



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

О.І. Пономаренко, Т.В. Берлізева, Н.С. Євтушенко, І.А. Грімзін

ФОРМУВАЛЬНІ МАТЕРІАЛИ І СУМІШІ

Лабораторний практикум

для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка»

спеціалізації 131-09 «Обладнання та технології ливарного виробництва»

Затверджено
редакційно-видавничою
радою університету,
протокол № 1 від 30.01.2018 р.

Харків
НТУ «ХПІ»
2019

УДК 621.742.4 (661.683)

П 95

Рецензенти:

О.Н. Хорошилов, д-р техн. наук, проф., Українська інженерно-педагогічна академія

О.В. Акімов, д-р техн. наук, проф., Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

Пономаренко О.І.

П 95 Формувальні матеріали і суміші : лабораторний практикум / О.І. Пономаренко, Т.В. Берлізева, Н.С., Євтушенко, І.А. Грімзін. – Харків : НТУ «ХПІ», 2019. – 64с.

ISBN

Викладено основи визначення властивостей формувальних і стрижневих сумішей. Матеріал проілюстровано практичними прикладами, до всіх розділів наведено необхідну теоретичну та практичну інформацію. У лабораторному практикумі використано результати роботи авторів у галузі створення нових складів холоднотвердіючих сумішей.

Призначено для студентів і аспірантів технічних спеціальностей, інженерно-технічних працівників.

Табл. 17. Іл. 12 Бібліогр. 17 назв.

УДК 621.744.3 (075)

ISBN

© О.І. Пономаренко, Т.В. Берлізева,
Н.С. Євтушенко, І.А. Грімзін, 2019 р.

ВСТУП

Лиття є найбільш універсальним способом отримання заготовок для деталей машин. Литтям можна отримувати виливки масою від декількох грамів до 600 т і більше.

У цей час відомо понад 100 різних способів лиття. Найбільш широкого застосування набули такі способи виробництва виливків, як кокільне лиття, лиття за виплавленими моделями, лиття під тиском, відцентрове лиття, електрошлакове лиття, лиття під регульованим тиском та ін. Однак основну масу виливків із чорних металів (чавун, сталь) отримують у разових піщано-глинистих формах [1].

Для отримання якісних виливків у піщано-глинистих формах велике значення має матеріал, з якого виготовлена сама форма.

У ливарній формі розплав перетворюється на виливок, у результаті контакту форми з розплавом. Формувальні матеріали беруть участь у складних процесах теплової, газової, силової і фізико-хімічної взаємодії, мають вирішальний вплив на якість одержуваного виливка, а саме [2]:

- витримуючи високі температури розплаву, вони запобігають утворенню термічного пригару;

- не реагуючи з оксидами і газами розплаву і не утворюючи з ними легкоплавких сполук, формувальні матеріали запобігають утворенню хімічного пригару;

- володіючи пористістю, формувальні матеріали забезпечують вихід з порожнини форми повітря, пари і газів, що запобігає утворенню у виливках газових раковин;

- відбираючи тепло у розплаву, а потім у виливка, що формується, і передаючи тепло в навколишнє середовище, підвищують швидкість охолодження виливка. Це призводить до подрібнення структури металу виливка, утворення внутрішніх напружень, термічних тріщин і усадочних раковин.

Крім того, формувальні матеріали впливають на величину механічного пригару, а отже, шорсткість поверхні виливка, оскільки від розмірів зерен матеріалів-наповнювачів залежить ступінь проникнення розплаву в стінки форми.

Всі матеріали, що застосовуються для виготовлення ливарних форм і стрижнів, об'єднуються спільною назвою «формувальні матеріали». Серед формувальних матеріалів розрізняють вихідні формувальні матеріали, формувальні суміші і допоміжні формувальні склади і матеріали [3].

Щоб забезпечити отримання придатного виливка, формувальні матеріали повинні мати властивості, що відповідають певним вимогам: 1) технології виготовлення форм і стрижнів; 2) умовами взаємодії форми з рідким металом при заливанні форми, твердінні й охолодженні виливків; 3) технології приготування формувальної або стрижневої суміші; 4) умовами вибивання форм і видалення стрижнів [4].

Для того щоб отримати вилівок, вільний від дефектів, формувальні і стрижневі суміші, з яких виготовляють форму і стрижні, мають задовольняти комплексу певних властивостей.

Задані властивості формувальних сