьому часто з усіх боків оточені металом, тому вихід газів із них ускладнено. На рис. 8.1 показано, що в момент повного покриття стрижня металом (τ_3) сумарний тиск газів у ньому перевищує протитиск, і є небезпека потрапляння бульбашок газу у розплав. Це відбувається за схемою, наведеною на рис. 8.2.

Критичними значеннями тиску газів P_{ϕ} , при якому вони спрямовуються з форми у метал, вважають 1500 Па для чавуну і 500 Па для сталі [3].

Поки метал рідкий, і на його поверхні немає кірки, гази можуть спокійно проходити крізь усю товщину рідкого вилівка і виходити на поверхню, не утворюючи газових дефектів.

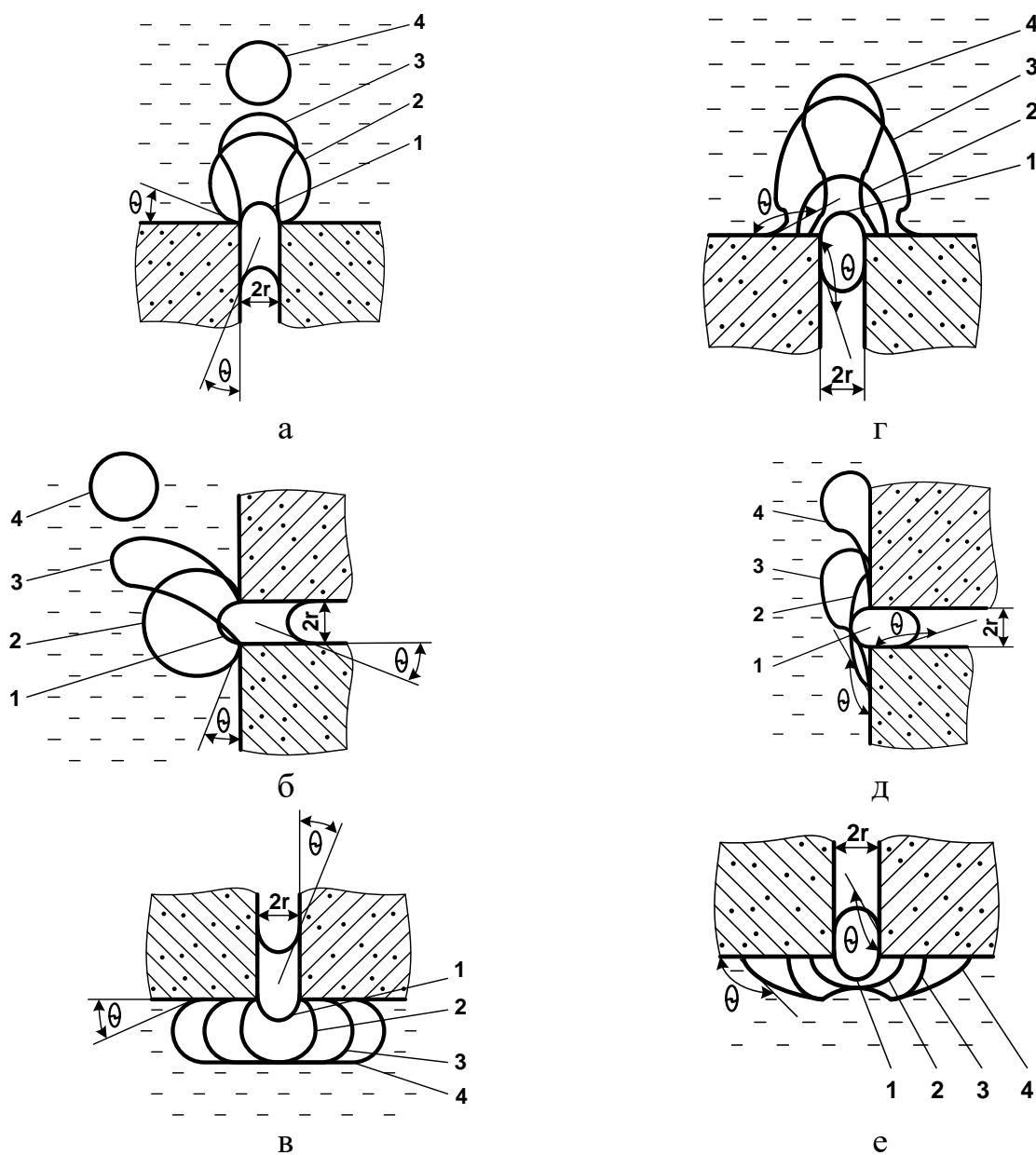


Рисунок 8.2 – Схема занурення газової бульбашки у розплав: а, б, в – $\theta < 90^\circ$; г, д, е – $\theta > 90^\circ$

8.3. Взаємодія газів із твердою кіркою на поверхні виливка

Другий етап найбільш небезпечний з точки зору утворення газових дефектів у виливках [3]. На поверхні металу утворюється тверда кірка, і тому усі бульбашки газу, які встигли до цього проникнути в метал, не можуть звідти вийти. Вони упираються в кірку і створюють підкоркові газові дефекти (раковини), які зовні невидимі, і тим більш небезпечні.

Якщо тиск газів з боку форми не зменшується, то гази будуть продовжувати атакувати поверхню металу, і у твердій кірці вони будуть утворювати заглиблення і ум'ятини. Цей дефект називається газовою шорсткістю (рис. 8.3).

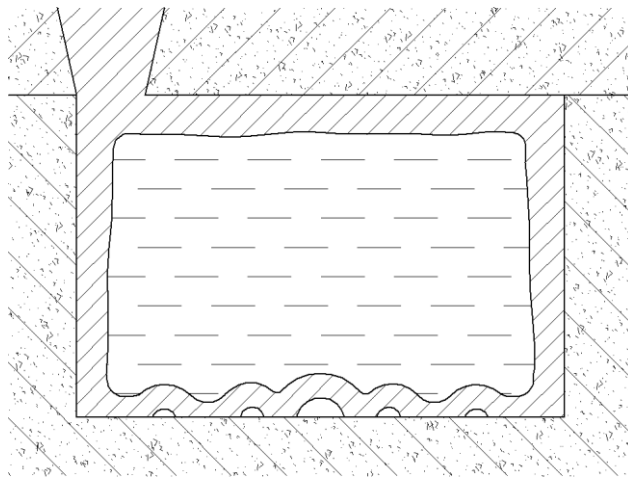


Рисунок 8.3 – Газова шорсткість на поверхні виливка

8.4. Взаємодія виливка із газами на етапі твердіння

При існуванні у формі джерела газовиділення і близько розташованого термічного вузла виливка (в якому кристалізація металу сповільнена), а також при місцевому перегріванні форми або стрижня, в цьому місці газовиділення може інтенсифікуватися. При цьому тиск газів у формі досягає максимуму, і вони здатні долати опір вже досить товстої кірочки твердого металу. Так утворюються газоусадкові дефекти.

Ці дефекти нагадують усадкові, червеподібно спрямовані у бік термічного центру виливка на глибину 10...15 мм. Внутрішня поверхня раковин (на відміну від усадкових) відрізняється металевим блиском, без слідів окиснення. У прилеглому до дефекту об'ємі метал щільний. Таким чином очевидно, що ця раковина утворилась у результаті прориву з форми газу після затвердіння кірки на поверхні металу, у момент формування дендритного каркасу у внутрішніх шарах виливка.

Причинами виникнення таких дефектів, як правило, є перезволоження окремих ділянок форми. Особливо небезпечною є волога, яка конденсується на кромках стрижня, який контактує з сирою формою, а після заливання – з виливком. Кількість конденсованої вологи пропорційна тривалості витримки форми у складеному вигляді до заливання. Для запобігання цим дефектам у виливках необхідно не допускати довготривалих простоїв форми, заливати у сухі або підсушені форми замість сирих, а також забезпечити прискорене твердіння термічних вузлів виливка.

Гази, розчинені у металі, при кристалізації і подальшому охолодженні виділяються у вигляді бульбашок і створюють газову пористість, яка знижує механічні та спеціальні властивості металу. Вміст цих газів не залежить від ливарної форми, оскільки вони потрапляють у метал на етапі плавлення.

8.5. Методи попередження проникнення газів у виливки

Аналізуючи формулу (8.2), очевидно, що способами запобігання проникненню газів у рідкий метал є наступні [3]:

1. Зниження тиску газів у формі P_{ϕ} . Зниження цієї величини забезпечується за наступних умов:

1) зниження газотвірної здатності суміші, якого досягають:

- а) зниженням вмісту органічних складових;
- б) зменшенням вологості;
- в) зменшенням ступеню ущільнення;

2) збільшення газопроникності форми, якого досягають:

- а) зниженням ступеню ущільнення;
- б) використанням більш крупного наповнювача;
- в) встановленням випорів;
- г) виконанням газоventиляційних каналів у формах та стрижнях;

3) вакуумування форми.

2. Збільшення металостатичного тиску P_{Me} . Зростання цієї величини забезпечується за наступних умов:

1) збільшення металостатичного напору;

2) збільшення швидкості заливання (не збільшує абсолютне значення напору, але прискорює заповнення форми і досягнення максимального значення напору).

3. Накладання тиску на метал при заливанні (збільшення $P_{над}$).

4. Заливання металу з мінімальною температурою (збільшення P_{σ}).

5. Створення газонепроникного бар'єру на межі метал – форма:
- 1) переуцільнення поверхні форми;
 - 2) використання дрібного (або пилоподібного) наповнювача для поверхневого шару форми;
 - 3) нанесення протипригарного покриття (грає додаткову роль бар'єру).

Як видно, деякі методи реалізувати складно, і тим складніше створити всі умови у комплексі. Є протиріччя (наприклад, створення надлишкового тиску на метал і вакуумування форми; зменшення ступеню уцільнення для зниження газотвірності і при цьому переуцільнення поверхні для створення бар'єру). Тому на практиці найбільш дієвим способом визнано створення направленої газової системи, тобто системи заходів, при яких гази із форми спрямовуються у протилежний від виливка бік.

Графік зміни газопроникності форми по її товщині виражає сутність направленої системи (рис. 8.4).

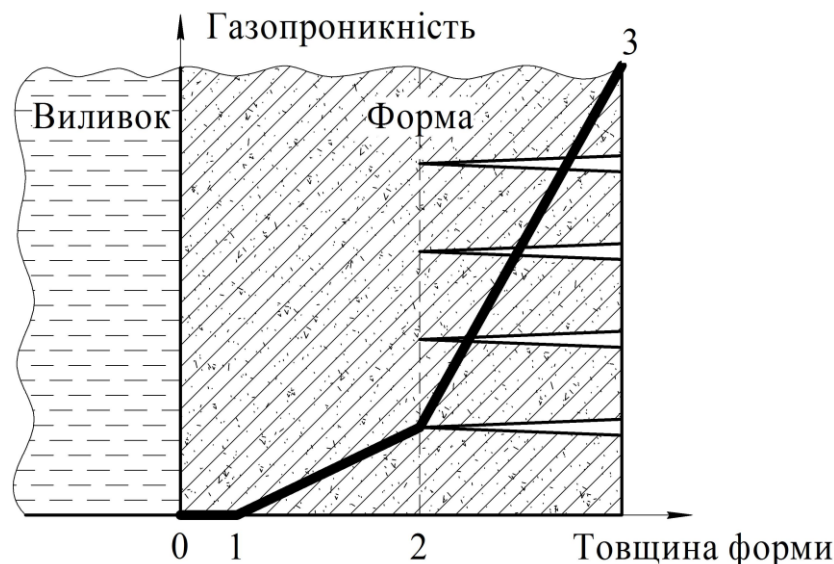


Рисунок 8.4 – Направлений газовий режим ливарної форми

Робочий шар форми 0-1, який контактує з металом, має бути не газопроникним і при цьому не газотвірним. Товщина цього шару 1...5 мм. По мірі віддалення від робочої поверхні газопроникність форми має збільшуватись (ділянка 1-2). У більшості випадків цієї газопроникності недостатньо для виведення усіх продуктів, і тому необхідно виконувати у формі вентиляційні канали (ділянка 2-3), фільтраційна здатність яких значно більша.

Товщина ділянки 1-2 приблизно 10...15 мм. Виконання каналів близько до поверхні виливка неможливе, тому що є небезпека проникнення в них рідкого металу і утворення дефектів на поверхні виливка.

Загальну схему фільтрування газів у формі і стрижні з вентиляційними каналами показано на рис. 8.5 [3].

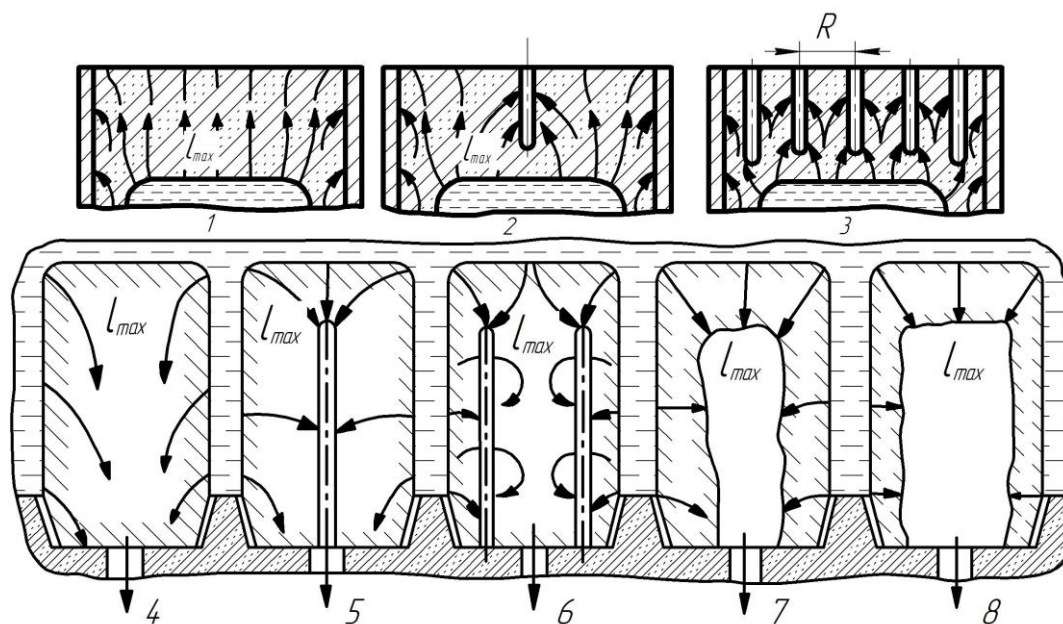


Рисунок 8.5 – Схема видалення газів із форми та стрижня

☞ Контрольні запитання до розділу 8:

1. Назвіть джерела утворення газів у ливарній формі.
2. Назвіть основні гази, які утворюються у ливарній формі.
3. Поясніть поняття газотвірної здатності формувальної або стрижневої суміші.
4. Поясніть поняття газопроникності формувальної або стрижневої суміші.
5. Яким чином забезпечують видалення повітря і газів під час заливання металу у форму?
6. Які процеси відбуваються під час взаємодії рідкого металу з газами у формі?
7. За яких умов гази, утворені у ливарній формі, спрямовуються у виливок?
8. Що таке коефіцієнт газовиділення і які його значення для формувальних сумішей різного типу?
9. Які причини появи газоусадкових дефектів і на якому етапі взаємодії вилівка з формою вони утворюються?
10. Наведіть методи попередження дефектів, які утворюються внаслідок газових процесів у ливарній формі.
11. Наведіть схему розподілу газопроникності по товщині ливарної форми для усунення можливості появи газових дефектів у виливках.
12. Наведіть заходи щодо попередження утворення газових дефектів у виливках.

РОЗДІЛ 9. ФІЗИКО-ХІМІЧНА ВЗАЄМОДІЯ ВИЛИВКА З ФОРМОЮ

На межі контакту метал-форма відбуваються різні фізико-хімічні процеси. Найважливішими є процеси взаємодії з формою рідкого металу, оскільки вони часто призводять до погіршення якості поверхні вилівка.

Основні фактори, які впливають на фізико-хімічну взаємодію [3, 6]:

- 1) тип сплаву;
- 2) температура заливання;
- 3) товщина стінок вилівка;
- 4) тип ливникової системи;
- 5) тип наповнювача і його вогнетривкість;
- 6) загальний склад суміші;
- 7) ступінь ущільнення суміші.

9.1. Взаємодія на етапі рідкого металу

9.1.1. Утворення пригару

У процесі заливання форми відбувається виділення газоподібних речовин, які створюють на межі контакту з розплавом окислювальне середовище (в першу чергу H_2 , CO_2 , O_2 та H_2O). Метал, взаємодіючи із цими газами, починає окислюватись. Для сплавів на основі заліза (сталь, чавун) переважно утворюється FeO .

Поверхня форми в будь-якому разі являє собою пористе тіло. Тому під дією ряду сил можливе проникнення рідкого металу в пори між частинками формувальної суміші.

Розплав заліза не змочує поверхню кварцу (крайовий кут змочування розплавленим залізом SiO_2 дорівнює 111° , тому проникнення металу в пори форми теоретично є неможливим, але воно відбувається, тому що на поверхні розплаву утворюється плівка оксидів. Для FeO крайовий кут змочування кварцу наближається до 0° , тобто відбувається повне змочування і проникнення розплаву в найтонші капіляри.

Далі починається хімічна взаємодія між оксидом заліза і матеріалом форми (як відомо, основу формувальної суміші складають оксиди SiO_2 і Al_2O_3). В результаті утворюються взаємні розчини оксидів заліза і кремнію один в одному, а також сполуки $FeO \cdot SiO_2$, $2FeO \cdot SiO_2$, $FeO \cdot Al_2O_3$ та більш

складні. Температура плавлення евтектики у системі FeO–SiO₂ дорівнює 1177 °С, тому при температурах, які досягаються на поверхні ливарної форми, утворені силікатні фази є рідкими. Вони добре змочують поверхню наповнювача і продовжують фільтруватись углиб форми.

Будь-яка формувальна суміш містить легкоплавкі домішки – оксиди лужних, лужноземельних металів, а також заліза, у вигляді складних сполук з низькою температурою плавлення [3, 6]:

1) калієвий польовий шпат (мікролін) K₂O · Al₂O₃ · 6SiO₂ з температурою плавлення у межах 1140...1240 °С;

2) натрієвий польовий шпат (альбіт) Na₂O · Al₂O₃ · 6SiO₂ з температурою плавлення у межах 1100...1160 °С;

3) слюда (мусковіт) K₂O · 3Al₂O₃ · 6SiO₂ · 2H₂O з температурою плавлення 1260 °С;

4) біотит (Na,K)₂O · 2(Mg,Fe)O · (Al,Fe)₂O₃ · 3SiO₂ з температурою плавлення у межах 1150...1240 °С;

5) анортит CaO · Al₂O₃ · 2SiO₂ з температурою плавлення у межах 1160...1250 °С;

6) лімоніт Fe₂O₃ · 3H₂O та магнетит FeO · Fe₂O₃.

Також у наповнювачах і відповідно у сумішах часто зустрічаються карбонати (кальцит CaCO₃ з температурою розпаду 880...900 °С, або доломіт CaCO₃ · MgCO₃ з температурою розпаду у межах 500...580 °С).

У формувальній суміші ці сполуки створюють складні евтектичні композиції (евтектика у системі SiO₂–Na₂O плавиться при 793 °С, у системі SiO₂–K₂O – при 525 °С, у системі SiO₂–Al₂O₃–Fe₂O₃ – при 1140 °С). Вони плавляться і згодом кількість розплаву збільшується, знижується його загальна температура плавлення та в'язкість. Таким чином, поверхневий шар форми являє собою твердо-рідку фазу із зерен наповнювача і складного силікатного шлакоподібного розплаву.

Згодом поверхня виливка охолоджується, і силікатний розплав твердіє, ставши із нею єдиним цілим. Гірше за все, якщо відбудеться відновлення заліза із силікатного розплаву, який перебуває у порах форми. Через те, що до складу цього шлакового середовища входять більш активні метали (кремній, алюміній, домішки натрію, кальцію, магнію тощо), створюються умови для відновлення заліза, і тоді після затвердіння розплаву в порах форми утворюється міцний металізований каркас.

Пригар – це шлакоподібний силікатний шар із оксидів металу, силікатних фаз та формувальних матеріалів, який міцно зчеплений з поверхнею виливка (рис. 9.1).

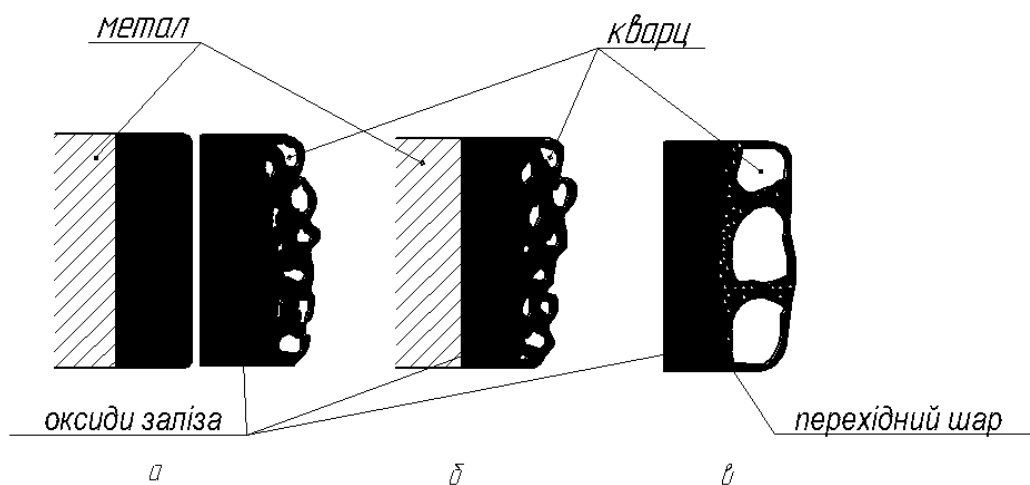


Рисунок 9.1 – Схема пригарних плівок: а – легковідокремлюваний пригар; б, в – важковідокремлюваний пригар

Пригар погіршує зовнішній вигляд виливка і ускладнює його механічне оброблення. Після охолодження виливка необхідно очищувати його від пригару, що є трудомісткою і екологічно шкідливою операцією.

9.1.2. Види пригару

Пригар поділяють на три основні різновиди [3, 6], залежно від умов його утворення та складу пригарної плівки:

1. Металізований пригар. Утворюється при проникненні розплаву у пори форми або стрижня без окислення металу. Пригарна плівка складається із частинок формувальної суміші, міцно зцементованих з поверхнею виливка металевими прожилками.

Такий пригар у чистому вигляді майже не зустрічається, тому що метал не може взагалі не окислюватись.

2. Хімічний пригар – утворюється в результаті хімічної взаємодії оксидів металу і матеріалу форми.

3. Термічний пригар – утворюється при розплавленні складових формувальної суміші і приварюванні їх до поверхні виливка.

У реальних умовах пригар, як правило, комплексний, тобто складається із усіх трьох видів. Для чавунних виливків характерна металізація пригару, а для сталевих – в основному він має хімічний характер. Зовнішній шар пригарної плівки має термічний характер.

Зчеплення пригарної плівки з виливком створюється при контакті з рідким металом, тобто при температурі вище нульової рідкотекучості. При досягненні цієї температури сполучна ланка із оксидів заліза (рис. 9.1) завершує своє формування. Після цього пригарна кірка може лише потовщуватись у результаті подальшого проникнення вглиб форми утворених до цього легкоплавких фаз.

Зв'язок із виливком пригарна кірка має за рахунок прожилок металу (в металізованому пригарі) або за рахунок плівки оксидів заліза, яка знаходиться між поверхнею виливка і пригарною кіркою (хіміко-термічний пригар).

Плівка оксидів заліза є дуже тоненькою (не більше 100 мкм), але при цьому саме вона грає основну роль у зчепленні пригару з виливком. Сама плівка являє собою частину діаграми залізо–кисень у зменшеному вигляді, вона не містить домішок склоподібної фази і утворюється виключно через окиснення поверхні виливка. Вміст кисню у плівці зростає у напрямку від поверхні виливка до пригарної кірки (рис. 9.2).

Дослідженнями проф. С. П. Дорошенка в КПІ ім. І. Сікорського встановлено, що міцність зчеплення пригарної кірки з поверхнею виливка залежить головним чином від товщини оксидної плівки [3].

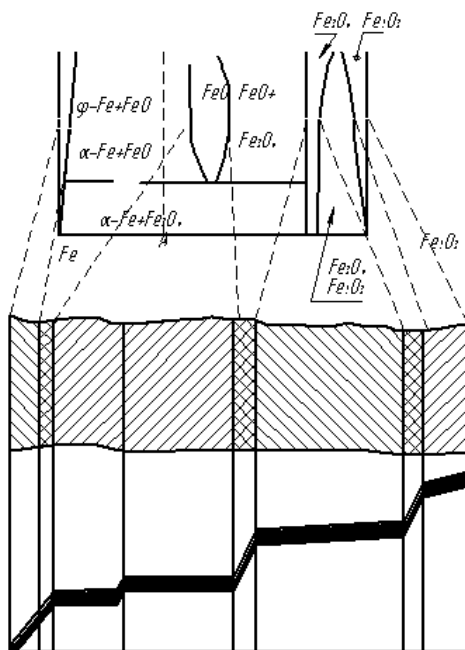


Рисунок 9.2 – Зв'язок між фазовим складом оксидної плівки на поверхні виливка і діаграмою стану Fe – O

Справа в тому, що фізичні властивості металу і його оксиду різні. Коефіцієнт термічного розширення металу значно вищий за відповідний коефіцієнт для оксиду. Внаслідок цієї різниці під час охолодження виливка в оксидній плівці виникають напруження, які перевищують її міцність при

розриванні. Якщо плівка тоненька, це не впливає на її зчеплення з поверхнею виливка, і вона продовжує міцно утримувати кірку пригару. Якщо ж товщина плівки оксидів 100 мкм і більше (товста плівка), то під час охолодження виливка вона відколюється від його поверхні (див. рис. 9.1, а), а разом з нею відвалюється і пригарна кірка.

Такий пригар називають **легковідокремлюваним**.

Чим товстіший оксидний шар, тим більша ймовірність його розтріскування і відокремлення пригарної кірки від виливка. Це може відбутися як при охолодженні виливка у формі, так і під час термічного оброблення виливка [3, 6].

Достатня товщина оксидного шару для легкого відокремлювання пригару може досягатись лише на сталевих виливках. Основними причинами цього є:

– інтенсивне окиснення розплаву сталі, у порівнянні з чавуном. Виникнення товстих оксидних плівок на чавунному виливку неможливе, що пов'язано із захисною дією його складових (C, Si, Mn). У порівнянні із сталлю, ці елементи в чавуні містяться у більшій кількості;

– низька ймовірність відновлення сталі із оксидів у порах форми. Тобто металізація пригару малоімовірна.

Після установаження умов утворення пригару на сталевих виливках виник новий напрямок боротьби з цим дефектом – створення на межі металу і форми шару оксидів оптимальної товщини для легкого відокремлення пригарної кірки.

Оскільки одночасно проходять процеси утворення оксидів та їх фільтрації в пори форми, вирішальну роль грає співвідношення швидкостей цих процесів.

Якщо швидкість окиснення металу менша за швидкість фільтрації розплаву в пори форми, тоді утворюється тонка оксидна плівка, яка міцно тримається на поверхні виливка.

Якщо швидкість утворення оксидів перевищує швидкість їх фільтрації в пори форми, тоді оксидна плівка на поверхні виливка потовщується, і створюються умови для легкого відокремлення пригару.

Отже, потрібно прискорювати процес окиснення сталі, але обмежувати її фільтрацію у поверхневому шарі форми. Цього можливо досягти створенням окислювальної атмосфери на поверхні метал-форма, додаванням у суміш окислювальних добавок (оксидів Fe або Mn, хлоридів металів), при цьому зменшуючи пористість поверхні форми.

Тонкостінні сталеві виливки, виготовлені у формах із піщано-рідкоскляних сумішей, часто мають гіршу чистоту поверхні, ніж товстостінні, оскільки шар оксидів на них не досягає достатньої товщини через швидке твердіння таких виливків.

Значний пригар на чавунних виливках, виготовлених в аналогічних формах із піщано-рідкоскляних сумішей, також пояснюється перевищенням швидкості фільтрації оксидів заліза над швидкістю їх утворення в результаті низької схильності чавуну до окиснення.

9.2. Взаємодія форми із затверділою кіркою

Після утворення твердої кірки на поверхні вилівка між нею і ливарною формою продовжує залишатися рідка фаза, яка складається із шару оксидів і силікатів, головним чином зумовлена існуванням евтектик у системі FeO – SiO₂ (рис. 9.3), температура плавлення яких нижча за 1200 °С.

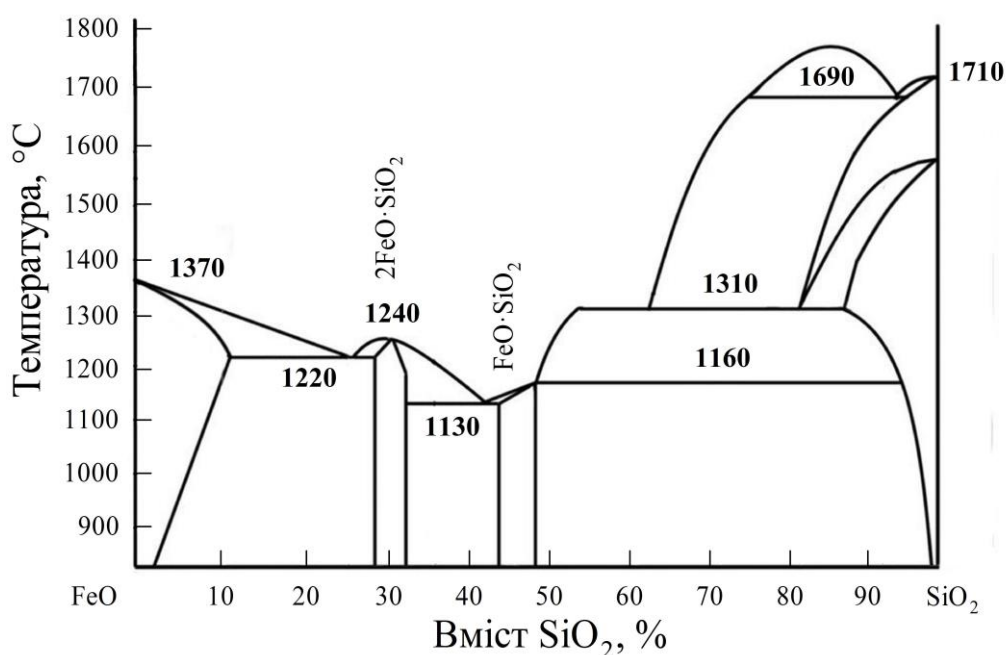


Рисунок 9.3 – Подвійна діаграма стану FeO – SiO₂

Тому утворення термічного пригару продовжується, але у цей період подальше утворення оксидів уже неможливе, оскільки немає доступу до рідкого металу. На цьому етапі відбувається лише фільтрація силікатного розплаву вглиб форми. Пригарна кірка внаслідок цього потовщується, після чого поступово силікатний розплав досягає температури твердіння. У результаті найбільш легкоплавкі фази у пригарній кірці концентруються в зовнішньому її шарі.

9.3. Методи боротьби з пригаром

Враховуючи особливості утворення пригару на поверхні чавунних і сталевих виливків, розроблено і відпрацьовано у виробничих умовах наступні методи попередження утворення цього дефекту:

1. Для сталевих виливків – **створення умов для легковідокремлюваного пригару**, що досягається наступними методами:

1) додавання у суміш різних окислювальних солей (хлоридів, фторидів, сульфатів, карбонатів) або оксидів (марганцевої або залізної руди, V_2O_5 тощо). Ці сполуки сприяють збільшенню швидкості утворення оксидів заліза;

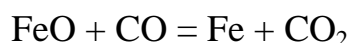
2) продування кисню в зону контакту метал-форма під час затвердіння поверхні виливка також прискорює окиснення металу;

3) зменшення пористості поверхні форми для зниження швидкості фільтрації оксидів металу;

4) використання рідкого скла як зв'язувального компонента призводить як до окиснення металу, так і до спікання поверхні форми.

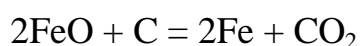
2. Для чавунних виливків – **запобігання окисненню металу** для унеможливлення утворення пригару взагалі.

Найбільш ефективними для реалізації цього є добавки речовин, які вміщують вуглець. Найчастіше це графіт, деревне або кам'яне вугілля, мазут. Також можна застосовувати торф, парафін, стеарин та інші органічні речовини. При нагріванні вуглецеві речовини окислюються або згорають з утворенням CO . Цей газ створює відновлювальну атмосферу, в якій відбувається наступний процес:



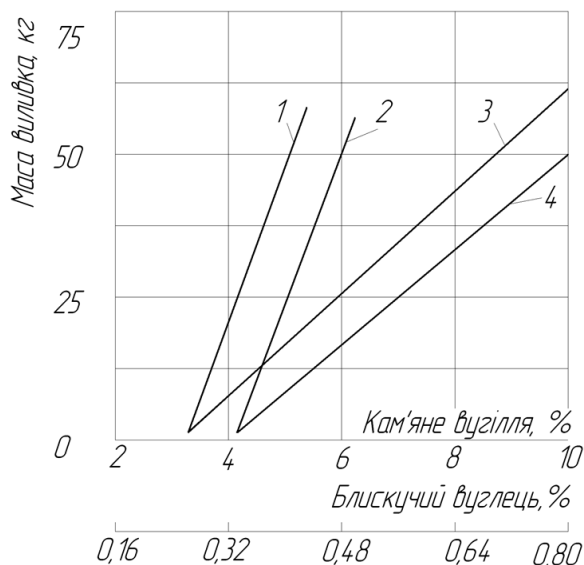
Таким чином раніше окислене залізо відновлюється із оксиду.

Тривалий час вважали, що цей процес є основним фактором, який захищає виливки від пригару. Дослідженнями КПІ ім. І. Сікорського (Дорошенко С. П., Макаревич О. П.) доведено, що головну, якщо не вирішальну, роль у боротьбі з пригаром грає блискучий вуглець, який утворюється як побічний продукт при розпаді органічних речовин. Блискучий вуглець осідає на поверхні форми. По-перше, він також відновлює залізо із оксиду:



По-друге, поверхня форми, покрита блискучим вуглецем, стає незмочуваною для оксидів заліза. Отже, передумови для утворення пригару усуваються.

Для ефективного запобігання пригару необхідно, аби вміст блискучого вуглецю становив від 0,4 до 1,0% (рис. 9.4), залежно від маси виливка і товщини його стінок. Це потребує введення у суміш до 10% кам'яного вугілля.



1 – для виливків з товщиною стінок 10...12 мм при твердості форми 95 од.; **2** – для виливків з товщиною стінок 10...12 мм при твердості форми 75 од.; **3** – для виливків з товщиною стінок 30 мм при твердості форми 95 од.; **4** – для виливків з товщиною стінок 30 мм при твердості форми 75 од.

Рисунок 9.4 – Необхідна кількість добавок кам'яного вугілля

3. Для виливків із будь-яких сплавів ефективним є **забезпечення низької пористості поверхні форми**. При цьому фільтрація оксидів металу углиб форми ускладнюється, і пригар зменшується або не утворюється. Методи зниження пористості поверхні форми:

1) збільшення ступеню ущільнення суміші в поверхневому шарі;
 2) використання дрібнозернистих наповнювачів. Зменшення розмірів зерен наповнювача призводить до зменшення розмірів пор і зменшення товщини пригару (рис. 9.5).

3) додавання у суміш пилоподібних матеріалів, які закупорюють пори. Достатнім є додавання пилоподібних матеріалів не у весь об'єм форми, а тільки у поверхневий шар. Цього досягають використанням різних за складом облицювальної і наповнювальної сумішей, або нанесенням пилоподібного матеріалу на поверхню форми. Найчастіше використовують пилоподібний кварц або маршаліт, який є найбільш доступним і досить ефективним (рис. 9.6).

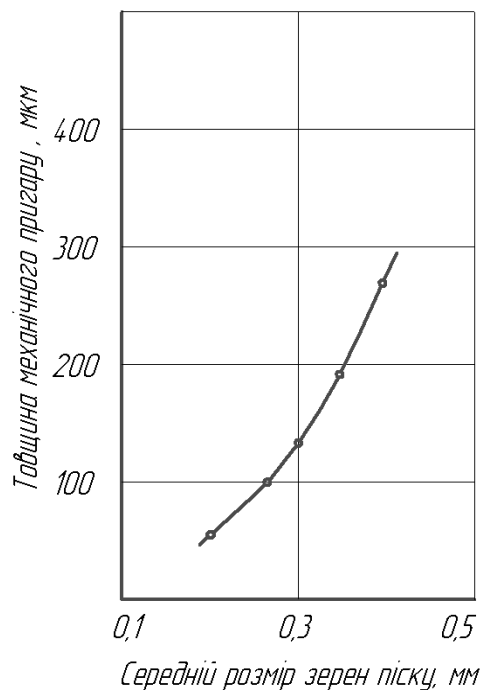


Рисунок 9.5 – Вплив зернистості піску на утворення пригару

4) використання наповнювачів (наприклад, хроміт) або введення добавок, які сприяють спіканню із закупорюванням пор у поверхні форми;

5) нанесення на поверхню форми протипригарної фарби.

Теоретично розглядалися також наступні технології: попереднє оплавлення поверхні форми лазером; покриття поверхні форми рідким металом; виготовлення плавлених або наплавлених форм. Але через складність і економічну неефективність такі способи поширення не отримали.

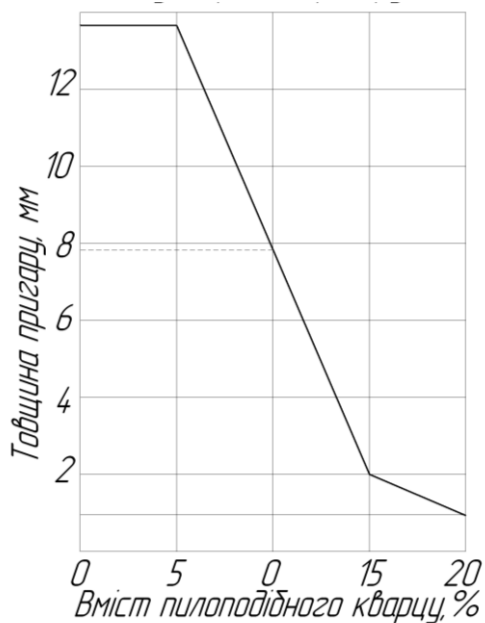


Рисунок 9.6 – Вплив вмісту пилоподібного кварцу на товщину утвореного пригару

4. Попередження хімічної взаємодії металу з формою. Способи досягнення:

1) використання формувальних матеріалів із мінімальним вмістом домішок;

2) нанесення на поверхню форми хімічно нейтральних до розплаву матеріалів;

3) використання хімічно нейтральних до розплаву наповнювачів;

4) створення направленої газової режиму (при цьому газ виводиться з форми і не чинить окислювальної дії на розплав);

5) використання зв'язувального компонента і наповнювача однакового мінералогічного походження. Чим однорідніша поверхня форми, тим вища її вогнетривкість. Наявність різних мінералів у формувальній суміші призводить до утворення евтектичних систем, які знижують вогнетривкість форми. Наприклад, глина сприяє утворенню пригару через наявність Al_2O_3 , рідке скло – через наявність Na_2O . І навпаки, такий зв'язувальний компонент як етилсилікат у зміцненому стані являє собою полімер із кремнійкисневих (Si – O – Si) ланок, який у поєднанні з кварцовим наповнювачем не утворює евтектик, тому пригар навіть на сталевих виливках відсутній (виняток складають сталі з високим вмістом хрому, які є активними до SiO_2);

6) заливання форм у вакуумі, що запобігає окисненню металу.

5. До інших універсальних способів боротьби з пригаром відносяться:

1) зниження металостатичного напору. Чим менший напір, тим менше передумов для фільтрації оксидів металу в пори форми;

2) збільшення поверхневої міцності форми. Якщо частинки суміші легко вимиваються розплавом, то створюються умови для утворення пригару;

3) зменшення температури заливання сплаву. При цьому збільшується його в'язкість, знижується текучість, скорочується тривалість взаємодії рідкого металу з формою;

4) застосування формувальних матеріалів з високою теплоакумулювальною здатністю (циркон, хроміт, хромомагнетит), які прискорюють твердіння вилівка і зменшують тривалість контакту рідкого металу з формою.

☞ *Контрольні запитання до розділу 9:*

1. Назвіть основні фактори, які впливають на фізико-хімічну взаємодію вилівка з формою.
2. Що таке пригар? Які причини його утворення?
3. Назвіть основні різновиди пригару.
4. Який пригар називають легковідокремлюваним і які умови його утворення?
5. Назвіть методи попередження пригару на виливках.
6. Яким чином вуглецеві добавки у формувальній суміші попереджують утворення пригару на чавунних виливках?
7. Які добавки у формувальній суміші попереджують утворення пригару на сталевих виливках?

РОЗДІЛ 10. ПРИГОТУВАННЯ ТА РЕГЕНЕРАЦІЯ ФОРМУВАЛЬНИХ СУМІШЕЙ

10.1. Оборотні та відпрацьовані суміші

Основу будь-якої формувальної суміші складає наповнювач, вміст якого, як правило, більший за 90%. Наповнювачі сумішей розглянуто у розділі 8, і вони являють собою вогнетриви різного мінералогічного складу. При цьому відомо, що формувальна суміш, яка вже була використана для виготовлення разових форм, може бути використана повторно один чи декілька разів. Тобто переважну частину наповнювача, як правило, складає оборотна суміш. Використання свіжого (не використаного жодного разу) наповнювача є неекономічним.

Оборотна суміш – це формувальна (стрижнева) суміш, яка після вибивання форми використовується як наповнювач для приготування нової суміші.

У масовому виробництві оборотні суміші складають понад 80% усієї маси формувальних сумішей.

Відпрацьована суміш – формувальна (стрижнева) суміш, яка після вибивання форми не може бути використана повторно і вивозиться у відвали.

У сумішах, які вивозяться у відвал, міститься до 80% кварцового піску і до 8% металу. Для відвалів відпрацьованих сумішей необхідні великі земельні площі. Щорічно для перевезення відпрацьованих формувальних сумішей потрібно тисячі залізничних вагонів. В усіх промислово розвинутих країнах ростуть ціни на викиди сумішей у відвали. Тому багаторазове використання формувальних матеріалів є важливим завданням ливарного виробництва. Це є добрим прикладом ресурсоощадної технології.

Перероблення формувальних сумішей, які були у використанні, має мету наблизити (відновити) властивості формувальних пісків у їх складі до властивостей свіжих пісків. Таке перероблення називають регенерацією. Вона має величезне економічне й екологічне значення.

Регенерат – це оборотна суміш, яка пройшла ряд послідовних операцій очищення (регенерацію). За мінералогічним і гранулометричним складом регенерат наближений до свіжого формувального піску.

З точки зору можливості повторного використання вибиті з форм суміші можна поділити на три групи [9]:

1) формувальна суміш, вибита з опок (4...12 м³/тонну виливків, або 90...95% усієї формувальної суміші). Значна частина її після перероблення використовується повторно;

2) стрижнева суміш, вибита з виливків (0,60...0,75 м³/тонну виливків). Через значне прогрівання стрижнів, певна частина цієї суміші спікається. Тому повторному використанню підлягає лише 30...60%, решта йде у відвал;

3) формувальна суміш, видалена з поверхні виливків при їх очищенні (0,16...0,35 м³/тонну виливків, або 5...10% усієї формувальної суміші). Ця суміш повторно не використовується через значні зміни її властивостей.

Загальну кількість формувальних сумішей, які йдуть у відвал, необхідно компенсувати введенням свіжих формувальних матеріалів – піску і глини. Для середнього машинобудівного литва кількість свіжих матеріалів дорівнює 0,7...0,9 м³ на 1 тонну виливків.

Відомо, що при заливанні металу і наступному контакті його з формою у шарі формувальної суміші, який прогрівається до високих температур, відбувається ряд фізичних, хімічних і фізико-хімічних змін: модифікаційні перетворення кварцу, які призводять до збільшення кількості пилу в суміші, горіння та розклад зв'язувальних та інших органічних добавок, що призводить до утворення золи, коксу, сажистого вуглецю й запилення сумішей. Формувальні глини при втраті кристалічної води втрачають зв'язувальну здатність і також наповнюють суміш пилом.

Якщо **пилоподібну фракцію** не видаляти з оборотних сумішей, то при повторному їх використанні пилоподібна фракція закупорює пори між піщинками, поглинає зв'язувальний компонент, в результаті цього значно знижуються міцність і газопроникність формувальних сумішей. Тому пилоподібну фракцію необхідно видаляти з оборотних сумішей для повторного їх використання. Особливо погіршуються властивості формувальних сумішей при додаванні в них оборотних сумішей з несумісними зв'язувальними компонентами (глина + рідке скло, смола + рідке скло тощо).

Легкоплавкі домішки, які вміщують лужні сполуки, а також такі ЗК як рідке скло, призводять до спікання окремих зерен піску і утворення міцних шматків (грудок) суміші. Ці **спечені грудки** необхідно подрібнити, відсіяти крупні шматки і видалити утворений пил.

При складанні форми використовуються різні допоміжні матеріали: гачки, цвяхи, формувальні шпильки тощо. Усі ці металеві предмети після вибивання форми залишаються в оборотній суміші. **Металеві частинки** потрібно обов'язково видалити.

Якщо ЗК має оборотний характер зміцнення, тобто здатен проявляти свої зв'язувальні властивості багаторазово, то його наявність в оборотній суміші є корисною. Але більшість ЗК або повністю, або частково втрачають зв'язувальну здатність після заливання. Залишаючись міцно зчепленими з поверхнею зерен наповнювача, вони забруднюють його, і під час приготування нової суміші такий забруднений наповнювач буде значно погіршувати властивості. Тому видалення плівок ЗК з поверхонь зерен наповнювача є дуже важливою, але вкрай важкою операцією.

Після значного термічного удару, який сприймає на себе формувальна суміш при заливанні розплавом, деякі зерна наповнювача внаслідок швидкого проходження поліморфних перетворень кварцу розтріскуються і розпадаються на **частки неправильної (складної) форми**. Наявність таких зерен наповнювача в оборотній суміші погіршує властивості. На жаль, якимось чином відокремити ці зерна або виправити їх форму неможливо.

Комплекс операцій, які включають у себе видалення металевих предметів, розмелювання і просіювання спечених грудок та відокремлення суміші від пилу, називають відновленням властивостей, або **кондиціонуванням** суміші.

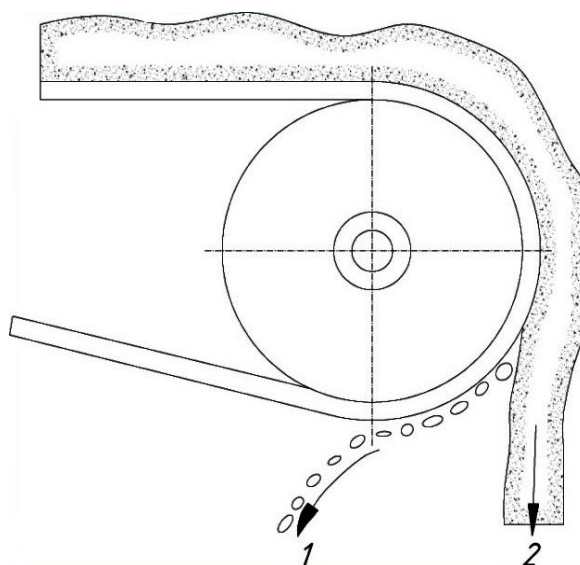
Регенерація відрізняється від кондиціонування тим, що під час неї обов'язково видаляють плівки зв'язувального компонента з зерен наповнювача.

Основні операції регенерації [6]:

1. Видалення металевих часток (краплі та бризки металу, формувальні шпильки і т. ін.).
2. Видалення спечених грудок, їх розмелювання і просіювання.
3. Очищення піщинок від плівок затверділих зв'язувальних компонентів.
4. Видалення пилоподібної фракції.
5. Класифікація піску за зерновим складом.

Першою операцією більшості способів регенерації є видалення металевих часток за допомогою магнітного сепаратора, через який пропускають оборотну суміш (рис. 10.1). Розмелювання спечених грудок відбувається у щоккових, валкових, молоткових або роторних дробарках. Детально конструкцію магнітних сепараторів і обладнання для регенерації розглядають у навчальній дисципліні «Устаткування ливарних цехів».

Найбільш трудомістка операція – очищення піщинок від інертних плівок, оскільки плівки (оболонки) ЗК часто мають міцний зв'язок з поверхнею піщинок.



1 – металеві частки; 2 – оборотна суміш
Рисунок 10.1 – Схема магнітного сепаратора

Можливість відновлення властивостей сумішей (проведення регенерації) залежить від того, який ЗК використано в ній. Органічні ЗК в основному вигорають із суміші, а неорганічні – залишаються, і залишаються вони на поверхнях зерен наповнювача. З точки зору зручності відновлення і багаторазового використання суміші класифікуються у вигляді табл. 10.1.

Таблиця 10.1 – Придатність для регенерації сумішей з різними ЗК

Придатні до багаторазового використання	Придатні до використання після неповної регенерації	Необхідна повна регенерація	Регенерація практично неможлива
Формувальні глини, ЛСТ	Масла, полісахариди, цементи, гіпс, смоли карбамідні, фосфати	Смоли карбамідофуранові, фенолформальдегідні, феноло-фуранові, поліфуранові	Рідке скло, гіпс, етилсилікат

10.2. Різновиди процесів регенерації сумішей

10.2.1. Механічна регенерація

До механічних методів регенерації відносять такі, у яких видалення плівок ЗК з поверхні зерен наповнювача відбувається за допомогою удару чи тертя одних зерен по інших або по якій-небудь шорсткій поверхні.

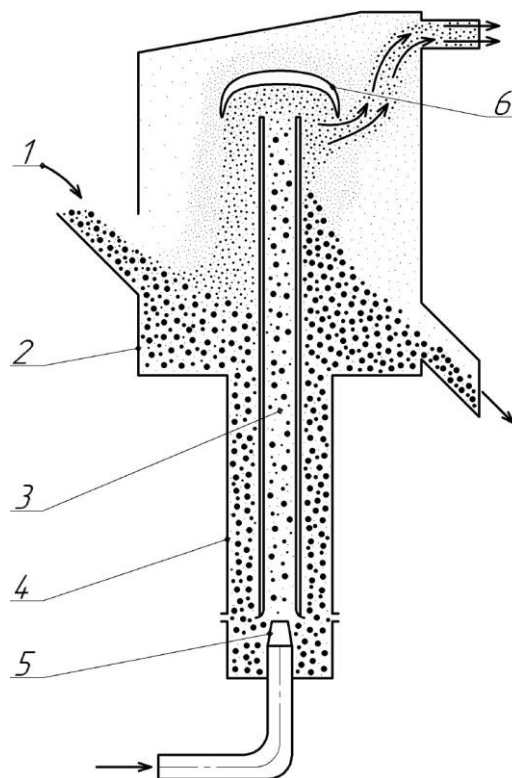
Суміш, вибита з опок, перетирається між двома дисками з абразивного матеріалу, зазор між якими становить розмір у декілька піщинок. Таким

чином, піщинки труться не тільки об абразивну поверхню, а й між собою. При цьому відбувається розмелювання спечених грудок, а в основному – відтираються плівки зв'язувальних компонентів з поверхонь зерен піску.

Іншим різновидом механічних способів регенерації є дробометна. У барабанах безперервної дії потік дробу розбиває ком форми, спечені грудки, очищує поверхню вилиwkів і частково видаляє плівки зв'язувальних компонентів (глини, ЛСТ тощо), які мають невелику міцність зчеплення з поверхнею піщинок. Такі лінії мають високу продуктивність.

10.2.2. Пневматична регенерація

Суть пневматичного методу регенерації полягає у використанні енергії високошвидкісного повітряного потоку [9]. Для цього суміш розганяють високошвидкісним повітряним напором, а потім її рух різко гальмують при ударі об відбійний щит (ковпак). Піщинки при цьому піддаються удару і тертю, в результаті чого інертні плівки ЗК відокремлюються від піщинок (рис. 10.2).



1 – приймальний лоток для подачі суміші; 2 – камера; 3 – розгінна труба; 4 – кожух;
5 – сопло; 6 – відбійний щит

Рисунок 10.2 – Схема пневматичного регенератора

Суміш безперервно подається через приймальний лоток 1 у камеру 2, а потім надходить у зазор 5 між гирлом розгінної труби 3 і соплом, по якому подається повітря під тиском 0,02...0,03 МПа. Підхоплені повітряним потоком піщинки (розмірами до 2,5 мм) вводяться у вертикальну трубу і вилітають із неї з великою швидкістю.

При вильоті із труби піщано-повітряний потік зустрічає відбійний щит 6, на внутрішній поверхні якого силою самого потоку утримується шар піску, який захищає щит від абразивного витирання. При обтіканні внутрішньої поверхні відбійного щита піщинки, рухаючись із різними швидкостями у різних шарах потоку, притискаються одна до одної й витираються. У результаті деякі зерна звільнюються від плівок ЗК. Крім цього, зерна неправильної (кутастої) форми можуть набути при цьому округлої форми.

Очищений пісок подається у приймач, а повітря, втративши швидкість, виносить у верхню трубу пил, на який перетворилися зв'язувальні оболонки і дрібні зерна піску.

Подрібнення зростків зерен і відтирання частини піску відбувається не тільки при зустрічі його з відбійним щитом, а й при взаємних ударах окремих піщинок, які рухаються в потоці з різною швидкістю, а також у результаті тертя піщинок об стінку труби.

Пневматична регенерація є єдиним способом, при якому можливо відновити суміші з рідким склом. Швидкість розгону рідкоскляних сумішей має бути 45...50 м/с, концентрація піску 2,4...2,6 г/м³, число циклів перегонки піску 8...10. За такого режиму пневматична регенерація дає змогу майже повністю звільнити поверхні піщинок від оболонок затверділого рідкого скла.

Для піщано-глинястих сумішей достатньо швидкості розгону 25 м/с.

10.2.3. Гідравлічна регенерація

Спосіб полягає у відмиванні від піщинок пилоподібної фракції і плівок зв'язувального компонента у потоці проточної води з наступним висушуванням. Для цього використовують гідравлічну класифікацію, суть якої у різній швидкості осідання у воді зерен різної величини.

Суміш заливають водою і спрямовують потік з великою швидкістю. На шляху потоку розташовані ємності (відстійники) для осідання піску. При цьому важкі зерна піску осідають у першому відстійнику, а більш легкі – залишаються підвішеними у воді й осідають у наступних відстійниках. Пилоподібна фракція уноситься потоком води і не осідає.

Гідравлічна регенерація дає змогу видалити із суміші формувальну глину або різні водорозчинні ЗК, активувати поверхню зерен піску і розділити пісок за величиною зерна. Великою перевагою цього способу є відсутність пилу.

Недоліками способу є велика витрата води (15 м³ на 1 тонну суміші), необхідність зневоднення і наступного сушіння піску, на яке витрачається тепла енергія, а також є потреба у великих виробничих площах і операції очищення використаної води. Тому цей спосіб використовують у поєднанні з гідравлічним вибиванням стрижнів із виливків на заводах важкого машинобудування.

10.2.4. Термічна регенерація

При цьому способі оборотну суміш прожарюють у печах при 500...800 °С із наступним охолодженням і повітряною сепарацією.

Плівки зв'язувального компонента та усі органічні складові вигорають. Спосіб використовується для сумішей з органічними ЗК (особливо із смолами). У результаті прожарювання піску активується його поверхня, що сприяє підвищенню міцності сумішей. Спосіб найдорожчий через значні витрати енергії на нагрівання і наступне охолодження, тому його раціонально використовувати для дорогих сумішей, наприклад на основі цирконового піску із синтетичними смолами.

Оскільки регенераційні установки економічно не вигідно будувати малим ливарним цехам, для розширення регенерації у ряді країн створені спеціалізовані фірми, які збирають відпрацьовані суміші з різних заводів, регенерують їх і видають замовникам готовий регенерат.

В останні роки у ряді промислових країн, щоб зменшити об'єм викидів відпрацьованих сумішей, із них виготовляють також будівельні матеріали – блоки та цеглу.

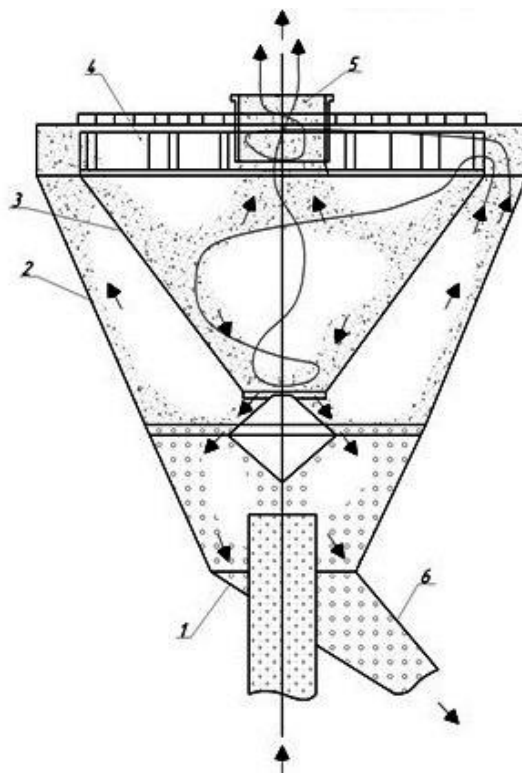
10.3. Сепарація сумішей

Останньою, але не обов'язковою операцією циклу регенерації сумішей, є класифікація їх за зерновим складом, яку називають сепарацією. При цьому обов'язково видаляється пил, сажа та інші дрібнодисперсні продукти, які були наявними у суміші після вибивання або ж утворилися внаслідок руйнування чи вигорання зв'язувальних плівок. Також сепарація дає змогу розділити пісок на окремі фракції, що є зручним, а інколи й необхідним для його подальшого використання.

Повітряна сепарація заснована на залежності швидкості падіння тіла у потоці повітря від його розмірів і маси. За певних розмірів тіла (піщинки) швидкість його падіння дорівнює швидкості потоку і воно залишається у підвішеному стані. Цю швидкість потоку називають критичною. Піщинки, які мають швидкість падіння вищу за критичну, падають вниз і збираються у бункері для крупного піску, а ті, які мають швидкість меншу від критичної, виносяться потоком повітря в іншу камеру (бункер).

На рис. 10.3 зображено схему повітряного сепаратора прохідного типу. Піщано-повітряна суміш трубопроводом 1 вдувається із швидкістю 18...20 м/с у простір між зовнішнім 2 і внутрішнім 3 конусами. Внаслідок значного збільшення поперечного перетину швидкість потоку знижується до 4...6 м/с. При цьому найбільш крупні частинки під дією сили тяжіння падають вниз і відводяться через патрубок 6.

Менші частинки надходять до конуса 3 і проходять через тангенційно установлені лопатки 4, ударяються об них і набувають колового руху. Виникають відцентрові сили, під дією яких крупніші частинки випадають і скочуються по стінках конуса у патрубок 6.

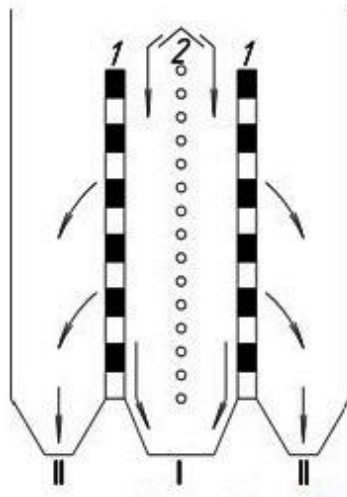


1 – трубопровід для вдування суміші; 2 – зовнішній конус; 3 – внутрішній конус; 4 – лопатки; 5 – патрубок для виведення тонкої фракції; 6 – патрубок для виходу крупної фракції

Рисунок 10.3 – Схема повітряного сепаратора

Розмір частинок, які виносяться вгору, регулюється швидкістю повітряного потоку або зміною положення лопаток. Плівка ЗК на піщинках при цьому способі майже не порушується. Тому використовувати повітряну сепарацію бажано після проведення основної регенерації.

Електричну сепарацію пісків проводять за допомогою коронного розряду (рис. 10.4).



1 – коронний електрод; 2 – заземлена сітка

Рисунок 10.4 – Схема електросепаратора

Електросепаратор має два електроди – коронний 1 (заряджений від’ємно), у вигляді ніхромового дроту діаметром 0,5 мм, який перебуває під високою напругою 13...15 тис. В і навколо якого іонізується повітря, та електрода у вигляді заземленої сітки 2, позитивно зарядженого. Піщинки суміші падають зверху в міжелектродний простір і заряджаються. На піщинку діє сила її ваги і сила заряду. Якщо електричні сили більші від ваги піщинки, вона притягується до осаджувального електрода (сітки), з якого згодом зчищається. Крупні піщинки (у яких сила ваги більша за електричну силу), падають вниз, не досягаючи сітки. Уловлюючи частинки піску на різних ділянках по висоті позитивного електрода, можна розділити пісок за фракціями.

Електросепаратори за своєю конструкцією прості та компактні, мають продуктивність до 10 т/год, витрати електроенергії до 0,5 кВт*год на 1 т регенерату. Але всі вузли електросепаратора мають бути вміщені у пилонепроникний кожух. Спосіб дорожчий, ніж повітряна сепарація.

10.4. Підготовка свіжих матеріалів

10.4.1. Підготовка піску

Піски, які доставляють з кар'єрів, можуть мати вологість більшу, ніж вологість формувальних сумішей. Крім того, якщо невідома вологість піску, неможливо розрахувати кількість води, яку потрібно додати у суміш. А для сумішей з синтетичними смолами вміст вологи навіть у межах 0,2% знижує міцність у декілька разів. Тому бажано, щоб пісок був сухим.

Температура сушіння піску не повинна перевищувати 400 °С, щоб не могли відбутися модифікаційні перетворення кварцу. Для сушіння піску використовують горизонтальні барабанні сушарки або сушарки з „киплячим” шаром. Процес супроводжується просіюванням піску від випадкових домішок.

10.4.2. Підготовка глини

Глина може постачатися у ливарні цехи у вигляді глиб або порошку. Сушіння комової вогнетривкої глини здійснюють у барабанних сушарках при температурі не вище 250 °С, а бентонітової – при 150...180 °С для того, щоб це не вплинуло на зв'язувальну здатність.

У змішувач глину можна вводити у вигляді порошку, глинястої пасти (суміш глини з водою у співвідношенні 1:1) або суспензії.

Для отримання порошкової глини у ливарному цеху комова глина має пройти операцію розмелювання у кульових млинах, яку часто суміщають з операцією активації. Активована іонами натрію глина забезпечує вищий рівень фізико-механічних властивостей суміші.

При використанні глини у вигляді порошку процес перемішування супроводжується великим пиловиділенням, а для досягнення рівномірного розподілу глини по поверхні зерен наповнювача потрібно більше часу (максимум міцності досягається при перемішуванні понад 30 хв).

Для приготування глинястої пасти глину порошкову або комову перемішують з водою (1:1) у коткових змішувачах для одержання однорідної маси. Спосіб використовується у дрібносерійному виробництві.

Приготування водної глинястої суспензії складається з двох операцій: замочування в лопатовому змішувачі комової глини у воді при співвідношенні 1:2 – для вогнетривких і 1:4 – для бентонітових глин, а після розбухання розмішування їх до однорідної суспензії густиною 1200...1300 кг/м³ [21].

Використання глинястої пасти або суспензії прискорює процес сумішопріготування і сприяє покращенню санітарно-гігієнічних умов. Зручнішою для автоматичного дозування є глиняста суспензія, тому її використовують у цехах серійного і масового виробництва. Така суспензія може містити, окрім води та глини, технологічні добавки – як правило, протипригарні.

10.4.3. Підготовка інших зв'язувальних компонентів

Зв'язувальні компоненти постачаються у ливарні цехи переважно у вигляді, придатному для приготування сумішей без додаткової підготовки.

Для водорозчинних ЗК інколи застосовують розбавлення водою або навпаки упарювання для зниження або збільшення густини та концентрації ЗК у водному розчині.

Сухі кристалогідратні ЗК (**гіпс, цемент**) додаються у суміш у вигляді порошку.

Більшість ЗК мають термін придатності, після завершення якого вони не забезпечують належного рівня властивостей або навіть є непридатними для використання.

Рідке скло для різних типів сумішей повинно мати точно визначений модуль. Для зниження модуля використовують NaOH. Його кількість для досягнення конкретного значення модуля розраховують за формулою:

$$X = \frac{100(M_1 - M_2)}{M_2 \left(\frac{77.5}{\%Na_2O} - 1 \right) + M_1},$$

де X – потрібна кількість NaOH для зменшення модуля від початкового (M_1) до потрібного (M_2) значення;

$\%Na_2O$ – вміст Na_2O в початковому рідкому склі.

Полівініловий спирт (ПВС) обмежено розчинний у воді, тому готують 10%-ний розчин. Розраховану кількість ПВС змішують з холодною водою і витримують 8 год для набухання, після чого на водяній бані при температурі 95...100 °C і при періодичному перемішуванні ПВС розчиняють у воді. Характерною ознакою повного розчинення ПВС є прозорість рідини.

Рідкий ЛСТ розводять у воді до густини 1270...1300 кг/м³. Твердий (порошковий) ЛСТ розчиняють у котлі (на 100 кг ЛСТ 50 л води) і нагрівають до 90 °C, після чого охолоджують. Густина розчину також має становити 1270...1300 кг/м³ [21].

10.5. Приготування сумішей

10.5.1. Сутність процесу приготування

Процес приготування суміші складається, по-перше, з перемішування компонентів до рівномірного їх розподілу в усьому об'ємі, і по-друге – покриття поверхні зерен наповнювача зв'язувальним компонентом.

Для приготування формувальних та стрижневих сумішей використовують змішувачі різних типів, циклічної або безперервної дії. До змішувачів циклічної дії відносять коткові, відцентрові (маятникові) та деякі інші. До змішувачів безперервної дії відносять у першу чергу лопатеві та шнекові.

Найважливішим процесом, який відбувається при перемішуванні, є нанесення плівок ЗК на поверхню зерен наповнювача. Товщина плівки залежить від природи ЗК. Науково обґрунтовано залежність товщини плівки від поверхневого натягу ЗК. Так, синтетичні смоли, які мають низький поверхневий натяг, утворюють найтонші плівки (2...3 мкм), і при низькому вмісті смоли (1...2%) у суміші досягається висока міцність. Щодо формувальної глини, то утворена нею у суміші водо-глиняста паста має високий поверхневий натяг, товщина утворених плівок 30...40 мкм, і тому вміст глини у суміші має складати 5...12% [6].

Якщо піщинки мають неправильну геометричну форму й дефекти на поверхні (тріщини, раковини тощо), на них витрачається більша кількість ЗК. Піски з округлою формою зерен потребують меншої кількості ЗК.

При збільшенні тривалості перемішування ступінь розосередження зв'язувальних плівок по поверхні піщинок збільшується, що призводить до підвищення міцності суміші.

Міцність та інші властивості формувальних сумішей залежать від послідовності введення компонентів у змішувач. Для досягнення максимальної міцності (як показав А. А. Бречко) необхідно після засипання наповнювача першим вводити у змішувач компонент з найменшим поверхневим натягом, далі – решту компонентів у послідовності збільшення їх поверхневого натягу [9].

Система приготування сумішей, їх транспортування і зберігання включає багато різного обладнання і займає значну частину ливарного цеху.

10.5.2. Приготування сумішей різного типу

Пластичні самотвердні суміші (ПСС) складаються із наповнювача, ЗК і затверджувача. Перемішування не повинно тривати довго, тому що контакт ЗК із затверджувачем відразу призводить до початку процесу зміцнення суміші. Щоб це не відбулося у змішувачі, потрібно досить швидко вивантажити із нього суміш. Сучасні змішувачі за процесами Alpha-Set, Per-Set та іншими, де використовуються рідкі затверджувачі, мають цикл приготування суміші до 1 хв.

При приготуванні ПСС найважливішим є рівномірний розподіл компонентів по усьому об'єму суміші. Нанесення плівок ЗК на поверхню наповнювача проходить дуже швидко, тому що усі ЗК (смоли, рідке скло) мають низьку в'язкість і добру рухомість, відмінну адгезію до наповнювача.

У змішувач завантажують наповнювач та затверджувач, які ретельно перемішуються. Після цього додають ЗК, і після недовгого подальшого перемішування суміш вивантажують.

Для сумішей із рідким склом та цементом перша стадія (перемішування наповнювача із затверджувачем) триває 2...3 хв, друга (після додавання рідкого скла) – 1...2 хв.

Для приготування рідкорухомих самотвердних сумішей (РСС) спочатку розчиняють у воді ПАР (піноутворювач) і потім змішують цей розчин із рідким склом або іншим ЗК – одержують рідку композицію. У змішувач завантажують наповнювач і затверджувач, перемішують протягом 1 хв, після чого заливають приготовану рідку композицію. Через 30...40 с після введення рідкої композиції суміш починає переходити у рідкорухомий стан, а через 2,5...3 хв досягає оптимальної текучості, і її необхідно вивантажувати на заливати у опоку або стрижневий ящик [7].

Гіпсо-кремнеземисті суміші відносяться до РСС, але рідкорухомість досягається без ПАР, а завдяки великій (до 35%) кількості води. Для зменшення пилоутворення та кращого перемішування компонентів суміш готують у такому порядку. У розрахункову кількість води завантажують наповнювач та необхідні технологічні добавки та перемішують протягом 1...2 хв. Після цього додають гіпс і перемішують ще 1...2 хв до рівномірної консистенції. Далі суміш відправляється на операцію формовки.

Плакована суміш являє собою систему, в якій кожне зерно наповнювача (піщинка) вкрито шаром твердого ЗК. Ці суміші зміцнюються при нагріванні завдяки розм'якшенню плівок ЗК з їх подальшою полімеризацією.

Плакування буває двох типів – холодне та гаряче [6].

При холодному плакуванні у змішувач завантажують наповнювач, порошкову смолу та органічний розчинник (як правило, ацетон). Порошкова смола розчиняється в ацетоні, і утворюється рідкорухома маса, яка наноситься на поверхню зерен наповнювача. Протягом 4...5 хв розчинник випаровується, і залишається готова суха плакована суміш.

При гарячому плакуванні розчинник не використовують. У змішувач завантажують наповнювач та порошкову смолу і нагрівають їх до 90...120°C. Смола розм'якшується та наноситься на поверхню зерен наповнювача. Перемішування триває 5...7 хв. Після охолодження отримують суху плаковану суміш.

10.6. Класифікація сумішей

Формувальні суміші розділяють на облицювальні, наповнювальні та єдині [9].

Облицювальні суміші використовують для виготовлення робочого шару форми. Товщина цього шару приблизно дорівнює товщині стінки вилівка і зазвичай складає 15...50 мм. Ця суміш безпосередньо контактуватиме з металом. Тому вона має бути високої якості, для чого виготовляється із значним додаванням свіжого піску, а інколи повністю із свіжого піску та інших свіжих матеріалів. Її міцність при стисканні 0,05...0,10 МПа при вологості 3,0...5,0%. Вміст оборотної суміші не більше 75%.

Наповнювальна суміш – для заповнення решти об'єму форми після нанесення облицювальної суміші. Вимоги до цієї суміші набагато нижчі. Але вона повинна мати необхідну газопроникність (більшу від облицювальної). Її готують з оборотної суміші 95...100% і невеликої добавки глини 0...0,5%. Її міцність 0,03...0,05 МПа при вологості 3,5...4,5%.

Суміш на облицювальну та наповнювальну розділяється у дрібносерійному виробництві. У масовому виробництві використовують **єдині формувальні суміші**. Для цього всю вибіту із форми суміш переробляють, вводять свіжі формувальні матеріали – пісок (2...10%), глину (0,5...1,5%) та деякі добавки. Міцність при стисканні такої суміші 0,05...0,20 МПа при вологості 2,5...4,0%.

Залежно від призначення, суміші бувають формувальні (для виготовлення форм) і стрижневі (для виготовлення стрижнів).

Розрізняють також природні та синтетичні суміші.

Природні суміші – жирні піски. У них глина низької якості, засмічена шкідливими домішками, тому ці суміші придатні лише для кольорового та дрібного чавунного литва.

Синтетичні суміші готують із наповнювача, ЗК і технологічних добавок. Для досягнення такої самої міцності суміші потреба у глині менша, вологість її нижча, ніж для природних сумішей. Тому у ливарних цехах використовуються, в основному (99%), синтетичні суміші.

☉ Контрольні запитання до розділу 10:

1. Охарактеризуйте оборотну, відпрацьовану суміш та регенерат.
2. Наведіть операції процесу кондиціювання сумішей.
3. Назвіть та охарактеризуйте різновиди процесів регенерації сумішей.
4. У чому полягає сутність сепарації сумішей? Які способи її проведення?
5. Як відбувається процес підготовки свіжих формувальних матеріалів?
6. У чому полягає сутність процесу приготування сумішей?
7. Наведіть класифікацію формувальних та стрижневих сумішей.

РОЗДІЛ 11. ВЛАСТИВОСТІ СУМІШЕЙ ТА МЕТОДИ ЇХ ВИЗНАЧЕННЯ

Якість ливарної форми напряму впливає на якість виливків. Показниками якості форм і стрижнів є властивості сумішей. Кожна із властивостей відповідає за ряд можливих дефектів виливків, і тому їх контролю присвячено значну увагу.

11.1. Класифікація властивостей

Класифікацію властивостей представлено на схемі (рис. 11.1).

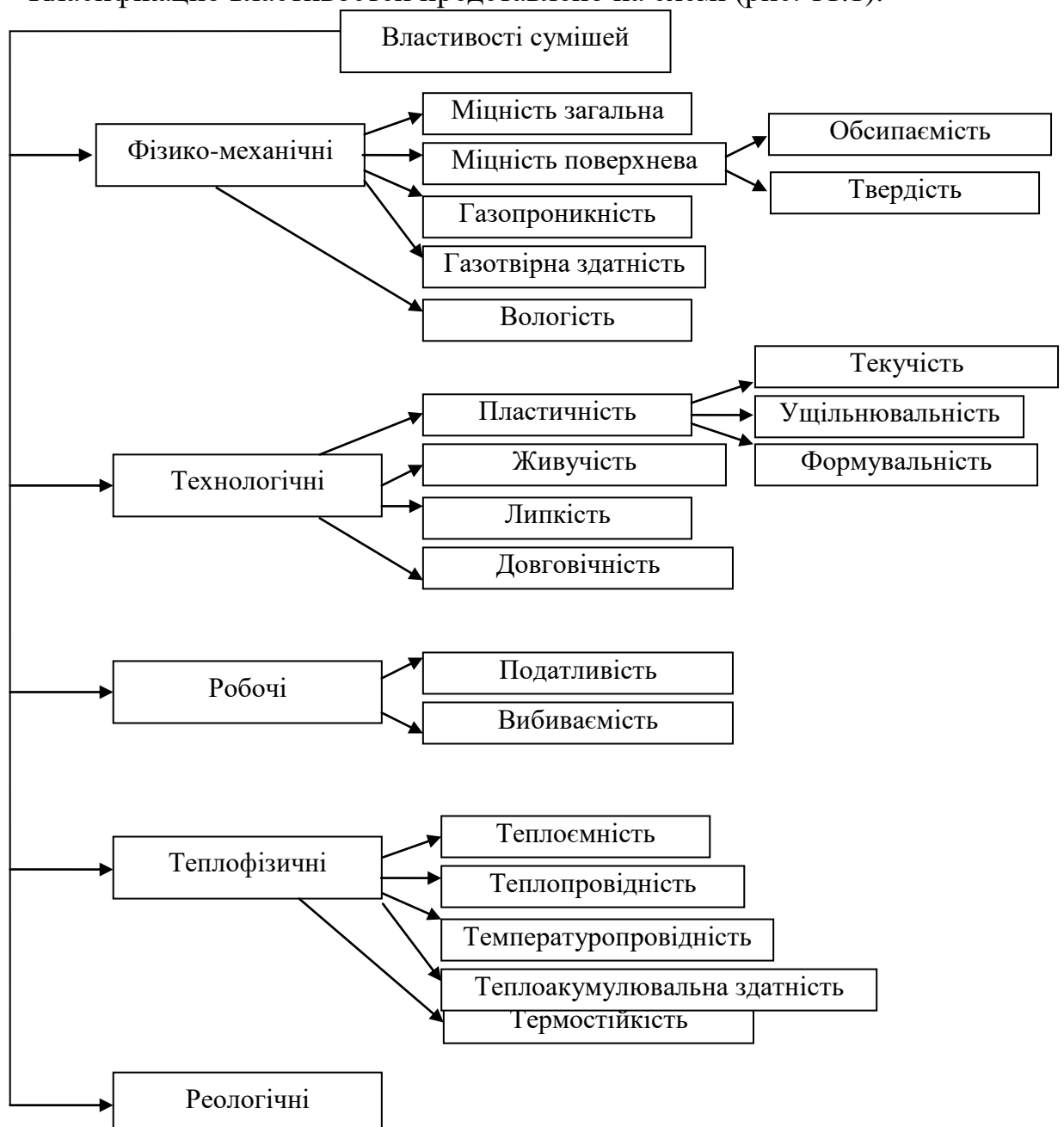


Рисунок 11.1 – Класифікація властивостей формувальних і стрижневих сумішей

11.2. Фізико-механічні властивості

11.2.1. Міцність

Міцність суміші – це її здатність чинити опір зовнішньому навантаженню. Міцність формувальних або стрижневих сумішей визначають у тих умовах, у яких виготовляють форму. Наприклад, для сирих форм визначають лише міцність ущільненої суміші в сирому стані. Для стрижнів, які зміцнюються при нагріванні – після теплового зміцнення.

У багатьох випадках визначення лише одного показника міцності є недостатнім. Наприклад, для піщано-глинястих сухих форм може бути необхідним визначення міцності суміші у сирому стані, оскільки вилучення моделей відбувається до теплового зміцнення форми. Для ряду стрижневих сумішей, якщо технологія обумовлює зміцнення стрижня поза оснащенням (ящиком), також необхідним є визначення міцності у сирому стані.

Для холоднотвердних сумішей визначають міцність через деякі проміжки часу (через 1, 2, 3, 24 год) після виготовлення зразків – таким чином встановлюють динаміку їх зміцнення.

Міцність визначають у наступних умовах (табл. 11.1, 11.2).

Таблиця 11.1 – Способи визначення міцності сумішей

Індекс	Міцність	Види сумішей, для яких визначається	Зразки
1	У сирому стані	- сирі піщано-глинясті - сухі піщано-глинясті - пластичні самотвердні - стрижневі, які зміцнюються поза оснащенням	циліндричні
2	У сухому стані	- сухі піщано-глинясті	циліндричні, вісімки
		- стрижневі, які зміцнюються при нагріванні	вісімки
3	Після холодного зміцнення через 1, 2, 3 і 24 год	- пластичні самотвердні - рідкорухомі самотвердні	циліндричні
4	Після зміцнення в оснащенні	- суміші, які зміцнюються продуванням хімічними газоподібними реагентами	циліндричні, вісімки, на вигин

Продовження табл. 11.1

5	Після нагрівання та охолодження	- гіпсо-кремнеземисті - усі стрижневі суміші для визначення залишкової міцності (вибиваємості)	циліндричні
6	У нагрітому (600...1000 °С) стані	- усі стрижневі суміші	циліндричні
7	У зоні конденсації води	- сирі піщано-глинясті	циліндричні спец. констр.
8	Поверхнева міцність (обсипаємість)	- усі види сумішей	циліндричні
9	Твердість	- сирі піщано-глинясті - сухі піщано-глинясті або із ХТС	готова форма

Таблиця 11.2 – Область застосування зразків для визначення міцності [1, 6, 9, 34]

Суміш	Стан суміші	Тип міцності	Зразки	Приблизні значення міцності, МПа
ПГС	Сира	Стискання	Циліндричні	0,05...0,20
	Суха	Стискання	Циліндричні	0,50...1,00
		Розривання	Вісімки	0,10...0,30
ПСС	Сира	Стискання	Циліндричні	0,005...0,050
	Зміцнена протягом: 1, 2, 3, 24, 48, 72 год	Стискання	Циліндричні	мінімум 0,20 максимум 3,0 і більше
РСС	Зміцнена протягом: 1, 2, 3, 24, 48, 72 год	Стискання	Циліндричні	1,0...1,5 1,0...2,0 2,0...3,0 і більше
Для теплового зміцнення	Зміцнена в печі	Розривання	Вісімка	до 3,0 МПа
	Зміцнена в гарячому оснащенні	Розривання	Вісімка	до 5,0 МПа
		Вигин	Брусок 200x25x25 мм	до 3,0 МПа
Керамічна або солекерамічна	Зміцнена в гарячому оснащенні або спечена	Розривання	Вісімка	5,0 МПа і більше
		Вигин	Брусок 200x25x25 мм	3,0 МПа і більше
Керамічна для ЛВМ	Холодне твердіння	Вигин	Пластина 40x20x3 мм	до 10,0 МПа

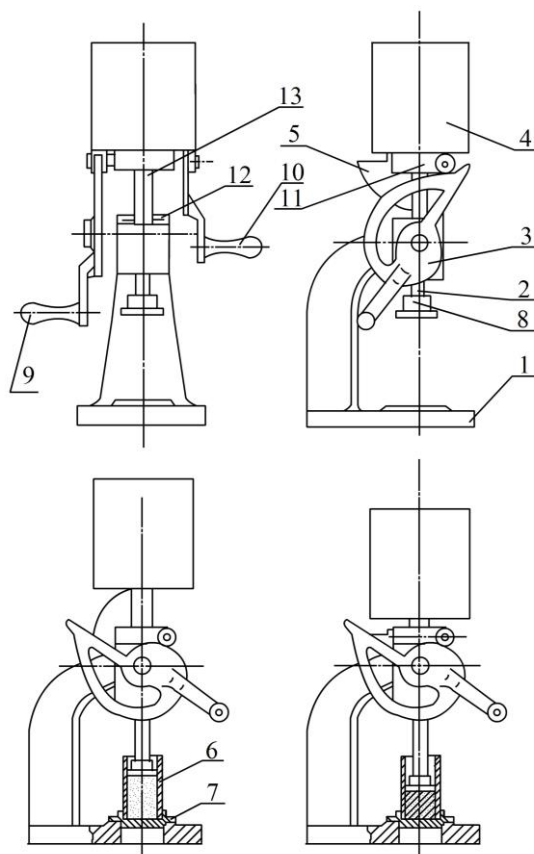
1. Міцність у сирому стані визначають на зразках діаметром і висотою 50 мм. Виготовляють зразки при ущільненні суміші за допомогою трьох

ударів лабораторного копра у стандартній гільзі із внутрішнім діаметром 50 мм і висотою 120 мм.

Копер складається із наступних деталей (рис. 11.2): станини 1, штока 2, підйомного кулачка 3, вантажу 4 масою ($6,35 \pm 0,01$) кг, кулачка 5 підйому вантажу для удару. Висота підйому вантажу – 50 мм.

При обертанні рукоятки 10 вантаж 4 піднімається на висоту 50 мм і скидається на сухар 11, який, будучи жорстко сполученим із штоком 2, передає удари на суміш.

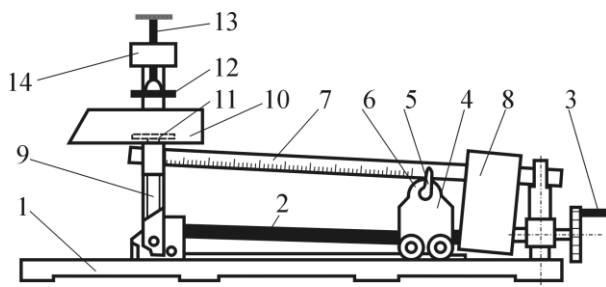
Після ущільнення висота зразка має дорівнювати 50 мм з допустимим відхиленням $\pm 0,8$ мм. Для контролю цих розмірів на штоку 2 нанесено три риски 13, які після ущільнення зразка мають співпадати з рисою 12 на верхньому вертикальному приливі станини. Висоті зразка 50,0 мм відповідає середня риска на штоку.



1 – станина; 2 – шток; 3 – кулачок підйому штока; 4 – вантаж; 5 – кулачок підйому вантажу; 6 – гільза; 7 – чашка; 8 – бойок; 9, 10 – рукоятки; 11 – сухар; 12, 13 – риски

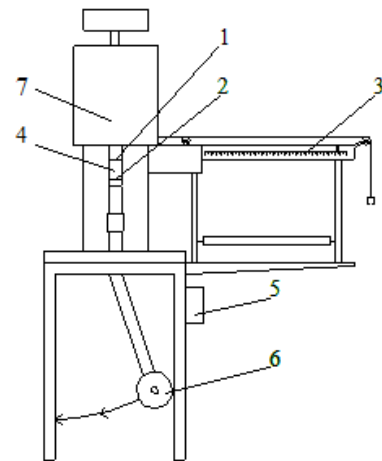
Рисунок 11.2 – Схема лабораторного копра моделі 030М

Для визначення міцності застосовують декілька типів установок. Основними із них є ручний важільний прилад з межею вимірювання 5...130 кПа (рис. 11.3, а) і установка УС-700 з межею вимірювання 0,2...3,5 МПа (рис. 11.3, б).



а

1 – станина; 2 – ходовий гвинт;
3 – рукоятка; 4 – каретка; 5 – покажчик;
6 – ролик; 7 – важіль; 8 – вантаж;
9 – тяга; 10 – лоток; 11, 12 – підставки;
13 – гвинт; 14 – траверса



б

1 – шток верхній; 2 – шток нижній;
3 – шкала; 4 – зразок; 5 – блок керування;
6 – вантаж; 7 – силітова піч

Рисунок 11.3 – Схема приладів для визначення міцності зразків при стисканні:
а – у сирому стані, б – у сухому або нагрітому стані

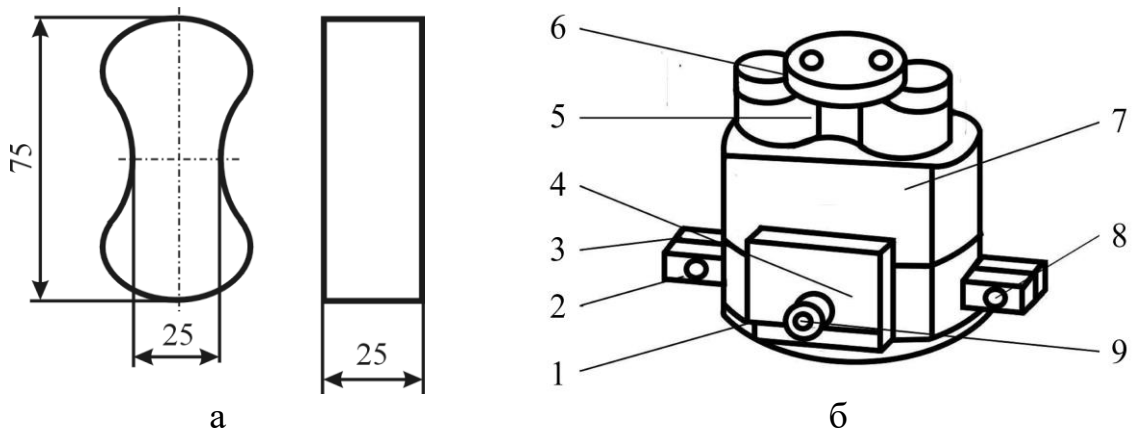
На станині 1 приладу (рис.11.3, а) у двох підшипниках закріплено ходовий гвинт 2. При обертанні рукоятки 3 ходовий гвинт 2 переміщує каретку 4 із закріпленим на ній покажчиком 5.

На верхній ролик 6 каретки 4 спирається градуйований важіль 7, на одному кінці якого розміщено вантаж 8. Протилежний кінець важеля 7 шарнірно пов'язаний з вертикальною тягою 9, на верхньому кінці якої закріплений лоток 10 з горизонтальною підставкою 11.

На підставку 11 встановлюється досліджуваний зразок, який своєю верхньою площиною упирається у верхню опору 12, пов'язану з гвинтом 13 шаровою п'ятою. Гвинт 13 проходить через напрямівну гайку траверси 14.

Установка УС-700 (рис. 11.3, б) дає можливість вимірювати міцність при стисканні при нормальній температурі, а також при нагріванні, для чого вона оснащена піччю 7. Зразок 4 встановлюють на нижній шток 2, після чого на блоці керування 5 вмикають електродвигун. Двигун приводить шток 2 до руху, він разом із зразком піднімається, і зразок 4 упирається у верхній шток 1. Із цього моменту вантаж починається навантаження на зразок, при якому вантаж 6 починає відхилятися від вертикального положення. Цей вантаж пов'язаний ниткою із покажчиком 3, стрілка якого, рухаючись уздовж шкали, показує умовне навантаження у мм. За градувальним графіком, залежно від маси вантажу 6, навантаження переводять у МПа.

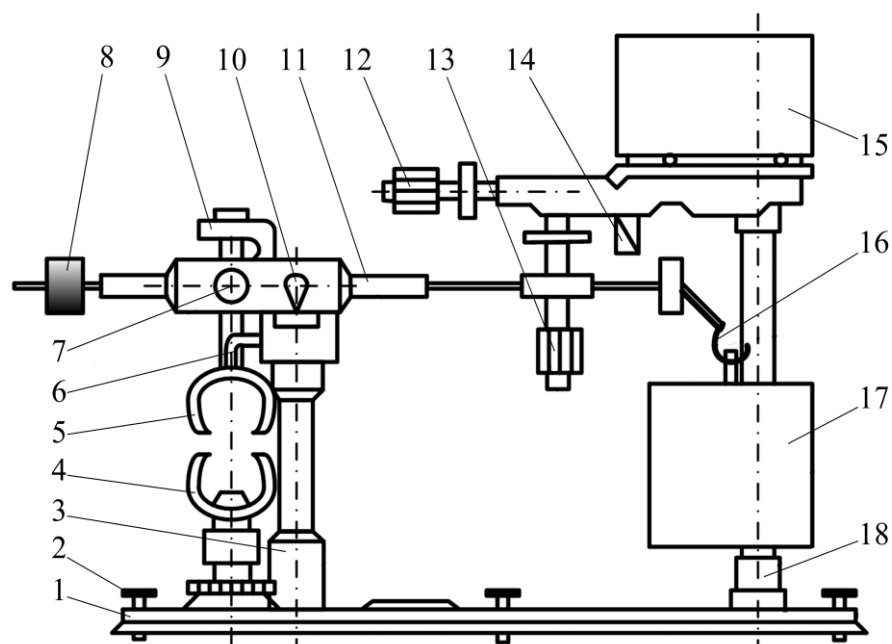
2. Міцність у сухому стані визначають для формувальних сумішей, які зміцнюються при нагріванні. Її визначають на спеціальних зразках-вісімках (рис. 11.4, а), які виготовляють у стрижневому ящику (рис. 11.4, б).



1 – підставка; 2, 3 – половинки нижньої частини ящика; 4 – виступ;
 5 – контрольні риски; 6 – головка трамбівки; 7 – верхня частина ящика;
 8 – штифт; 9 – гвинт

Рисунок 11.4 – Зразок-вісімка для визначення міцності сумішей при розриванні (а) і стрижневий ящик для його виготовлення (б)

Для визначення міцності застосовують два типи установок. Для зразків із міцністю в межах 1,0 МПа використовують важільний прилад (рис. 11.5).



1 – станина; 2 – регулювальний гвинтовий пристрій; 3, 18 – стійки; 4 – нижній захват; 5 – верхній захват; 6 – сережка; 7 – вісь; 8 – ватаж; 9 – кронштейн; 10 – ніж; 11 – важіль; 12 – затвор; 13 – обмежувач; 14 – показчик; 15 – бункер; 16 – крюк; 17 – відро

Рисунок 11.5 – Схема приладу для визначення міцності зразків при розриванні

На станині 1 приладу закріплено стійки 3 і 18. Важіль 11 спирається ножем 10 на призму, вмонтовану в стійку 3. Важіль 11 обладнано пересувним вантажем 8 для регулювання його горизонтальності.

На стійці 3 закріплено кронштейн 9 з упором для обмеження нахилу важеля 11; у кронштейн впресована втулка, усередині неї поміщається вісь 7, сполучена з сережкою 6.

На сережку 6 надягнуто верхній захват 5. Нижній захват 4 встановлений на гвинтовому пристрої 2, який закріплено у станині 1. За допомогою цього пристосування регулюється відстань між захватами 4 і 5.

На правому кінці важеля 11 закріплено крюк 16, на який підвішується відро 17.

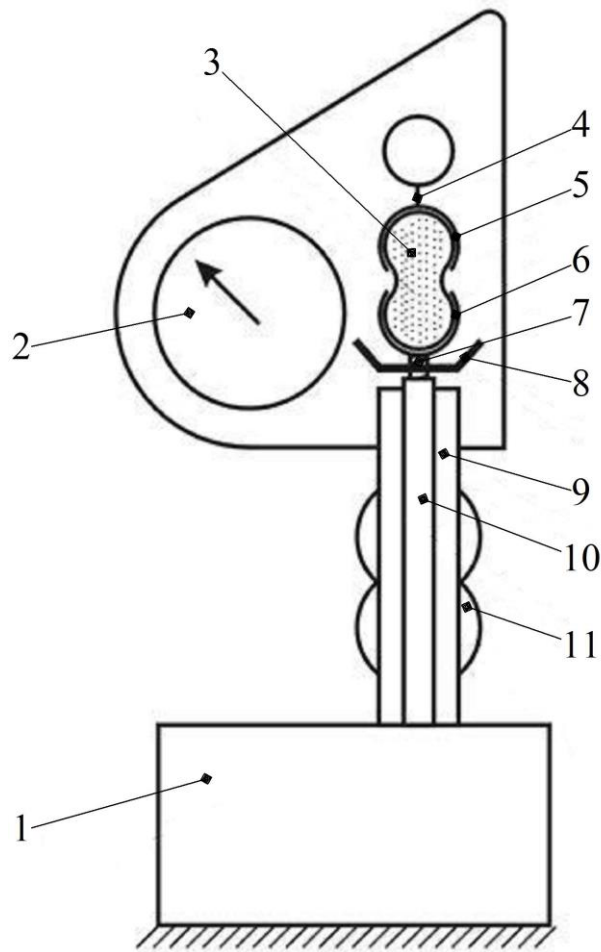
На стійці 18 закріплено бункер 15, який має отвір для випускання із нього дробу у відро 17. Цей отвір закривається і відкривається затвором 12. При падінні важеля 11 на гайку обмежувача 13 випуск дробу автоматично припиняється затвором 12. Перевірку горизонтальності важеля 11 виконують за рискою на ньому і за покажчиком 14.

Зразок встановлюють у захвати 4 і 5, після чого відкривають затвор 12, і дріб із бункера 15 потрапляє у відро 17. Під час руйнування зразка подача дробу автоматично припиняється. Міцність зразка при розриванні розраховують за масою дробу у відрі.

Для визначення більш високих значень міцності при розриванні (до 3 МПа) застосовують наступний прилад (рис. 11.6).

На станині 1 приладу змонтовані стійки 9 і 10. З переднього боку стійки 9 розташована радіальна шкала 2 із стрілкою, а із зворотного боку – важіль із вантажем 11. Важіль з'єднаний із сережкою 4, на якій підвішено верхній захват 5. На стійці 10 розташований нижній захват 6 і рукоятка 8. При обертанні цієї рукоятки нижній захват може переміщуватися у вертикальному напрямку завдяки гвинтовому пристрою 7, розташованому всередині стійки 10.

Після встановлення зразка 3 у захвати при обертанні рукоятки 8 за годинниковою стрілкою зусилля передається через зразок на верхній захват 5 і далі на важіль, який відхиляється від вертикального положення, при цьому вантаж 11 створює розтягувальне зусилля на зразок. У момент розривання міцність зразка фіксується стрілкою на шкалі 2.



1 – станина; 2 – радіальна шкала; 3 – зразок; 4 – сережка; 5, 6 – захвати;
7 – гвинтовий пристрій; 8 – рукоятка; 9, 10 – стійки; 11 – вантаж

Рисунок 11.6 – Установка для вимірювання міцності зразків при розриванні до 3 МПа

3. Міцність після затвердіння в оснащенні визначають для найбільш сучасного типу сумішей – хімічно зміцнюваних. До них відносяться усі суміші, які зміцнюються продуванням в оснащенні газоподібними реактивами (процеси Cold-Box-Amin, Beta-Set, SO₂-, Resol-CO₂, Free-Radical), а також для сумішей на рідкому склі, які зміцнюють продуванням CO₂.

Продування газовим регентом триває від дольов секунди до декількох хвилин, залежно від прийнятої технології. Відразу після цього зразки вилучають та визначають їх міцність.

Аналогічно виготовляють зразки у нагрітому та гарячому оснащенні. Після заповнення оснащення сумішшю та витримки протягом заданого часу зразки вилучають із нього та визначають їх міцність.

Оскільки суміші цих типів максимально міцні, то визначити міцність їх при стисканні або розриванні на наявних приладах у більшості випадків неможливо. Виготовляють стандартні зразки на вигин (рис. 11.7).

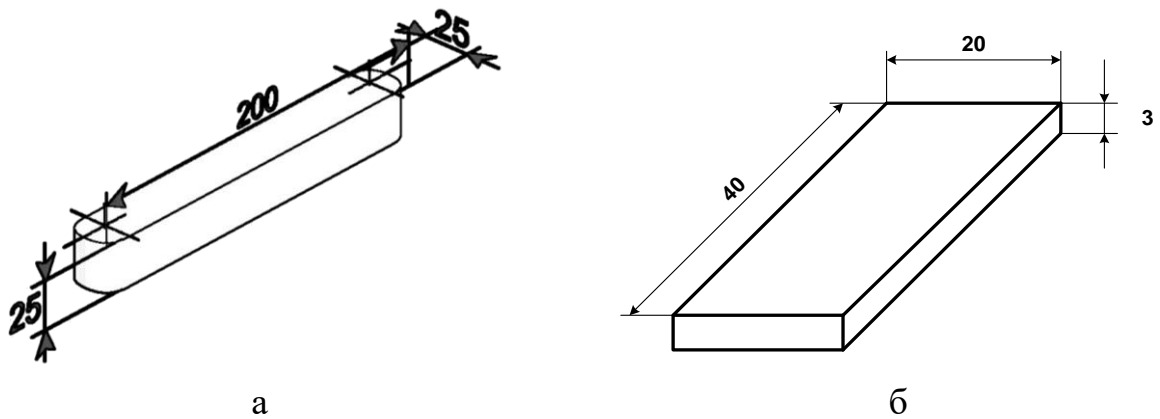


Рисунок 11.7 – Зразки для визначення міцності сумішей на вигин: а – зразок для визначення міцності стрижневих сумішей; б – зразок для визначення міцності керамічних форм за моделями, що витоплюються

4. Міцність у нагрітому стані (гаряча міцність). Міцність за температур, до яких прогривається форма при заливанні у неї металу, найбільш відповідальна за якість виливків, оскільки під час руйнування форми посилюється фізико-хімічна взаємодія між нею і рідким металом, що є причиною виникнення дефектів у виливках.

Для випробування міцності формувальних сумішей у нагрітому стані найбільш відома установка УС-700 (рис. 11.3, б), яка має пересувну силітову піч. На такій установці можна здійснювати вимірювання міцності при стисканні зразків формувальної суміші під час їх нагрівання до 1200 °С.

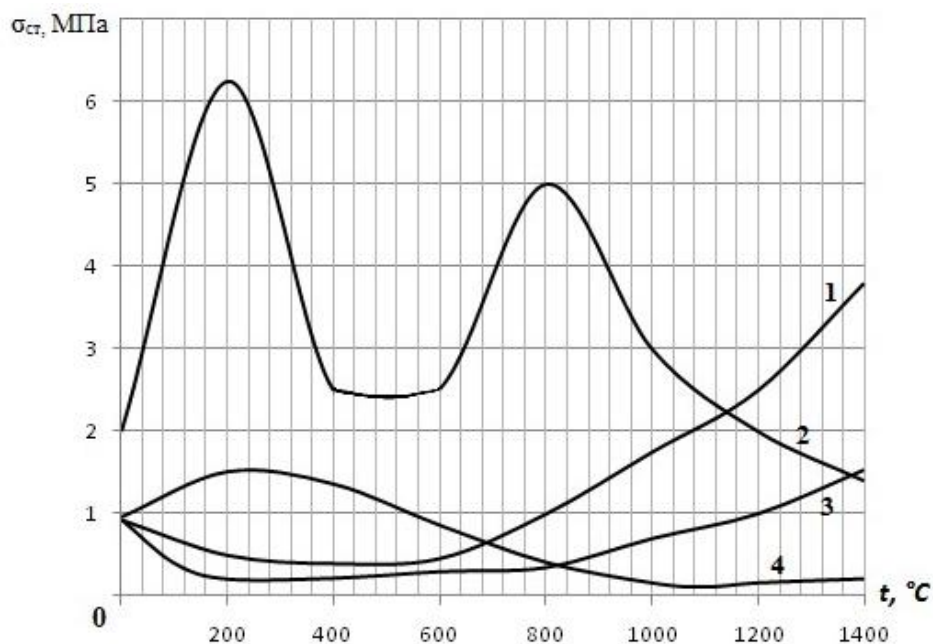
Для випробування зразок розміщують на вимірювальну позицію, потім насувають силітову піч таким чином, що зразок знаходиться всередині неї. Після витримки 20...30 хв, необхідної для наскрізного прогрівання зразка, визначають міцність при стисканні.

5. Міцність після нагрівання і охолодження (залишкова міцність) характеризує здатність форми руйнуватися в процесі вибивання, тобто є непрямим методом визначення вибиваємості сумішей і, відповідно, визначає виробничі та санітарно-гігієнічні умови вибивних і очисних відділень ливарних цехів.

Ідеальною вважається така формувальна суміш, яка має достатню міцність і податливість, а при охолодженні втрачає свою міцність майже повністю. Ідеальні суміші зустрічаються дуже рідко. Деякі ЗК, навпаки, після нагрівання та охолодження стають набагато міцнішими.

Найбільший вплив на залишкову міцність (і вибиваємість) мають природа ЗК, температура прогрівання, тривалість витримки за високих температур, швидкість охолодження.

Формувальні суміші з дрібним піском спікаються більше, ніж із крупним, тому їхня залишкова міцність вища. Глини спікаються по-різному залежно від вмісту в них легкоплавких домішок. Найбільшу залишкову міцність і найгіршу вибиваємість мають формувальні суміші з рідким склом, внаслідок розплавлення лужних силікатів і наступного спікання формувальної суміші. Зміну залишкової міцності формувальних сумішей із основними неорганічними ЗК залежно від температури їх прогрівання показано на рис. 11.8.



1 – суміш з рідким склом і ферохромовим шлаком; 2 – суміш з рідким склом, зміцнена CO_2 ; 3 – РСС з рідким склом; 4 – піщано-глиняста суміш

Рисунок 11.8 – Залишкова міцність різних сумішей залежно від температури прогрівання

6. Міцність у зоні конденсації води. Відомо, що при заливанні металу в форму частина формувальної суміші може відшаруватися від поверхні форми, потрапити у метал і спричинити різні піщані дефекти виливків, в основному – ужимини. Тому міцність форми у зоні конденсації води має велике значення для попередження цих дефектів.

Для визначення міцності у зоні конденсації води у спеціальній гільзі (з кільцевими канавками) виготовляють із формувальної суміші стандартний циліндричний зразок. З одного боку зразок підігривають до $350\text{ }^\circ\text{C}$ і витримують 50 с, після чого до зразка прикладають розривне навантаження до його зруйнування [1]. Міцність у зоні конденсації має мізерні значення (порядку $1\text{...}3\text{ кПа}$) і залежить в основному від якості формувальної глини.

Але навіть незначне підвищення цієї характеристики дає змогу зменшити або усунути брак виливків по поверхневим дефектам.

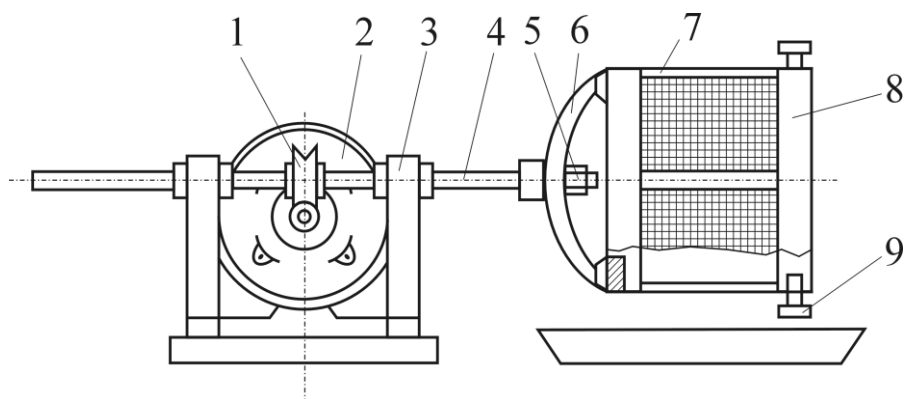
11.2.2. Поверхнева міцність

Оскільки метал взаємодіє безпосередньо з поверхнею форми, найбільша міцність її має бути саме на поверхні, щоб не допустити дефектів (піщаних раковин, неметалевих краплень) у виливках. Поверхневу міцність оцінюють непрямими методами:

- 1) за обсіпаємістю при нормальній температурі стандартних циліндричних зразків із формувальної суміші у відсотках від маси зразка;
- 2) за твердістю ущільненої формувальної суміші в умовних одиницях.

Визначення обсіпаємісті виконують за допомогою приладу, схему якого зображено на рис. 11.9.

На станині 3 приладу встановлено електродвигун 2, який через редуктор 1 приводить в обертання вал 4. Частота обертання вала 60 об/хв. На валу 4 за допомогою гайок 5 закріплено барабан 6 діаметром 110 мм, виготовлений із сітки 7 з коміркою 2,5 мм і товщиною дроту 0,9 мм.



1 – редуктор; 2 – електродвигун; 3 – станина; 4 – вал; 5 – гайка; 6 – барабан; 7 – сітка;
8 – кришка; 9 – гвинт

Рисунок 11.9 – Схема приладу для визначення обсіпаємісті сумішей

Обсіпаємість визначають як відношення втрати маси зразка за період випробування (60 с) до початкової маси:

$$O = \frac{M - M_1}{M} \cdot 100,$$

де O – обсіпаємість зразка, %;

M – маса зразка до випробування, г;

M_1 – маса зразка після випробування, г.

Для традиційних піщано-глинястих сумішей обсіпаємість має не перевищувати 1%. З підвищенням вологості суміші вона знижується. Для стрижневих сумішей бажано, щоб обсіпаємість не перевищувала 0,5%, а при виробництві відповідальних виливків – 0,2%. При виробництві ювелірних виливків використовують гіпсо-кремнеземисті суміші, обсіпаємість має бути менша від 0,1%.

Про поверхневу міцність судять також за поверхневою твердістю форми чи стрижня. Її визначають стандартними твердомірами (рис. 11.10), які показують величину твердості форми в умовних одиницях.

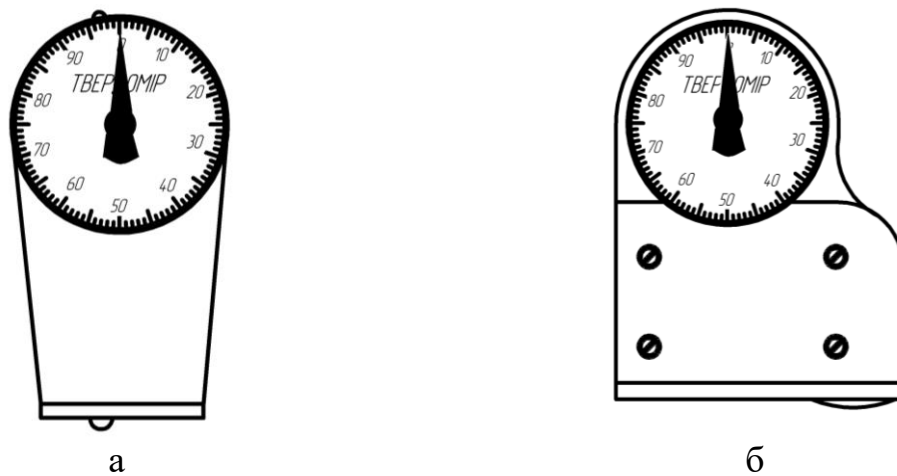


Рисунок 11.10 – Твердоміри: а – для сирих форм; б – для сухих форм

11.2.3. Газопроникність

Для попередження утворення у виливках газових раковин газу, які утворюються при заливанні форми, мають бути видалені.

Газопроникність – це здатність матеріалу пропускати крізь себе газу.

Газопроникність формувальної суміші є наслідком її пористості. Пористість сумішей в ущільненому стані знаходиться на рівні 30...40%. Це означає, що між частинками наповнювача і ЗК у готовій формі або стрижні є порожнини, у яких за звичайних умов знаходиться повітря, а також вони можуть служити каналами для переміщення крізь суміш газів. Слід врахувати, що не усі пори є відкритими, тобто мають сполучення з атмосферою. Через закриті пори газу рухатися не можуть, тому реальна газопроникність форми визначається тільки відкритою пористістю.

На пористість і, як наслідок, на газопроникність, впливають наступні фактори:

1. Зерновий склад наповнювача. Чим дрібніший наповнювач, тим менша пористість. Чим менший коефіцієнт однорідності, тим більше частинки наповнювача розосереджені за розмірами, і тим менша пористість. Щодо форми зерен – то округла форма забезпечує щільнішу укладку зерен у порівнянні із напівокруглою або гострокутною формами. Тому піски з неправильною формою зерен забезпечують більшу пористість сумішей;

2. Вміст глини і пилу. Якщо глина або пил розташовуються на поверхні зерен наповнювача, то пористість майже не змінюється. При великій кількості глини або пилу вони закупорюють пори;

3. Ступінь ущільнення. Чим більший ступінь ущільнення, тим менша пористість;

4. Вміст води. Чим більше води, тим менша пористість, крім випадку піщано-глинястої суміші з низьким (до 2%) вмістом води. У цьому разі вода змочує глину і розташовується разом з нею на поверхні піщинок, а не у порах. Додавання більшої кількості води у суміш призводить до набухання глини і часткового закупорювання пор;

5. Вміст зв'язувальних компонентів. Будь-який зв'язувальний компонент знижує пористість.

Газопроникність формувальних сумішей визначають на стандартних циліндричних зразках у сирому та сухому (або після затвердіння) станах при стандартному ущільненні (три удари лабораторного копра).

Для визначення газопроникності у сирому стані зразок після виготовлення не вилучають із гільзи. Після визначення його газопроникності зразок вилучають із гільзи і визначають його міцність при стисканні.

Визначають газопроникність шляхом пропускання повітря при кімнатній температурі через зразок, виготовлений із досліджуваної суміші. Газопроникність розраховують за формулою:

$$\Gamma = \frac{V \cdot h}{F \cdot P \cdot t}, \quad (11.1)$$

де Γ – газопроникність суміші, од.;

V – об'єм повітря, яке пройшло через зразок, см³;

h – висота зразка, см;

F – площа поперечного перерізу зразка, см²;

P – тиск повітря перед зразком, см. вод. ст.;

t – час, протягом якого через зразок пройшло V см³ повітря, хв.

Газопроникність формувальних сумішей після сушіння значно (на 50...60%) збільшується, оскільки плівки глини та інших ЗК стають тоншими, а перерізи каналів – більшими. Газопроникність після сушіння збільшується також і в результаті того, що водяна пара та інші гази, проходячи через суміш, утворюють нові (додаткові) канали.

При нормальному методі через зразок висотою і діаметром 50 мм пропускають 2000 см³ повітря. У цьому випадку формула (11.1) для визначення газопроникності набуває вигляду:

$$G = \frac{2000 \cdot 5}{3,14 \cdot \left(\frac{5}{2}\right)^2 \cdot P \cdot t} = \frac{509,5}{P \cdot t},$$

де G – газопроникність суміші, од.;

P – тиск повітря перед зразком, см. вод. ст.;

t – час, протягом якого через зразок пройшло 2000 см³ повітря, хв.

Слід зазначити, що газопроникність прийнято позначати в умовних одиницях. Прийнята методика дає змогу вимірювати газопроникність від 0 до 2000 одиниць, але для більшості формувальних і стрижневих сумішей вона не перевищує 400 одиниць. Для піщано-глинястих сирих сумішей вважають задовільним, якщо газопроникність більша за 100 одиниць.

При прискореному методі визначення газопроникності на шляху руху повітря встановлюють додатковий опір у вигляді каліброваного ніпелю. Внаслідок цього забезпечується надходження повітря під зразок із постійною швидкістю. Тиск повітря під зразком у цьому випадку залежить тільки від газопроникності суміші, що і лежить в основі методу.

При прискореному методі не потрібно пропускати через зразок 2000 см³ повітря і проводити розрахунки, що є його перевагою.

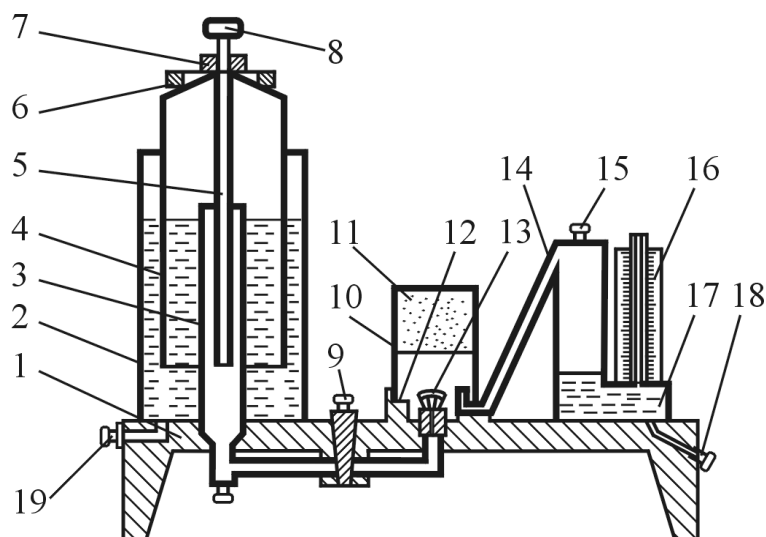
Схематично прилад для визначення газопроникності показано на рис. 11.11. На чавунній основі 1 закріплено бак 2 з трубою 3. У середині бака розміщується дзвін 4. Дзвін має трубку 5 і рукоятку 8. При опусканні дзвону в бак трубка 5 входить в трубку 3. На поверхні дзвону є відмітки „2000”, „1000”, „0”, „X”.

Зверху дзвону 4 лежить знімний вантаж 6, маса якого 0,23 кг. Він використовується тільки при прискореному методі вимірювання для збільшення маси дзвону.

До початку випробування у бак 2 наливають воду і в неї опускають дзвін 4. Повітря, яке знаходиться у дзвоні, через отвір у трубці 5, а далі через

трубку 3 і трипозиційний кран 9 поступає в гільзу 10 із зразком 11, закріплену в чашці затвора 12. Кран 9 регулює напрямок руху повітря:

- при положенні крана „Закрито” повітря із-під дзвону не виходить;
- при положенні крана „Відкрито” повітря випускається із приладу в атмосферу;
- при положенні крана „Випробування” повітря прямує через повітропровід у гільзу під зразок.



1 – основа; 2 – бак; 3 – труба; 4 – дзвін; 5 – трубка; 6, 7 – вантажі; 8 – рукоятка; 9 – трипозиційний кран; 10 – гільза, 11 – зразок; 12 – чашка затвора; 13 – ніпель; 14 – повітропровід; 15 – отвір для заливання води; 16 – шкала манометра; 17 – манометр; 18, 19 – зливні канали

Рисунок 11.11 – Схема приладу для визначення газопроникності сумішей

У чашці затвора 12 на кінці повітропроводу є нарізка, в яку вкручується калібрований ніпель 13 з отвором 0,5 мм або ніпель з отвором 1,5 мм.

Порожнина у чашці затвора під дослідним зразком (між стінками гільзи 10) сполучена повітропроводом 14 з водним манометром 17. Вода випускається із бачка манометра через зовнішній отвір 18, заповнення манометра водою проводиться через отвір 15. Тиск фіксується за допомогою шкали 16. Установка приладу в горизонтальне положення проводиться за допомогою трьох монтажних гвинтів.

Визначення газопроникності проводять на приладі при проходженні крізь зразок повітря при 20 °С. Це віддаляє умови її визначення від реальних, тому що в'язкість і температура газів, які утворюються у реальній формі, будуть відрізнятися від показників холодного повітря. Тому газопроникність реальної форми значною мірою відрізняється від визначеної на приладі. У

першу чергу на неї впливатиме температура (рис. 11.12). Зниження значення газопроникності при робочій температурі форми (800...1000 °С) пояснюється значним розширенням об'єму газів при нагріванні. При вказаній температурі об'єм газів більший у 4...5 разів, ніж при 20 °С, а пористість форми залишається незмінною, тому у стільки ж разів меншою стає реальна газопроникність.

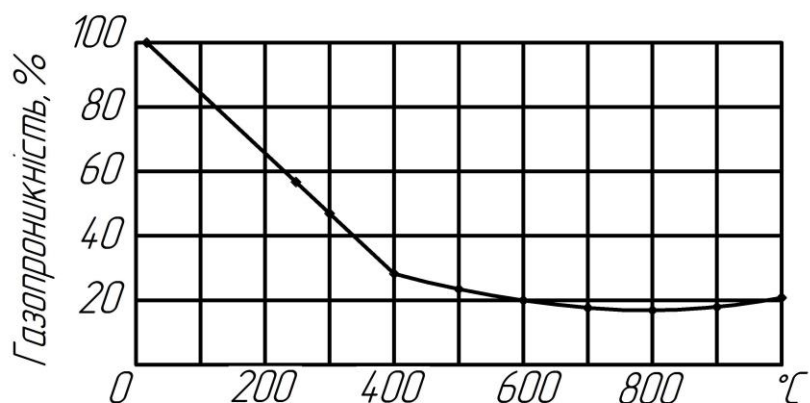


Рисунок 11.12 – Залежність газопроникності форми від температури

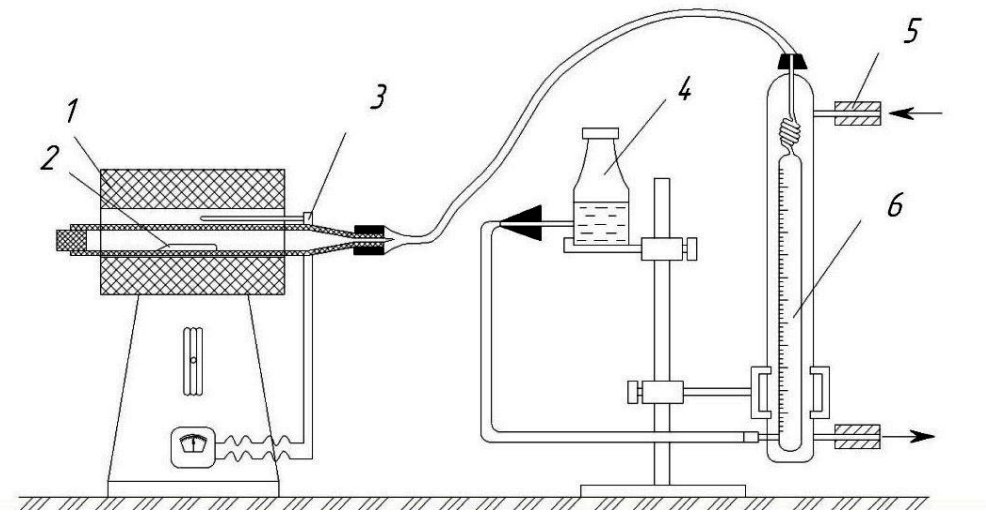
11.2.4. Газотвірна здатність

Газотвірна здатність – це характеристика, яка показує, який об'єм газів виділяється із одиниці маси або одиниці об'єму суміші при її нагріванні до робочих температур.

Але оскільки термін «робочі температури» неточний, тому що різні шари форми прогриваються по-різному, і ця температура залежить від сплаву і розмірів вилівка, на практиці є два способи експериментального визначення газотвірної здатності [2].

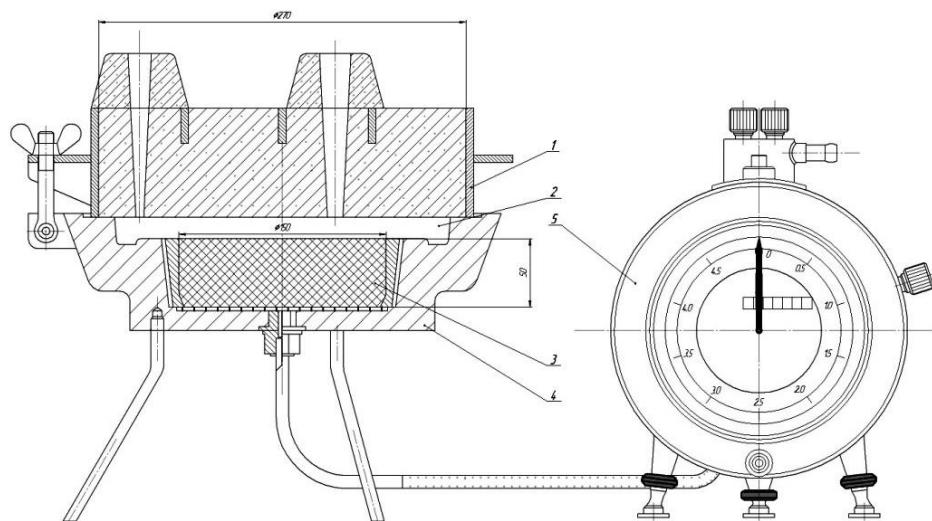
Перший – **непрямий спосіб**. У трубчасту електропіч 1 (рис. 11.13) поміщають наважку дослідної суміші 2 і нагрівають до температури 1000 °С, яку контролюють термопарою 3. Об'єм виділених із наважки газів вимірюють у бюретці 6. Газотвірну здатність суміші виражають у см³ газу на 1 г суміші.

Даний спосіб дає змогу порівняти різні формувальні суміші в однакових умовах нагрівання. Але він не дає повного уявлення щодо процесів, які відбудуться у справжній формі при заливанні металом. Тому розроблено інший – **прямий спосіб**. При цьому (рис. 11.14) стрижень 3, виготовлений із дослідної суміші, поміщають у ливарну форму (нижня півформа 4 металева, і газів не пропускає). Форму заливають металом, і всі гази, утворені у стрижні, поступають по трубці до газолічильника 5. Знаючи об'єм стрижня, визначають газотвірну здатність суміші при заливанні певним сплавом.



1 – трубчаста піч; 2 – лодочка із наважкою; 3 – термопара; 4 – врівноважу вальна ємність; 5 – насадки для подачі води; 6 – мірна бюретка

Рисунок 11.13 – Непрямий спосіб визначення газотвірної здатності



1 – верхня металева півформа; 2 – порожнина форми; 3 – стрижень із досліджуваної суміші; 4 – нижня металева півформа; 5 – газолічильник барабанний ГСБ-400

Рисунок 11.14 – Прямий спосіб визначення газотвірної здатності

11.2.5. Вологість

Вологість – це відносний вміст води у формувальній або стрижневій суміші, виражений у відсотках за масою. Вона є однією із важливих характеристик піщано-глинястих формувальних сумішей. Вода є у них обов'язковим компонентом, оскільки глина проявляє свої зв'язувальні властивості тільки при змочуванні водою. Внаслідок змочування глинястих часток відбувається їх набухання, утворення глинясто-водної композиції, яка здатна вкривати поверхню зерен піску і утворювати з нею адгезійний зв'язок.

У місцях контактів між окремими часточками наповнювача, покритими глиною, вони склеюються (зв'язуються) – утворюються когезійні зв'язки. Кількість таких зв'язків зростає при ущільненні суміші.

Під час заливання металу надлишковий вміст вологи у формі є небажаним. Швидке нагрівання суміші в контакті з рідким металом сприяє випаровуванню води і утворенню значної кількості газу, який з великою ймовірністю може потрапити у рідкий метал, утворивши у виливку внутрішні дефекти. Також підвищена вологість форми спричиняє ряд поверхневих дефектів за рахунок проникання газу через тверду кірку на поверхні виливка. На поверхні виливок-форма створюється окислювальна атмосфера, що сприяє утворенню пригару. Крім цього, у сирій формі обов'язково з'являється зона конденсації води, яка є причиною ряду додаткових дефектів (ужимин). Тому вміст вологи у суміші необхідно підтримувати на мінімальному, але достатньому для забезпечення зв'язувальних властивостей глини рівні.

У піщано-глинястих сумішах для формування по-сирому вміст води знаходиться у межах від 2 до 6%. Для традиційних форм (ручне або машинне формування) при виготовленні виливків із сталі – 2,8...3,5%, виливків із чавуну – 3,0...5,0%. При ущільненні суміші імпульсним методом або ущільненні під високим тиском вологість знижують до 1,8...2,5%. При виробництві дрібних чавунних виливків та виливків із сплавів кольорових металів використовують наповнювачі дрібної фракції, а також пісні та жирні піски, такі суміші потребують збільшення вологості до 5...8%.

Процес формування по-сухому полягає в тому, що попередньо виготовлена сира піщано-глиняста ливарна форма сушиться для повного видалення вологи, але все одно під час приготування суміші і виготовлення форми вода є необхідною. Оскільки вміст води у сумішах у цьому випадку не впливає на якість виливків, вологість збільшують до 5...8% для сталевого литва і до 5...10% для чавунного. При виготовленні форм за шаблонами вміст води може бути доведено до 12...14% для надання суміші високої пластичності. Форми підлягають обов'язковому сушінню.

Вологість піщано-глинястих сумішей значною мірою впливає на їх основні властивості – міцність і газопроникність (рис. 11.15) [9].

Достатніми для попереднього змочування (у сумішах з 4...8% глини) є 2% води. При подальшому змочуванні (до 4...5% води) глинясті частки набухають, поглинаючи міжпакетну воду, і міцність суміші зростає. Максимум міцності відповідає плівковому вмісту води (4...5%). Вміст води понад 5% призводить до зниження міцності внаслідок пересичення суміші вологою і послаблення

когезійних зв'язків між частинками. За великого вмісту води (капілярно-зв'язаної, 12...14%), міцність суміші незначною мірою підвищується.

Газопроникність зростає при введенні до 2% води за рахунок змочування пилоподібних часточок глини. При більшому вмісті води відбувається набухання глинястих плівок із зменшенням пористості суміші. При 12...14% вода закупорює усі пори в суміші, і газопроникність падає до нуля.

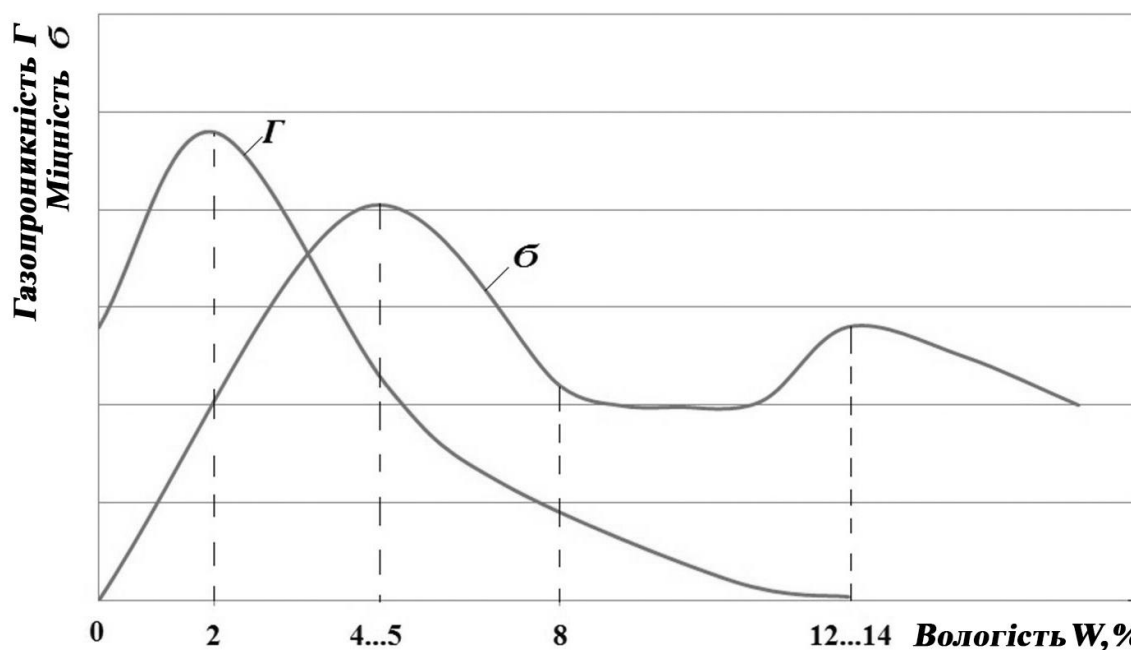


Рисунок 11.15 – Вплив вологості піщано-глинястих сумішей на їх міцність (σ) і газопроникність (Γ)

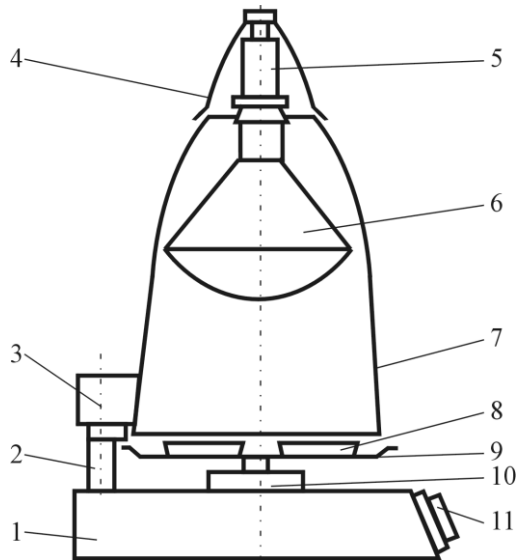
Для визначення вологості **прискореним методом** використовують прилад, схему якого зображено на рис. 11.16.

На фундаменті 1 приладу встановлено кронштейн 2. На осі 3 кронштейну закріплено патрон 5, у якому встановлено інфрачервону лампу 6. Скляну колбу лампи захищено запобіжним кожухом 7, який повертається навколо осі 3. На фундаменті 1 встановлено електродвигун з редуктором 10, на валу якого закріплено столик 9 для встановлення чашок 8 діаметром 60...80 мм із сумішшю.

Для охолодження цоколя лампи 6 на кожусі 7 передбачені у верхній його частині вікна 4. Вони призначені також для відведення водяної пари.

Ввімкнення приладу в мережу проводиться за допомогою штепсельної вилки, а вмикання лампи – реле 11.

Прискорений метод визначення вологості полягає у наступному. Відбирають три проби (наважки) суміші масою $(10 \pm 0,01)$ г і висушують в установці (рис. 11.16) протягом 3 хв, після чого зважують. Далі повторюють сушку один або декілька разів по 1 хв до стабілізації маси.



1 – фундамент; 2 – кронштейн; 3 – вісь; 4 – вікно; 5 – патрон; 6 – інфрачервона лампа;
7 – кожух; 8 – чашка; 9 – столик; 10 – електродвигун; 11 – реле часу

Рисунок 11.16 – Схема приладу моделі 062 для визначення вологості

Визначають вміст вологи для кожної із трьох наважок за формулою:

$$W = \frac{M - M_1}{M} \cdot 100, \quad (11.2)$$

де W – вологість піску або суміші, %;

M – маса наважки піску або суміші;

M_1 – маса наважки піску або суміші після остаточного висушування, г.

Сутність **нормального методу** визначення вологості аналогічна. З метою підвищення точності беруть наважку суміші ($50 \pm 0,01$) г і висушують у сушильній шафі при температурі $105 \dots 110$ °С протягом 30 хв, після чого зважують. Далі висушують один або декілька разів по 15 хв, до стабілізації маси наважки, і розраховують вологість за формулою (11.2).

11.3. Технологічні властивості

11.3.1. Пластичність

Пластичністю будь-якого матеріалу, у тому числі формувальної суміші, називають здатність її змінювати свою форму під дією зовнішніх сил і зберігати одержану форму після припинення їх дії.

Завдяки пластичності формувальної суміші ми одержуємо у формі чіткий відбиток модельного оснащення і відповідно чіткий контур вилівка.

Стандартних методів визначення пластичності ще не існує. Пластичність формувальних сумішей визначають непрямими методами, поділивши її на окремі більш прості технологічні властивості: текучість, ущільнювальність та формувальність [12].

1. Текучість формувальних сумішей – це технологічна властивість, яка характеризує їх здатність переміщуватися під дією зовнішніх навантажень.

Піщано-глиняста формувальна суміш являє собою дисперсну систему, яка складається із зерен піску, покритих плівками ЗК (глини). Зерна піску не деформуються, тому під дією зовнішніх навантажень відбувається зменшення відстані між ними та деформація пластичних глинястих оболонок на поверхні зерен та між ними. Унаслідок цього зменшується пористість суміші та збільшується кількість контактів між зернами піску – відбувається ущільнення.

Характер деформації сумішей при зовнішньому навантаженні є різним. За цим показником вони поділяються на сипкі (наприклад, сухий пісок), рідкорухомі (наливні), та пластичні. Піщано-глинясті суміші відносяться до пластичних.

Для пластичних сумішей розроблено стандартну методику визначення текучості (рис. 11.17). Сам зразок називається пробой Г. М. Орлова. Для виготовлення зразка у стандартну гільзу висотою 120 мм вставляють металевий вкладень висотою 30 мм. Після цього гільзу заповнюють формувальною сумішшю, а потім суміш ущільнюють трьома ударами лабораторного копра для отримання зразка стандартної висоти ($50,0 \pm 0,8$) мм.

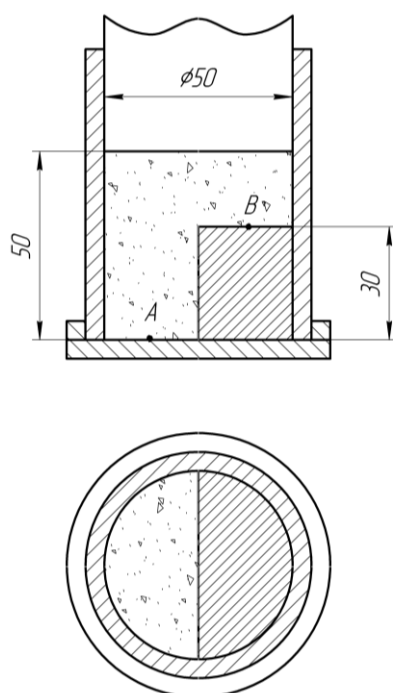


Рисунок 11.17 – Методика визначення текучості пластичних формувальних сумішей

Отриманий зразок зі сходинкою виймають із гільзи і вимірюють за допомогою кулькового твердоміра твердість у точках А і В (див. рис. 11.17). Текучість оцінюють за співвідношенням твердості у нижній і верхній частинах зразка:

$$T = \frac{H_A}{H_B} \cdot 100,$$

де T – текучість суміші, %;

H_A і H_B – твердість відповідно у точках А і В, одиниць.

Текучість пластичних сумішей має бути не нижчою, ніж 50%.

2. Ущільнювальність – це властивість формувальної суміші зменшуватися в об’ємі (ущільнюватись) під дією зовнішніх сил або власної маси.

Ущільнення суміші починається при формуванні з місця прикладання сил і передається нижнім шарам у напрямі дії ущільнювальної сили. Ступінь ущільнення суміші у кожному нижньому шарі менший, ніж у верхньому, оскільки частина роботи ущільнення витрачається на подолання сил тертя.

Ущільнювальність оцінюють згідно ГОСТ 23409.13–78 за зменшенням висоти суміші в гільзі після її стандартного ущільнення (рис. 11.18). Для цього стандартну гільзу висотою 120 мм до верху заповнюють неущільненою (пужкою) формувальною сумішшю, після чого встановлюють на лабораторний копер.

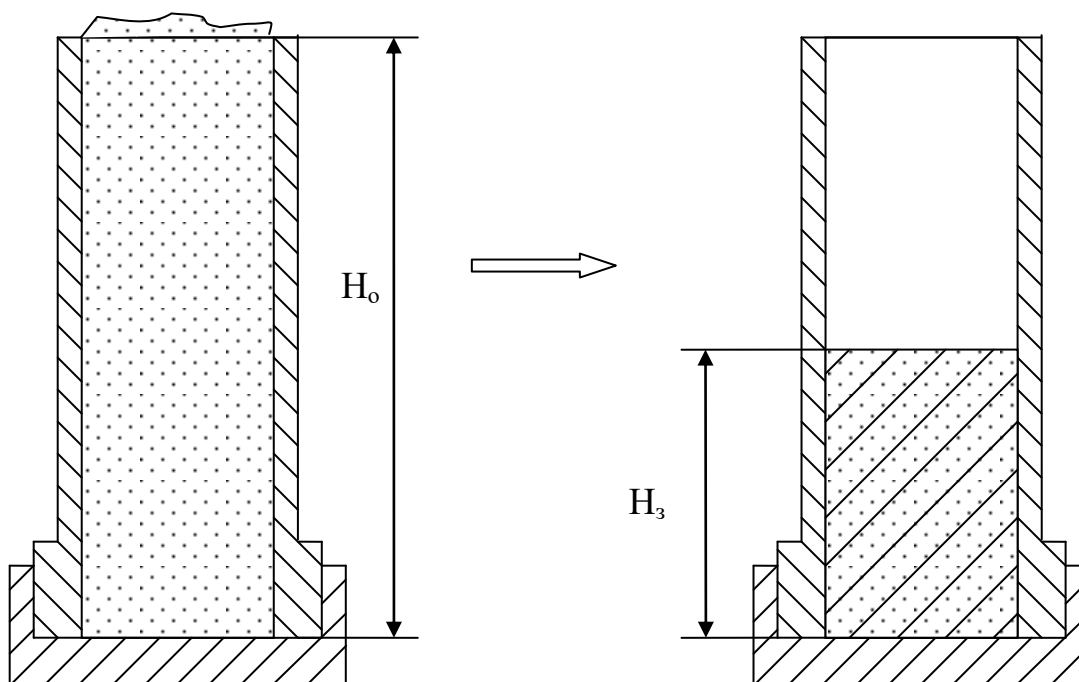


Рисунок 11.18 – Методика визначення ущільнювальності сумішей

Проводять ущільнення трьома ударами копра, отриманий зразок виймають із гільзи і вимірюють його висоту H_3 . Ущільнювальність розраховують за формулою:

$$Y = \frac{H_0 - H_3}{H_0} \cdot 100,$$

де Y – ущільнювальність суміші, %;

H_0 – початкова висота шару суміші у гільзі (120 мм);

H_3 – висота зразка, отриманого трьома ударами копра, мм.

3. Формувальність – це властивість суміші відтворювати під час ущільнення поверхню модельного оснащення.

Її оцінюють за методикою (ГОСТ 23409.15–78), яка полягає у здатності суміші просіюватися через сито з отворами певних розмірів.

Наважку суміші масою 200 г розміщують у барабані (розмір комірки 2,5x2,5 мм) установки моделі 056 для випробування зразків на обсипаємість (див. рис. 11.12). Вмикають прилад і проводять випробування протягом 10 с. Суміш, яка просипалась крізь сито барабана, зважують. Формувальність визначають за формулою:

$$\Phi = \frac{m_1}{m_0} \cdot 100,$$

де Φ – формувальність суміші, %;

m_1 – кількість суміші, яка пройшла через сітчастий барабан, г;

m_0 – початкова кількість суміші (200 г).

Задовільними вважають значення формувальності більше 50%.

11.3.2. Термін технологічної придатності (живучість)

Живучість формувальної суміші – здатність її зберігати свою основну властивість протягом певного часу після приготування.

Для переважної більшості сумішей живучість оцінюють за зниженням її міцності. Якщо суміш втратила 20...25% своєї міцності, вважається, що вона малопродатна для використання. Чим більше часу суміш зберігає свої властивості, тим вона більш живуча. Піщано-глинясті суміші мають дуже високу живучість, яка пов'язана лише з можливістю їх висихання (при

випаровуванні води вони поступово втрачають міцність). У закритих бункерах при високій вологості повітря їх живучість майже необмежена.

Також необмежена живучість сумішей, які зміцнюються при нагріванні: при нормальних умовах у них не відбувається ніяких процесів.

Найбільш актуальним є визначення живучості холодотвердних сумішей, тому що деякі із них стають непридатними вже через 1...2 хв після приготування.

Живучість рідкорухомих самотвердних сумішей (РСС) оцінюють за часом зберігання ними не міцності, а текучості.

11.3.3. Текучість рідкорухомих сумішей

Властивість визначають для рідкорухомих самотвердних сумішей (РСС).

Текучість характеризує здатність суміші заповнювати опоку або стрижневий ящик і відтворювати конфігурацію оснащення (моделі або ящика).

Для визначення текучості конічну гільзу висотою 100 мм, з верхнім діаметром 50 мм і нижнім 60 мм (рис. 11.19, а) заповнюють РСС (б), надлишок суміші зрізають (в) і гільзу плавно піднімають вгору (г). За міру текучості приймають діаметр розтікання суміші (д) у міліметрах (е). Текучість РСС у межах 100...125 мм вважають нормальною.

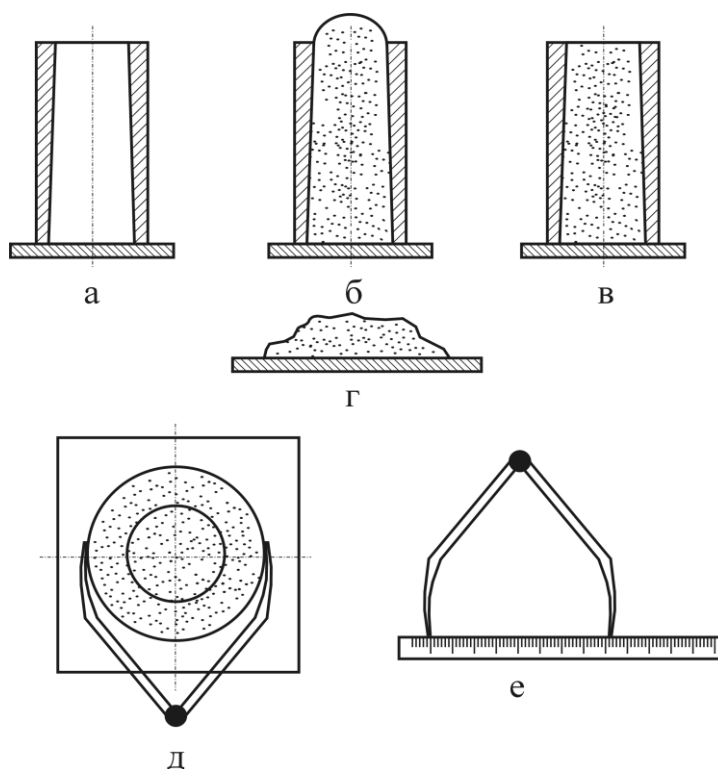


Рисунок 11.19 – Послідовність операцій при визначенні текучості РСС

11.3.4 Липкість

Липкість – це здатність формувальної суміші прилипати до поверхні модельного оснащення. Прилипання відбувається у випадку, якщо сила зчеплення суміші з поверхнею моделі (адгезія) перевищує силу зчеплення між зернами суміші (когезія).

Ступінь липкості суміші залежить від вмісту в ній води, природи ЗК, а також від якості поверхні модельного оснащення.

Безумовно, прилипання формувальної суміші – явище дуже небажане. Воно призводить до руйнування поверхні форми при вилученні моделі чи розбиранні стрижневого ящика, внаслідок чого погіршується якість робочої поверхні форми, посилюються фізико-хімічні процеси між металом і формою, що спричиняє різні дефекти поверхні виливків. Тому прилипання необхідно попереджувати.

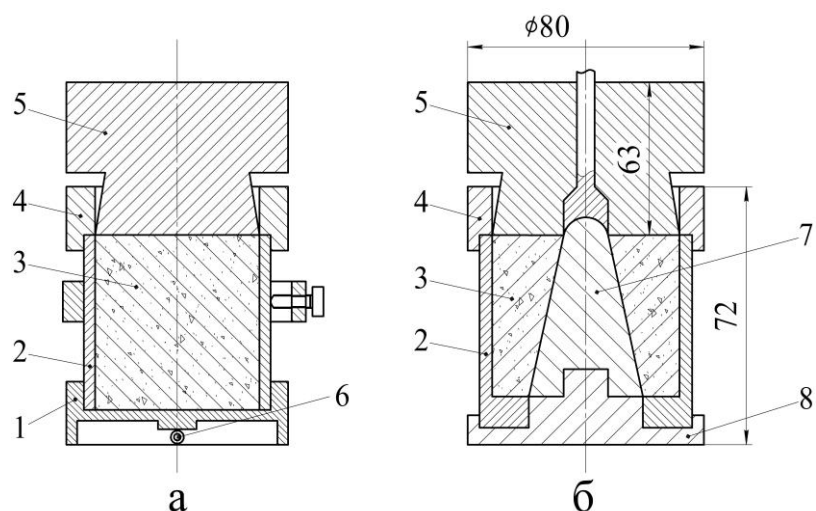
Існує кілька способів зниження липкості формувальних сумішей [9]:

- 1) покриття поверхні дерев'яних моделей фарбами або лаками;
- 2) нанесення на поверхню моделей разових пилоподібних припилів – модельних пудр;
- 3) нанесення на поверхню моделей разових антиадгезійних розділових покриттів – нафтопродуктів, ПАР тощо;
- 4) введення гідрофобних добавок у формувальні суміші, які знижують адгезію суміші до поверхні моделі;
- 5) зниження вологості формувальної суміші;
- 6) підігрівання (до 40 °С) поверхні металевих моделей;
- 7) зниження шорсткості поверхні моделей;
- 8) покриття металевих моделей зносостійкими та корозійностійкими металами (хромом, нікелем і т. ін.).

Найкращою модельною пудрою є пилоподібний лікоподій – спори рослин плаунів. Але ця пудра дорога. Значно дешевшими є порошки крейди або мармуру, оброблені стеарином або парафіном; хвойне борошно; порошок оксиду алюмінію, покритий кремнійорганічною рідиною тощо.

Для визначення липкості у КПП ім. І. Сікорського розроблено спеціальне оснащення (рис. 11.20), призначене як для формувальних, так для стрижневих сумішей. Питоме зусилля відриву характеризує прилипання стрижневої суміші до поверхні стрижневого ящика, оскільки при розбиранні його і вилученні стрижня спостерігається у більшості випадків відрив стінок ящика від поверхні стрижня. Питоме зусилля зсуву характеризує прилипання

формувальної суміші до моделі, оскільки під час вилучення моделі відбувається зсув її відносно форми.



1, 8 – піддони; 2 – гільза; 3 – зразок; 4 – надставка; 5 – вантаж; 6 – скоба; 7 – конусна модель
Рисунок 11.20 – Оснащення для визначення липкості формувальних сумішей за
питомим зусиллям відриву (а) і за питомим зусиллям зсуву (б)

Зусилля відриву суміші від піддона 1 визначають з допомогою розривної машини. Для установки гільзи 2 з піддоном 1 і зразком у розривну машину на її робочій стійці монтується обойма, у якій затискається гільза, а розривне зусилля передається на піддон тросом, закріпленим у скобі в піддоні 1.

Питоме зусилля зсуву визначається при витягуванні конічної моделі 7 із зразка суміші (після зняття піддона 8). Розміри моделі 7 вибрані такими, щоб ухил становив 1° ($0,017$ рад), а площа бічної поверхні конуса дорівнювала площі поперечного перерізу стандартного зразка ($1,96 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$). Це дає змогу використовувати стандартний універсальний прилад для випробування зразків на міцність при стисканні. Питоме зусилля зсуву знімають безпосередньо на шкалі міцності суміші у сирому (вологодому) стані.

11.3.5. Гігроскопічність

Гігроскопічність – це здатність суміші поглинати вологу із повітря. Це призводить до беззаперечного погіршення усіх властивостей – міцності, обсіпаємості, зростання вологості і газотвірності.

Найбільш гігроскопічними є гідрофільні ЗК – карбамідні, карбамідофуранові та поліуретанові смоли. Суміші із ЛСТ та полісахаридами також дуже гігроскопічні.

Найменша гігроскопічність у сумішей із ЗК типу фенол-формальдегідно-фуранових смол та у піщано-масляних сумішей.

Визначення гігроскопічності здійснюють за ГОСТ 23409.10–78. При цьому стандартний циліндричний зразок у зміцненому стані зважують та розміщують в ексикаторі на фільтрувальному папері, розміщеному на шарі кварцового піску із вмістом вологи 5%, і витримують протягом 2 год. Після цього зразок знову зважують. Гігроскопічність визначають:

$$\Gamma = \frac{M - M_0}{M_0} \cdot 100,$$

де Γ – гігроскопічність зразка, %;

M – маса зразка після випробування, г;

M_0 – маса зразка до випробування, г.

11.3.6. Довговічність

Довговічність – це здатність суміші зберігати свої властивості при багаторазовому використанні. Оскільки стрижневі суміші готують з великим відсотком свіжих компонентів, або взагалі із використанням свіжих компонентів, тому довговічність – характеристика, важлива для сумішей формувальних, які підлягають багаторазовому використанню.

Цю характеристику визначають методом порівняння міцності та газопроникності стандартних зразків, виготовлених із суміші на свіжих компонентах та із оборотної суміші. Якщо зниження показників становить не більше 25%, суміш вважають придатною до повторного використання. Довговічність виражається у кількості можливих циклів повторного використання сумішей.

11.4. Робочі властивості

11.4.1. Податливість

Податливість – здатність формувальної або стрижневої суміші не чинити опір усадці виливка. Якщо форма чи стрижень механічно гальмують усадку, у виливку виникають внутрішні напруження, і якщо вони досягають межі його міцності – виникають тріщини. Для попередження гарячих тріщин необхідно створювати податливі форми й особливо стрижні.

Податливість залежить від міцності формувальної суміші за високих температур, ступеню її ущільнення, конструкції виливка, усадки сплаву, температури заливання сплаву в форму та інших факторів.

Стандартної методики визначення податливості не розроблено. Її оцінюють за допомогою прямих і непрямих методів. Податливість суміші (y %) має бути не меншою за теоретичне значення лінійної усадки виливка.

Непрямі методи визначення податливості [9]:

1) за деформацією стандартного циліндричного зразка із суміші під постійним навантаженням при високій температурі. Чим більша його деформація, тим кращою є податливість суміші;

2) за питомим тиском на поверхню зразка із суміші, який спричиняє задану лінійну деформацію (0,5...2,5%, залежно від очікуваної усадки сплаву, найчастіше 1,0%);

3) за швидкістю руйнування зразка при заданій температурі під постійним навантаженням.

Прямі методи визначення податливості [9]:

1) за площею та часом утворення тріщин у зразку-вливку (типу кільця), внутрішня порожнина якого формується стрижнем із суміші, податливість якої визначають;

2) за напруженнями, які виникають у виливках під час охолодження у формі.

Найбільш ефективні способи збільшення податливості сумішей:

1) добавки у суміш органічних речовин (деревна тирса, торф та ін.), які при нагріванні згорають або розпадаються;

2) зменшення кількості зв'язувального компонента у суміші;

3) зменшення ступеню ущільнення суміші;

4) використання органічних зв'язувальних компонентів у стрижневих сумішах замість неорганічних;

5) використання порожнистих або оболонкових стрижнів (замість суцільних).

11.4.2. Вибиваємість

Вибиваємість сумішей оцінюють за допомогою технологічної проби – виливка розмірами 200x120x50 мм, у якому залиті два циліндричних зразки із дослідної суміші. Зразки із виливка вибивають на спеціальній установці на базі лабораторного копра. Вибиваємість оцінюють за роботою вибивання даного зразка або за числом ударів, необхідних для його повного прошивання:

$$A = N \cdot m \cdot g \cdot h,$$

де A – робота вибивання зразка, Дж;

N – кількість ударів копра, витрачена на вибивання зразка;

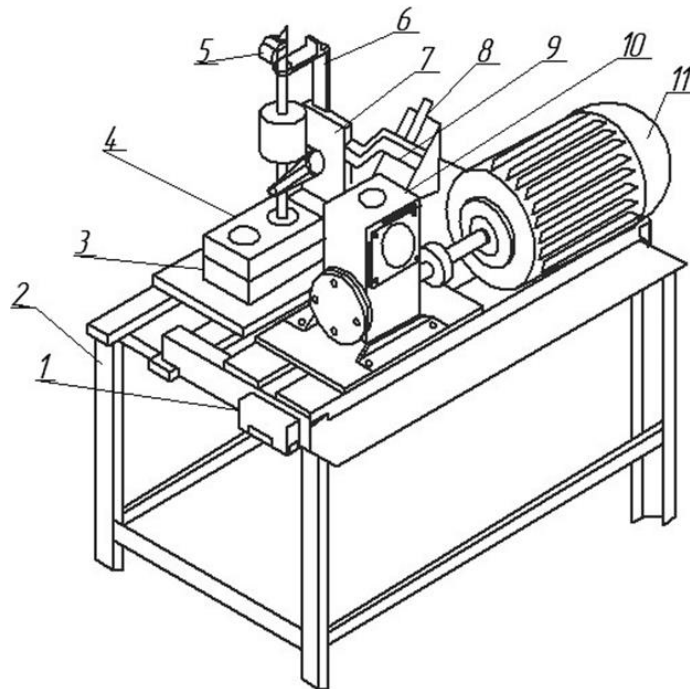
m – маса вантажу, $m = 6,35$ кг;

g – прискорення земного тяжіння, $g = 9,81$ м/с²;

h – висота падіння вантажу в копрі, $h = 0,05$ м.

Механізовану установку для визначення вибиваємості зображено на рис. 11.21.

Суміші з органічними ЗК мають відмінну вибиваємість (менше 10 Дж, зразки вибиваються декількома ударами копра). Неорганічні ЗК при нагріванні не розпадаються, тому суміші не втрачають міцності, і їхня вибиваємість завжди гірша. Для піщано-глинястих сумішей вона становить не менше 20 Дж. Для сумішей із рідким склом може досягати більше 1000 Дж, що означає практичну неможливість вибити стрижень із виливка.



1 – пульт керування; 2 – станина; 3 – підставка; 4 – технологічна проба; 5 – кінцевий вимикач; 6 – копер; 7 – ексцентрик; 8 – вилка; 9 – лічильник ударів; 10 – редуктор; 11 – електромотор

Рисунок 11.21 – Установка для визначення вибиваємості сумішей

11.5. Реологічні властивості

Реологія – це наука, яка встановлює зв'язок між силами, які діють на матеріальне тіло, і викликаними цими силами деформаціями.

Цей зв'язок описується реологічними рівняннями, які базуються на аксіомі реології: **кожний реальний матеріал має тільки йому притаманні**

властивості, які є комбінацією властивостей трьох ідеальних матеріалів – пружного, в'язкого та пластичного.

Моделлю пружного тіла (тіло Гука) є ідеальна пружина.

Моделлю в'язкого тіла (тіло Ньютона) є в'язка рідина в ідеальному циліндрі, в якому переміщується без зовнішнього тертя поршень з отворами.

Пластичне тіло (тіло Сен-Венана) зображується двома пластинами, відносний зсув яких відбувається, якщо накласти силу, яка дорівнює силі тертя. Це тіло не деформується, якщо в ньому діють напруження, менші за межу текучості. При досягненні межі текучості матеріал починає пластично текти (деформуватись) із швидкістю, яка дорівнює швидкості деформування. Після зняття навантаження пластична деформація припиняється, але тіло не повертається у початковий стан.

Для опису властивостей будь-якого тіла створюють реологічні моделі, які складаються з моделей ідеальних тіл, зібраних у певному сполученні.

Відомо, що для оцінки властивостей формувальних сумішей необхідно паралельно визначити багато взаємозв'язаних характеристик: міцність, текучість, формувальність тощо [6, 9]. Для їх вимірювання необхідно мати велику кількість приладів, а одержувані на них результати не завжди дають об'єктивну оцінку реальної поведінки сумішей за технологічних процесів, оскільки випробування проводять у заданих стандартних умовах.

Комплексно оцінити властивості формувальних сумішей за статичних і динамічних навантажень дозволяють методи реології.

Реологічна модель формувальної суміші залежить від сполучення окремих елементів, які моделюють пружні, в'язкі та пластичні властивості.

Дослідження у КПІ ім. І. Сікорського (В.П. Авдокушин) показали, що реологічні випробування формувальних сумішей дозволяють комплексно оцінити їх фізико-механічні характеристики у статичних і динамічних умовах навантаження і обчислити оптимальні режими ущільнення форм і стрижнів або склад сумішей для даного режиму ущільнення [6].

Так, пластичні самотвердні суміші (ПСС) можна умовно віднести до пластичних, або пластично-в'язких. Сухий пісок та плаковані піщано-смоляні суміші – до в'язких. Рідкорухомі самотвердні суміші (РСС) – до в'язко-пружних. Піщано-глинясті суміші – пружно-в'язко-пластичні.

Пружні властивості (оборотні) формувальної суміші є шкідливими, оскільки вони призводять до зміни порожнини форми після вилучення моделі, хоча величина деформацій набагато менша від пластичних (необоротних) – 0,5...1,0% проти 70...80%.

На основі аналізу переважної реологічної властивості суміші визначають спосіб її ущільнення. Наприклад, пластичні суміші добре ущільнюються

пресуванням або струшуванням; в'язкі – вібрацією; в'язко-пластичні придатні до ущільнення піскодувним або піскострільним методами.

☞ *Контрольні запитання до розділу 11:*

1. Наведіть класифікацію властивостей формувальних та стрижневих сумішей.
2. Охарактеризуйте фізико-механічні властивості сумішей.
3. Охарактеризуйте технологічні властивості сумішей.
4. Охарактеризуйте робочі властивості сумішей.
5. Які різновиди міцності формувальних та стрижневих сумішей визначають у ливарному виробництві?
6. Наведіть приклади технологічних зразків для контролю міцності сумішей, їх основні розміри та методику виготовлення.
7. Якими показниками міцності (у кПа або МПа) характеризуються суміші різного класу?
8. Якими параметрами характеризують поверхневу міцність форм і стрижнів? Які методики визначення цих параметрів?
9. Охарактеризуйте фактори, які впливають на газопроникність сумішей. Наведіть способи регулювання цієї властивості.
10. Наведіть методику визначення газопроникності сумішей.
11. Від чого залежить газотвірна здатність сумішей і яким чином вона впливає на якість виливків?
12. Наведіть приклади методів визначення газотвірної здатності сумішей.
13. Наведіть методики визначення вологості формувальних пісків і сумішей.
14. Поясніть вплив вологості піщано-глинястих сумішей на їх міцність та газопроникність.
15. Охарактеризуйте поняття текучості сумішей та наведіть методику її визначення. Які одиниці визначення цієї характеристики для сумішей різного класу?
16. Охарактеризуйте поняття ущільнювальності сумішей та наведіть методику її визначення.
17. Охарактеризуйте поняття формувальності сумішей та наведіть методику її визначення.
18. Охарактеризуйте поняття податливості сумішей та наведіть приклади методів її визначення.
19. Охарактеризуйте поняття вибиваємості сумішей та наведіть методику її визначення.
20. Охарактеризуйте поняття липкості та наведіть методи її визначення для формувальних і стрижневих сумішей.

ЛІТЕРАТУРА

1. Литейные формовочные материалы. Формовочные, стержневые смеси и покрытия: Справочник / [А. Н. Болдин, Н. И. Давыдов, С. С. Жуковский и др.]; Москва: Машиностроение, 2006. – 507 с.
2. Гнатуш В. А. Мировой рынок литья – повышательный тренд / В. А. Гнатуш // Нові матеріали та технології в машинобудуванні: матеріали Міжнародної наук.-техн. конференції / КПІ ім. І. Сікорського. – Київ: 2016. – С. 35 – 38.
3. Дорошенко С. П. Взаємодія піщаної форми з виливком / С. П. Дорошенко. – Київ: НМК ВО, 1991. – 76 с.
4. Лютий Р. В. Прошлое, настоящее и будущее науки в публикациях журнала «Литейное производство» / Р. В. Лютый, Г. И. Кошовник, В. Я. Жук // Литейное производство. – 2013. – №6. – С. 34 – 37; №7. – С. 37 – 40; №8. – С. 35 – 38.
5. Гнатуш В. А. Метали: Подорож у часі / В. А. Гнатуш. – Київ: 2019.
6. Формовочные материалы и смеси / [С. П. Дорошенко, В. П. Авдокушин, К. Русин, И. Мацашек]; Київ: Вища школа, 1980. – 416 с.
7. Дорошенко С. П. Наливная формовка / С. П. Дорошенко, К. І. Ващенко. – Київ: Вища школа, 1980. – 176 с.
8. Дорошенко С. П. Модельна оснастка для виробництва виливків у піщаних формах: Навчальний посібник / С. П. Дорошенко, Г. Є. Федоров. – Київ: Політехніка, 2003. – 112 с.
9. Дорошенко С. П. Формувальні суміші / С. П. Дорошенко. – Київ: ІЗМН, 1997. – 140 с.
10. Селиванов Ю. А. Процессы формообразования на основе стабилизированного кремнезёма / Ю. А. Селиванов, Л. А. Иванова. – Київ: Либідь, 1991. – 226 с.
11. Применение пиррофиллита в составах формовочных смесей / А. П. Макаревич, А. С. Кочешков, Р. В. Лютый, Н. Н. Федоров // Металл и литье Украины. – 2004. – №11–12. – С.32 – 35.
12. Курс месторождений полезных ископаемых / за заг. ред. П. М. Татарина, А. Е. Карякина. – Ленинград: ЛГУ, 1975. – 631 с.
13. Круглицкий Н. Н. Физико-химические основы регулирования свойств дисперсных глинистых минералов / Н. Н. Круглицкий. – Київ: Наукова думка, 1968. – 320 с.

14. Пащенко А. А. Вяжущие материалы. – 2-е изд. / А. А. Пащенко, В. П. Сербин, Е. А. Старчевская. – Київ: Вища школа, 1985. – 440 с.
15. Евтушенко Н. С. Исследование свойств регенерируемых смесей на основе ОФОС / Н. С. Евтушенко, О. И. Шинский, О. И. Пономаренко // Компрессорное и энергетическое машиностроение. – 2013. – № 4. – С. 48–51.
16. Григорьев А. В. Материалы для изготовления опочных и безопочных разовых литейных форм и стержней по ХТС-процессу / А. В. Григорьев // Литьё Украины. – 2008. – № 3. – С. 22–31.
17. Власов А. Т. Связующие для изготовления песчано-смоляных форм и стержней по ХТС-процессу / А. Т. Власов, С. С. Поляков // Литьё Украины. – 2007. – № 11. – С. 10–25.
18. Тищенко А. Связующие для холоднотвердеющих смесей / А. Тищенко, И. Юрков // Литьё Украины. – 2009. – № 6. – С. 33–37.
19. Кузнецов П. Б. Связующие для фуран-процесса (кислотное отверждение) / П. Б. Кузнецов // Литьё Украины. – 2009. – № 7. – С. 28–34.
20. Макаревич О. П. Виробництво виливків із спеціальних сталей / О. П. Макаревич, Г. Є. Федоров, Є. О. Платонов. – Київ: Видавництво НТУУ «КПІ», 2005. – 712 с.
21. Стальное лите: Монография / [Г. Е. Федоров, Е. А. Платонов, М. М. Ямшинский, Р. В. Лютий]; – Київ: ВПОЛ, 2013. – 896 с.
22. Жуковский С. С. Прочность литейной формы / С. С. Жуковский. – Москва: Машиностроение, 1989. – 288 с.
23. Никифоров С. А. Разработка нового состава силикатного связующего и самотвердеющих суспензий для изготовления оболочковых форм в литье по выплавляемым моделям: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.16.04 – ливарне виробництво / Никифоров Сергей Алексеевич; Челябинский гос. техн. ун-т. – Челябинск, 1997. – 24 с.
24. Юрченко О. В. Формувальні та стрижневі суміші з лужно-силікатними зв'язувальними, що тверднуть в контактi з нагрітою оснасткою: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.16.04 – ливарне виробництво / Юрченко Олег Васильович; НТУУ «КПІ». – Київ, 2000. – 24 с.
25. Судакас Л. Г. Фосфатные вяжущие системы / Л. Г. Судакас. – Санкт-Петербург: РИА «Квинтет», 2008. – 260 с.
26. Лютий Р. В., Кеуш Д. В. Вплив атомно-кристалічних характеристик на процеси синтезу фосфатних зв'язувальних компонентів / Р. В. Лютий, Д. В. Кеуш // Металл и литьё Украины. – 2015. – №10. – С.26–29.

27. Лютий Р. В. Отверждение стержневых смесей с ортофосфорной кислотой и алюмосодержащими соединениями / Р. В. Лютий // Литейное производство. – 2016. – №5. – С.13 – 17.

28. Илларионов И. Е. Разработка интенсивных технологий и оптимизация составов активированных песчано-глинистых и фосфатных смесей: Дис. д-ра техн. наук: 05.16.04 – литейное производство / Илларионов Илья Егорович. – Чебоксары, 1988. – 503 с.

29. Образование связующих композиций в формовочных смесях на основе ортофосфорной кислоты и солей металлов / Р. В. Лютий, И. М. Гурия, Д. В. Шаповалова, Д. В. Кеуш // Литейное производство. – 2013. – №5. – С. 16 – 19.

30. Стержневые смеси с новыми неорганическими связующими на основе ортофосфорной кислоты и солей щелочных металлов / Р. В. Лютий, И. М. Гурия, Д. В. Кеуш, В. С. Смольская // Литейное производство. – 2014. – №5. – С. 28 – 31.

31. Волженский Р. В. Минеральные вяжущие вещества: Учебник для вузов / Р. В. Волженский. – Москва: Стройиздат, 1986. – 464 с.

32. Иванов В. Н. Перспективы использования кремнезольного связующего / В. Н. Иванов, И. Н. Гагин // Литейное производство. – 2000. – №7. – С.42 – 43.

33. Евстигнеев А. И. Стержневая смесь с сульфатным связующим / А. И. Евстигнеев, Э. А. Дмитриев, В. А. Сайгушкина // Литейное производство. – 2014. – №8. – С.11 – 12.

34. Сварика А. А. Формовочные материалы и смеси: Справочник / А. А. Сварика. – К.: Техника, 1983. – 144 с.

35. Руководство по выбору формовочных и стержневых смесей и противопригарных красок для стального и чугунного литья / С. П. Дорошенко, В. Н. Дробязко. – Київ: 1976. – 62 с.

36. Ливарна гідраліка: Навчальний посібник / [В. М. Дробязко, А. М. Фесенко, Р. В. Лютий, М. А. Фесенко]; Краматорськ: ДДМА, 2010. – 108 с.

37. Казанцев Е. И. Промышленные печи: Справочное руководство для расчетов и проектирования / Е. И. Казанцев. – Москва: Metallurgiya, 1975.

38. Медведев Я. И. Технологические испытания формовочных материалов / Я. И. Медведев, И. В. Валисовский. – Москва: Машиностроение, 1973. – 310 с.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А. СКЛАД І ВЛАСТИВОСТІ СУМІШЕЙ ІЗ ФОРМУВАЛЬНИМИ ГЛИНАМИ

Таблиця А.1 – Склад і властивості піщано-бентонітових сумішей для формовки по-сирому чавунних виливків

Суміш і спосіб формоутворення	Масова група виливків	Склад формувальної суміші, %					Властивості суміші			
		оборотна суміш	кварцовий пісок	бентоніт	мелене вугілля або замітник	добавки	вологість, %	міцність при стисканні, МПа	газопро-никність, од	вміст активного бентоніту, %
Єдина для автоматичних ліній безопочної формовки	до 10 кг	93...98	2,5...6,0	0,2...1,0	0,1...0,5	0,02...0,06 крохмальні	3,2...4,0	0,17...0,21	>100	7...8
Єдина для автоматичних пресових ліній	дрібні	92...98	3...5	0,3...0,7	0,2...0,5	0,02...0,04 крохмальні	3,1...3,5	0,09...0,14	>100	6...7
	середні	88...93	6...10	0,5...1,0	0,3...0,7	0,01...0,03 ПАР	3,2...3,8	0,12...0,19	>120	6...7
Єдина для машинної формовки струшуванням з допресовкою	дрібні	93...94	5...6	0,2...0,4	0,1...0,3	-	3,4...3,8	0,05...0,07	>100	4,0...5,5
	середні	90...95	3...8	0,2...0,6	0,2...0,4	0,1...0,5 мазут 0,01...0,05 крохмальні	3,4...3,8	0,06...0,09	>100	4,5...6,0
Облицювальна для машинної формовки струшуванням з допресовкою	середні	40...75	20...50	4,0...8,0	1,0...2,0	1,0...1,5 ЛСТ	4,0...5,0	0,04...0,06	>130	4,0...5,5
Наповнювальна для машинної формовки	середні	95...100	0...3	-	-	-	3,5...4,5	0,03...0,05	>130	2,0...4,0
Єдина для імпульсної та інших динамічних способів формовки	дрібні	85...90	5...10	4,0...7,0	0,5...1,0	0,02...0,06 крохмальні	3,0...3,5	0,18...0,22	>95	8,5...9,5

Таблиця А.2 – Склад і властивості піщано-бентонітових сумішей для формовки по-сирому сталевих виливків

Суміш і спосіб формоутворення	Масова група виливків	Склад формувальної суміші, %				Властивості суміші			
		оборотна суміш	кварцовий пісок	бентоніт	добавки	вологість, %	міцність при стисканні, МПа	газопро-никність, од	вміст активного бентоніту, %
Єдина для автоматичних ліній безопочної формовки	До 10 кг	92...95	5...8	0,5...1,5	0,05...0,10 крохмальні	3,1...3,5	0,17...0,21	>100	7,0...8,0
Єдина для автоматичних пресових ліній	дрібні	90...95	3...7	0,4...0,8	0,03...0,10 крохмальні; 0,03...0,07 ПАР	3,0...3,5	0,10...0,15	>120	5,5...7,0
Єдина для машинної формовки струшуванням з допресовкою	дрібні	90...95	3...7	0,3...0,5	0,02...0,04 крохмальні	3,3...3,7	0,07...0,09	>100	4,5...5,5
Облицювальна для машинної формовки струшуванням з допресовкою	дрібні	40...80	16...53	6...10	0,01..0,03 ПАР; 5...10% пилоподіб. кварц	3,3...3,7	0,04...0,06	>100	4,5...5,5
	середні	40...60	33...51	10...13	1,0...1,5 ЛСТ	3,5...4,0	0,05...0,07	>130	5,5...7,0
Наповнювальна для машинної формовки	дрібні, середні	95...100	2...5	-	-	3,5...4,5	0,03...0,05	>130	3,0...4,0
Єдина для імпульсної та інших динамічних способів формовки	дрібні	85...90	5...10	6,0...8,0	0,01..0,03 ПАР	3,0...3,5	0,18...0,22	>95	8,5...9,5

Таблиця А.3 – Склад і властивості піщано-глинястих сумішей для формовки по-сухому

Масова група виливків	Склад формувальної суміші, %					Властивості суміші			
	оборотна суміш	кварцовий пісок	каолінова (полі-мінеральна) глина	добавки		вологість, %	міцність при стисканні в сирому стані, МПа	міцність при розриванні у сухому стані, МПа	газопро-никність, од
				протипригарні	технологічні				
Середні чавунні	30...90	10...70	4...9	3,0...5,0 вугілля, кокс; 1,5...3,0 ДП	3,0...5,0 ошурки	5,0...8,0	0,03...0,06	0,08...0,12	>50
Крупні чавунні	40...70	30...60	6...10	3,0...5,0 вугілля, кокс	3,0...5,0 ошурки, 2...4 ЛСТ	7,0...9,0	0,05...0,07	0,10...0,15	>60
Середні сталеві	40...60	40...60	5...10	4,0...5,0 азбест	0,5...2,0 ЛСТ	5,0...7,0	0,05...0,07	0,10...0,15	70...100
Крупні сталеві	20...50	40...60	8...15	4,0...5,0 азбест	1,5...3,0 ЛСТ	5,0...8,0	0,05...0,08	0,15...0,20	100...120

Таблиця А.4 – Склад і властивості сумішей для виготовлення виливків із сплавів кольорових металів

Тип та призначення суміші	Склад формувальної суміші, %				Властивості суміші		
	оборотна суміш	пісний або жирний пісок	глина	добавки	вологість, %	міцність при стисканні в сирому стані, МПа	газопро-никність, од
Єдина для алюмінієвого литва	90...97	3...10	-	-	5,0...6,0	0,08...0,12	30...50
Облицювальна для алюмінієвого литва	-	95...97	Бентонітова 3...5	Рідке скло 5,0...6,0; 10...20%-розчин NaOH 0,5...1,0	3,0...4,5	0,05...0,06	120...150
Єдина для магнієвого литва	90...95	5...10	-	Присадка ВМ* 4,0...7,0	4,0...7,0	0,04...0,07	35...60
Для формовки по-сирому при виготовленні виливків із мідних сплавів	85...90	6...10	Бентонітова 4...5	Мазут 1,0...1,5	5,0...6,0	0,03...0,05	30...50
Для формовки по-сухому при виготовленні виливків із мідних сплавів	60...70	16...28	Каолінова 12...14	-	8,0...11,0	0,04...0,06; в сухому – 0,08...0,12	30...50

Примітка. ВМ – складається із карбаміду $[\text{CO}(\text{NH}_2)_2]$ – 58...62%; борної кислоти H_3BO_3 – 13...17%; нефелінового коагулянту $[\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}]$ – 15...19%.

ДОДАТОК Б. СКЛАД І ВЛАСТИВОСТІ СУМІШЕЙ ІЗ СИНТЕТИЧНИМИ СМОЛАМИ

Таблиця Б.1 – Склад і властивості холоднотвердних сумішей з синтетичними смолами

Клас смоли	Марка	Вміст компонентів, %		Властивості							Призначення (форми, стрижні)	Сплави
		смоли	затверджувача	міцність при розриванні, МПа, не менше, через			обсаємість, %, не більше	газотвірність, см ³ /г	живучість, хв	тривалість зміцнення, хв		
				після вилуч. з оснащення	1 год	24 год						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Карбамідні	КФ-Ж	3,0...3,5	0,6...1,2 H ₃ PO ₄	–	0,1	0,4...0,6	0,3	≥25	4...5	30	Стрижні	Кольорові сплави
		3,0...5,0	0,3...0,6 FeCl ₃	–	0,15	0,5...0,6	0,3	≥25	3...4	20...25	Стрижні, середні форми	
Карбамідо-фуранові	БС-40, KOOLKAT, СHEM-REZ, KALTHARZ	1,6...1,7	1,0...1,3 H ₃ PO ₄	–	0,2	0,7...0,8	0,06	16	2...3	10	Середні стрижні	Кольорові сплави, сірий чавун
		1,8...2,0	1,1...1,5 H ₃ PO ₄	–	0,2	0,7...1,0	0,06	20	1...2	6...7	Дрібні стрижні	
		1,8...2,0	0,8...1,0 H ₃ PO ₄	–	0,2	0,8...1,0	0,06	20	2,5...3,5	10	Середні стрижні	
		1,8...2,0	0,6...0,8 H ₃ PO ₄	–	0,2	0,8...1,0	0,06	20	5...10	40	Крупні стрижні	
		1,3...1,5	0,4...0,9 H ₃ PO ₄	–	0,15	0,4...0,5	0,3	14	5...8	20	Середні і крупні форми	
Карбамідо-фенол-формальдегідно-фуранові	КФ-65С, КСФ-1, Фуритол	1,0...1,2	0,6...0,8 H ₃ PO ₄	–	0,2	1,0...1,4	0,1	12	6...10	30	Крупні стрижні	Сірий і високоміцний чавун
		1,0...1,2	1,1...1,6 H ₃ PO ₄	–	0,3	0,8...1,2	0,1	12	1,5...2,5	6...10	Середні і крупні стрижні	

Продовження табл. 1												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Феноло-фуранові	ФФ-65, FUROTEC, KALTHARZ	1,7...1,8	0,55...0,60 БСК	–	0,6	1,5...1,8	0,1	15	5...6	40	Стрижні, форми	Чавун, сталь
	ФФ-65С; РЕЗОРФОРМ MAGNASET; FURECOL	1,0...1,2	0,3...0,5 БСК	–	0,9	1,3...1,5	0,1	10	5...6	40	Стрижні, форми	
Фенол- формальдегідні	ОФ-1 FOSET	2,0...2,2	1,0...1,2 БСК	–	0,8*	2,5*	0,2	16	5...6	40	Стрижні, форми	Чавун, сталь
	ОФ-1 силанізована	1,3...1,4	1,1...1,3 БСК	–	1,4*	5,0*	0,1	12	4...5	20	Стрижні, форми	Чавун, сталь
	СФ-3042	2,0...2,5	0,9...1,6 БСК	–	0,2*	0,7*	0,2	16	4...7	40	Стрижні, форми	Чавун, сталь
Поліфуранові	ПФС; ECOLOTEC CSR9500	2,0...2,5	0,6...0,9 БСК	–	0,3*	2,5*	0,2	10	5...15	60	Стрижні, форми	Чавун, сталь
Фенол- формальдегідні ощелочені	ФСМ-А; Синотерм; Алкасет	1,8...2,5	0,35...0,50 ефір	0,25	0,55... 0,90	1,0...1,5	0,2	12	5...10	13...28	Стрижні, форми	Кольорові сплави, чавун
	Resan I 8313	1,5...2,5	0,03...0,07 метилформіат	1,9	2,0	2,2	0,1	12	240	10...30 с	Стрижні, форми	Кольорові сплави, чавун
	Карбофен	2,5...3,0	CO ₂	1,8*	2,4... 3,0*	3,0... 3,5*	0,2	15	240... 360	1...4	Стрижні, форми	Чавун, сталь
Поліефірні	PEP-SET	1,2...1,6	0,03...0,07 амін	2,1	2,5	2,6	0,03	10	1...18	1...25	Стрижні, форми	Кольорові сплави, чавун
	ISOCURE	1,3...1,6	0,10...0,15 амін	1,4	1,8	2,0	0,05	10	60...1 80	1...15 с	Стрижні	Кольорові сплави, чавун, сталь
	Газхарц; Резамін	1,2...1,6	0,05...0,08 амін	1,8	3,8	5,0	–	–	–	1...15 с	Стрижні	
Алкідні	LINOCURE	1,0...2,0	0,03...0,10 ізоціанат	–	0,5*	5,0*	0,5	5	10...3 0	30...180	Стрижні, форми	Чавун, сталь
Акрилові, епоксиакрилові	ISOSET	1,0...1,2	SO ₂	2,0	3,0	4,0	0,05	12		0,5...5,0 с	Стрижні	Чавун, сталь

Примітка. *Міцність при стисканні.

Таблиця Б.2 – Склад і властивості сумішей з синтетичними смолами для зміцнення в гарячому оснащенні

Наповнювач	Зв'язувальний компонент		Добавки		Міцність при розриванні, МПа
	марка	вміст, %	назва	вміст, %	
Пісок кварцовий	СФП-011Л	4,5...6,0	ацетон	2,5...3,0	2,0...3,0
			борна кислота	0,5	
Пісок кварцовий	СФП-011Л	4,0...6,0	вода	3,0...4,0	1,7...2,0
			сульфонол (10%-розчин)	0,1	
Пісок кварцовий	СФ-015	3,5...4,0	уротропін	0,4	4,5...5,0
			стеарат кальцію	0,1	
Пісок кварцовий	СФ-015	4,5...5,0	уротропін	0,5	3,5...4,0
			борна кислота	0,06	
			водно-воскова дисперсія	0,1	
Пісок кварцовий	Фенолоспирт	3,5...4,0	водний розчин FeCl ₃ густиною 1470 кг/м ³	0,5	4,0...4,5
Пісок кварцовий	Фенолоспирт	2,5...3,0	карбамід	0,5	2,3...2,8
Пісок кварцовий	ФФ-1С	3,0...3,5	НCl (10%-водний розчин)	0,3	1,0...1,5
			Fe ₂ O ₃	0,7	
Пісок кварцовий	КФ-90	2,5...3,0	ЛСТ	0,7	2,0...2,8
			Fe ₂ O ₃	0,7	
Хромомагnezит	СФП-011Л	6,0...7,0	ацетон	2,5...3,0	0,5...0,6
			борна кислота	0,5	
Цирконовий концентрат	СФП-011Л	2,0...3,0	ацетон	2,5...3,0	2,5...3,5
Пісок кварцовий	Полівініловий спирт (10%-й водний розчин)	5,0...6,0	NH ₄ Cl або H ₃ BO ₃	0,05...0,12	0,5...1,0

ДОДАТОК В. СКЛАД І ВЛАСТИВОСТІ СУМІШЕЙ ІЗ РІДКИМ СКЛОМ

Таблиця В.1 – Склад і властивості сумішей з рідким скло

Тип суміші	Вміст компонентів, %				Властивості						
	рідке скло	затверджувач	добавки	вода	текучість, мм	стійкість піни, хв	міцність при стисканні, МПа		газопроникність, од.		живучість, хв
							1 год	24 год	1 год	24 год	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
РСС	6...7	Ферохромовий шлак 3...5	ПАР – контакт Петрова 0,5, милонафт 0,15	1,5...2,0	120...130	3...20	0,2...0,5	0,8...1,3	200...250	400...500	-
РСС	6...7	Ферохромовий шлак 3...5	ПАР – РАС або змочувач НБ 0,10...0,15	1,5...2,0	90...110	3...20	0,2...0,5	0,8...1,3	70...80	300...500	-
РСС	6...7	Ферохромовий шлак 3...5	ПАР – РАС або змочувач НБ 0,10 і НЧК 0,01...0,07	1,5...2,0	115...120	7...8	0,2...0,3	0,5...1,2	200...300	500...800	-
РСС	7...8	Ферохромовий шлак 4...6	ПАР- КЧНР 0,15; кероген 1,5...2,0	1,5...2,0	90...110	6...9	0,1...0,2	0,3...0,5	100...120	150...170	-
ПСС	4...5	Ферохромовий шлак 0,8...1,2	вугілля 2,5, глина 5	3,5...4,0	-	-	0,04...0,05	0,4...0,5	-	100...150	50...80
ПСС	4...5	Ферохромовий шлак 2,5...3,0	вугілля 2,5, глина 5	3,5...4,0	-	-	0,07...0,09	0,4...0,5	-	100...150	15...20
ПСС	6...7	Ферохромовий шлак 1...2	-	3,6...4,5	-	-	0,18...0,35	0,9...1,2	-	100...150	40...50
ПСС	3,0	Пропілен-карбонат 0,3	-	-	-	-	0,85	2,3	-	-	6...7
ПСС	3,5	Пропілен-карбонат 0,35	-	-	-	-	1,24	2,9	-	-	6...7
ПСС	4,0	Пропілен-карбонат 0,4	-	-	-	-	1,40	3,80	-	-	6...7

Продовження табл. В.1											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ПСС	2,75	Пропілен- карбонат + триацетин 0,25	-	-	-	-	0,5...0,6	2,5...3,0	-	-	15...20
ПСС	3,5	Діацетин 0,4	-	-	-	-	0,07... 0,12	5,0...6,0	-	-	35...40
ПСС	3,5	Діацетин 0,4	-	-	-	-	0,8...1,0	3,0...4,0	-	-	7...9
ПСС	5...6	CO ₂	Глина 3...5	-	-	-	0,6...0,8	1,2...1,8	120...150	150...200	-
ПСС	5...6	CO ₂	Для покращення вибиваємості 1...3	-	-	-	0,5...0,8	1,2...1,8	120...150	150...200	-
Для теплового зміцнення	5...7	250 °C	Бентоніт 4...5	-	-	-	-	11,0...13,0	-	100...130	-

ДОДАТОК Г. СКЛАД І ВЛАСТИВОСТІ СУМІШЕЙ ІЗ ЛІГНОСУЛЬФОНАТАМИ

Таблиця Г.1 – Склад і властивості сумішей з технічними лігносульфонатами

Тип суміші	Вміст компонентів, %				Температура зміцнення, °С	Властивості			
	оборотна суміш	кварцовий пісок	добавки	ЛСТ		міцність при стисканні, МПа		текучість, мм	газопроникність, од.
						через 1 год	через 24 год		
Для теплового зміцнення	80...90	6...10	глина 2...3	4...6	160...180	0,5...0,6 (на розрив)	-	-	120...150
Для теплового зміцнення	80...90	6...10	глина 2...3; пиловидний кварц 4...6	4...6	160...180	0,6...0,8 (на розрив)	-	-	120...150
РСС	80...90	6...10	CrO ₃ 0,5...0,6; вода 3,0...3,5; КЧНР 0,3...0,5	4...6	-	0,19...0,22	0,30...0,40	95...105	180...300
РСС	80...90	6...10	ВРВХ* 0,7; вода 3,0...3,5; КЧНР 0,5...0,6	4...6	-	0,26...0,28	0,40...0,45	95...105	180...300
РСС	80...90	6...10	CrO ₃ 0,3...0,4; CuSO ₄ 0,2...0,3; глина 2...3; РАС 0,5; вода 3,0...3,5	4...6	-	0,25...0,28	1,0...1,1	105...110	180...300
РСС	80...90	6...10	Na ₂ Cr ₂ O ₇ 0,4...0,5; CuSO ₄ 0,4...0,5; глина 2...3; РАС 0,5; вода 3,0...3,5	4...6	-	0,22...0,25	1,0...1,2	105...110	180...300
РСС	80...90	6...10	Персульфат амонію 0,6...0,7; CuSO ₄ 0,2; РАС 0,5; вода 3,0...3,5	4...6	-	0,18...0,22	1,2...1,5	105...110	180...300

Примітка. * Відпрацьований розчин ванн хромування

ДОДАТОК Д. СКЛАД І ВЛАСТИВОСТІ СУМІШЕЙ ІЗ ФОСФАТНИМИ ЗВ'ЯЗУВАЛЬНИМИ КОМПОНЕНТАМИ

Таблиця Д.1 – Склад і властивості металофосфатних ХТС для виготовлення форм і стрижнів

Тип суміші	Вміст компонентів, %			Живучість, хв.	Властивості			
	кварцовий пісок	затверджувач	Н ₃ Р ₀ ₄ , або АФС, або АХФС		міцність при стисканні, МПа		обсипаємість через 24 год, %	газотвірність, см ³ /г
					через 1 год	через 24 год		
Залізофосфатна	85...89	Окалина залізна 6...8	5...7	10	2,0...2,5	3,0...3,3	0,25...0,35	≤ 10
Залізофосфатна	92,5...94,5	Окалина залізна 2...3	3,5...4,5	15...20	0,3...0,4	3,0...3,5	0,15...0,25	≤ 7
Залізофосфатна	84...88	Крокус 3,6...4,8	7,2...9,6	7...15	0,15...0,40	2,0...2,6	≤ 0,01	≤ 14
Залізофосфатна	91...93	Трифолін 4...5	3...4	20	1,2...1,6	3,5...4,0	0,10...0,20	≤ 7
Магнійфосфатна	Циркон 96,5...97,0	Магнезит плавлений 1,1...1,3	2,0...2,2	30...35	0,7...0,8	5,0...5,6	0,05...0,15	≤ 6
Магнійфосфатна	92...93	Магнезит металургійний 3...4	3,5...4,5	8...10	0,7...0,9	2,0...2,5	0,05...0,15	≤ 8
Магнійфосфатна	92...93	Магнезит металургійний 2,0...2,5	5,0...5,5	14...16	1,0...1,2	3,0...3,5	0,05...0,15	≤ 10
Магнійфосфатна	85...88	Хромомагнезит 8...10	4...5	10...15	2,5...3,0	5,0...5,5	0,05...0,15	≤ 10

ДОДАТОК Е. СКЛАД І ВЛАСТИВОСТІ СУМІШЕЙ ІЗ ЦЕМЕНТАМИ

Таблиця Е.1 – Склад і властивості піщано-цементних сумішей

Тип суміші	Вміст компонентів, %					Властивості				
	оборотна суміш	кварцовий пісок	добавки	цемент	вода	міцність при стисканні, МПа		текучість, мм	живучість, хв	газопроникність, од.
						через 3 год	через 24 год			
РСС	72...84	5...10	Патока 3,0; ПАР 0,3	ПЦ* 10...12	2,5...3,0	0,08...0,15	1,5...1,8	115...120	10...20	150...200
ПСС	72...82	5...10	Патока 2,5...3,0	ПЦ 8...12	2,5...3,0	0,015...0,02	2,0...2,5	-	90...180	80...110
ПСС	82...84	5...10	Водорозчинні цукри 3,7...3,8	ПЦ 3,8...4,0	-	0,03...0,05	2,5...3,0	-	80...100	90...120
ПСС	78...84	5...10	Водорозчинні цукри 3,5...4,0	ПЦ 7...8	-	0,7...1,0	3,5...4,0	-	30...40	80...110
ПСС	78...85	5...10	CaCl ₂ 0,4...0,6	ПЦ 10...12	7,0...8,0	0,05...0,07	1,0...1,2	-	40...60	80...110
ПСС	81...88	5...10	ЛСТ 0,4...0,5	ГЦ 4...5	3,0...4,0	0,4...0,7	1,5...1,8	-	20...40	100...150

Примітка: ПЦ – портландцемент; ГЦ – глиноземистий цемент

АЛФАВИТНИЙ ПОКАЗЧИК

A		
Alpha-Set-процес	81	Вугільний пек
		128
B		Г
Beta-Set-процес	82	Газова пористість
		25
F		Газові дефекти.....
Free-Radical-процес.....	84	50, 83, 180
Furan-процес	85	Газові дефекти.....
		25
L		Газові раковини
Linocure-процес.....	80	25
		Газопроникність...25, 45, 56, 115, 125, 129, 140, 177, 178, 182,
R		196, 208, 221, 222, 223, 224, 227, 228, 240, 251, 253, 255
Resol-CO ₂ -процес.....	82	Газопроникність .9, 43, 72, 88, 96, 100, 105, 108, 110, 112, 115,
		117, 119, 177, 221, 222, 223, 228
S		Газотвірна здатність.....
SO ₂ -процес	83	9, 153, 177, 225
		Газотвірність.....
A		56, 80, 83, 108, 140, 177, 248, 254
Адгезійний зв'язок	226	Гаряче плакування.....
Адгезія.....	55	87
Азбест.....	127, 128, 136, 247	Гелеутворення.....
Активация	64	59, 125
Активна глина.....	61, 122	Гігроскопічність ..9, 56, 72, 88, 96, 100, 105, 108, 110, 112, 115,
Алюмінат натрію	6, 57, 120	117, 119, 152, 235, 236
		Гідравлічна регенерація
Б		8, 200, 201
Бензолсульфокислота	76	Гідравлічний удар
Бентонітові глини	17, 64, 66, 123	159
Бітум	128, 133	Гідратація.....
Бітуми.....	6, 119	59, 111, 125
Боксит.....	128, 136	Гідрол.....
БСК.....	75, 76, 85, 126, 249	109
		Гідрофільність
В		62
Вакуумно-плівкові форми	27	Гіпс
Вентиляційні канали	182	57, 113, 114, 116, 124, 198, 205, 207
Вермікуліт	128	Гіпсо-кремнеземисті суміші
Вибиваємість	25, 40, 56, 61, 79, 84, 105, 125, 128, 156, 218,	207
219, 238		Глина.....
Вибиваємість	9, 72, 88, 96, 100, 105, 108, 110, 112, 115, 117,	32, 33, 59, 70, 131, 132, 133, 134, 155, 204, 252
119, 162, 237		Глиноземистий цемент
Виготовлення форм .	17, 24, 26, 32, 90, 116, 123, 130, 208, 254	112
Виливок.....	10, 171	Глиняста складова.....
Випор	177	37, 38, 39
Відпрацьована суміш	195	Глиняста суспензія
Вільна волога.....	65, 176	205
Властивості суміші.....	32, 41, 84, 129, 239	Гліцерин.....
Внутрішні напруження.....	161, 236	99, 117, 128
Вогнетривкі наповнювачі	5, 32, 48	Гранулометричний склад.....
Вогнетривкість..	32, 33, 40, 41, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 56, 59,	45
61, 70, 140, 167, 184, 193		Графіт
Вогнетривкість.....	72, 88, 96, 100, 105, 108, 110, 112, 115, 117,	34, 53, 96, 130, 132, 137, 140, 141, 157, 190
119, 167		Графіт
Водні фарби	139, 142, 152	53, 130, 134, 141, 146, 147, 149, 155
Вологість	9, 40, 68, 226, 227	Густина фарб
		149
		Д
		Декстрин.....
		109, 131, 132, 134, 146, 155
		Дерев'яна тирса
		127
		Деревний пек
		128
		Дефект конфігурації.....
		160
		Динас
		49
		Дистен-силіманіт.....
		51, 146, 147, 149
		Добавки
		7, 32, 125, 134, 137, 140, 250
		Довговічність.....
		9, 56, 236
		Домішки.....
		32, 40, 70
		Допоміжні матеріали.....
		7, 32, 130, 131
		Е
		Екзотермічні суміші
		133, 134
		Екструзійний крохмаловмісний реагент
		127
		Екструзійний крохмаловмісний реагент
		110
		Етилсилікат
		56, 76, 116, 117, 124, 193, 198
		Етилсилікат
		6, 74, 116
		Є
		Єдині формувальні суміші.....
		208
		Ж
		Живучість.....
		83, 232, 233, 254
		Жирні піски.....
		39

З

Залишкова міцність.....	218, 219
Заморожені форми.....	19, 27
Затверджувачі	91, 93, 125, 126, 157, 207
Збагачення.....	35
Зв'язувальний компонент	55, 57, 125, 139, 250
Зв'язувальні компоненти.....	7, 32, 57, 134, 141, 205
Зерновий склад	35, 45
Зерновий склад.....	222
ЗК 41, 42, 55, 56, 57, 59, 71, 72, 73, 79, 82, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 93, 96, 97, 99, 100, 101, 102, 103, 105, 106, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 125, 126, 129, 138, 142, 144, 147, 149, 196, 197, 198, 199, 200, 201, 203, 205, 206, 207, 209, 218, 219, 221, 223, 230, 234, 235, 236, 238	
Змішувачі	204, 206, 207
Зона конденсації води	168

І

Ізопропіловий спирт	127
Іонний обмін.....	63

К

Каолініт	60
Каолінові та полімінеральні глини	5, 69
Карбамід.....	99, 128, 250
Карбамід.....	73, 75, 86
Кварц.....	34, 35, 44, 47, 48, 49, 52, 99, 103, 116, 117, 137, 138, 140, 141, 174, 175, 191, 246, 253
Кварцовий пісок ..	17, 38, 49, 135, 136, 164, 245, 246, 247, 253, 254, 255
Кварцові піски	37
Керамічні форми	26, 28, 117
Кіаніт.....	51
Когезійні зв'язки.....	227
Когезія.....	55
Коефіцієнт однорідності	38, 46
Колоїдальність.....	68, 69, 70
Корунд	34, 52, 117, 128, 137, 138, 140, 141
Кремнезем.....	35, 47, 89, 90
Кремнезоль	6, 58, 120
Кристалічна ґратка	63
Кристалогідратна вода	65, 95, 176
Кристобаліт.....	49
Крохмаліт.....	110

Л

Легкоплавкі домішки.....	185
Ливарна форма	10
Ливарне виробництво	10, 20
Ливарні клеї	131
Липкість.....	9, 234
Литво	13
Лігносульфонати технічні.....	58, 97
Лікоподій	130
Лінійна усадка	162
ЛСТ	56, 58, 86, 97, 98, 99, 100, 111, 125, 126, 127, 128, 131, 132, 134, 135, 141, 142, 144, 145, 146, 155, 198, 199, 205, 235, 245, 246, 247, 250, 253, 255

М

Магnezит.....	50, 61, 254
---------------	-------------

Магnezитові формувальні суміші	157
Мазут	128, 176, 190, 245
Маршаліт	48
Масла.....	6, 58, 106, 198
Механічна регенерація.....	8, 198
Міжшарова відстань	63
Міцність зчеплення.....	148, 152
Міцність після затвердіння.....	217
міцність суміші ...	33, 40, 41, 55, 64, 99, 109, 119, 128, 162, 163, 168, 170, 211, 227
Міцність суміші	211
Міцність у зоні конденсації	219
Міцність у нагрітому стані	218
Міцність у сирому стані	212
Міцність у сухому стані.....	215
Міцність форми.....	25, 56, 80, 110, 148, 162, 219
Модель	24, 28, 29, 235
Модельний комплект.....	24
Модифікаційні перетворення.....	48, 174
Модуль рідкого скла.....	88, 89
Монтморилоніт.....	60, 65
Муліт	52

Н

Набухання.....	62
Напівпостійні форми.....	25
Наповнювальна суміш	208

О

Облицювальні суміші	156
Облицювальні суміші	208
Оболонкові форми.....	19, 26, 91
Оборотна суміш	195
Обсипаємість.....	220
Оксид берилію	53
Оксид цирконію	52
Оксинітрат алюмінію	121
Оксинітрат хрому	121
Оксихлорид алюмінію	121
Олівін	50
Олії	6, 106, 107, 108
Осадкові породи.....	34

П

ПАР 28, 29, 91, 115, 129, 130, 144, 145, 207, 234, 245, 246, 251, 255	
Патока (меляса).....	109
Пеки	6, 58, 119
Перетворення кварцу	48, 54, 196, 204
Пилоподібні наповнювачі	34
Питома міцність.....	55, 56, 72, 88, 96, 100, 105, 108, 110, 112, 115, 117, 119
Питома поверхня	42, 53
Питома теплоємність.....	165
Піноутворювачі	129
Пірофіліт	103, 157
Пірофіліт	51
Пісні піски	38, 39
Піщана раковина.....	25, 170
Піщано-глинясті форми	17, 26
Плакована суміш.....	207
Пластичні суміші	28, 96, 239
Пластичність	9, 71, 229, 230
Пневматична регенерація	8, 199, 200

Подутість.....	160, 161
Поверхнева міцність.....	9, 212, 220
Поверхневі дефекти.....	25, 169
Податливість.....	9, 25, 56, 72, 76, 80, 82, 84, 88, 96, 100, 105, 108, 110, 112, 115, 117, 119, 161, 218, 236, 237
Покривальна здатність.....	151
Полівінілбутираль.....	7, 58, 122, 147
Полівініловий спирт.....	6, 58, 76, 87, 205, 250
Поліконденсація.....	58, 125
Полімеризація.....	58
Поліморфні перетворення.....	32, 49, 175
Полісахариди.....	6, 58, 109
Портландцемент.....	111
Постійні форми.....	26
Пригар.....	25, 40, 144, 174, 186, 187, 188, 189, 191, 193, 194
Природні суміші.....	209
Протипригарні пасти.....	7, 138, 155
Протипригарні припили.....	137
Протипригарні фарби.....	7, 138, 147
ПСС.....	26, 91, 156, 207, 212, 239, 251, 252, 255
Пульвербакеліт.....	128
Пульверизація.....	148

Р

Рер-Set-процес.....	79
Разові форми.....	10, 25
Регенерат.....	195
Регенерація.....	21, 197, 198
Реологічні властивості.....	9, 238
Рідке склоб, 57, 88, 125, 131, 133, 134, 146, 147, 155, 198, 205, 247	
Рідкорухомі суміші.....	28
Робочий шар форми.....	182
Розділові покриття.....	130
РСС.....	19, 20, 26, 28, 91, 99, 100, 115, 128, 129, 130, 156, 207, 212, 219, 233, 239, 251, 253, 255
Рутил.....	52

С

Cold-Vox-Amin-процес.....	80
Самотвердні фарби.....	139, 142
Седиментаційна стійкість.....	150
Сепарація сумішей.....	8, 201
Середній розмір зерна.....	38, 46
Силани.....	127
Синтетичні смоли.....	6, 58, 73, 75
Синтетичні суміші.....	209
Складні ефіри.....	91, 92, 93
Солекерамічні зв'язувальні системи.....	6, 58, 118
Способи регенерації.....	11
Случений перліт.....	128, 136
Стабілізатори.....	144, 150
Ставроліт.....	50
Статичне напруження зсуву.....	144, 150
Стрижень.....	24, 153
Стрижневий ящик.....	24, 118, 207, 215, 233
Ступінь ущільнення.....	222, 231
Сульфати.....	7, 57, 121
Суміш.....	27, 28, 29, 55, 67, 122, 172, 173, 177, 198, 200, 208, 212, 232, 245, 246

Т

Тальк.....	53, 131, 132, 133, 141, 146, 147, 149, 155
Текучість.....	9, 95, 230, 231, 233
Температуропровідність.....	166
Теплоакумулявальна здатність.....	167
Тепловий удар.....	164
Теплоізоляційні суміші.....	135
Теплопровідність.....	165
Теплофізичні властивості.....	164, 175
Термічна регенерація.....	8, 201
Терморективні форми.....	27
Технологічні добавки.....	7, 145
Товстостінні форми.....	26
Тонкостінні форми.....	26
Торф.....	119, 128, 190, 237
Тридиміт.....	47, 48, 49, 174
Триполіфосфат натрію.....	128
Тріщини.....	25, 63, 161, 168, 169, 206, 236

У

Ужимина.....	169, 175
Умовна в'язкість.....	150
Ущільнювальність.....	231, 232

Ф

Формальдегід.....	73, 75, 76, 177
Формувальний пісок.....	32
Формувальні глини.....	5, 59, 60, 176, 196, 198
Формувальні матеріали.....	33, 158, 208
Формувальні суміші.....	71, 105, 208, 219, 241
Формувальність.....	232
Фосфатні зв'язувальні компоненти.....	6, 101
Фурфурол.....	74, 75, 177

Х

Характер зміцнення.....	56
Холодне плакування.....	87
Холодотвердні форми.....	26
холодотвердні суміші.....	26
Хроміт.....	50
Хромомагнетит.....	50, 141, 155, 250, 254
Хромомагнетитові суміші.....	156, 157
ХТС.....	26, 78, 85, 101, 102, 103, 104, 105, 111, 112, 125, 126, 130, 132, 133, 138, 142, 212, 242, 254

Ц

цементи.....	6, 57, 111, 112
Циркон.....	34, 117, 137, 138, 140, 141, 144, 164, 174, 193
Циркон.....	49, 50, 103, 146, 147, 149, 254
Цирконові суміші.....	157

Ш

Шамот.....	52, 134
Шорсткість.....	45, 130, 154, 180
Шунгіт.....	53, 141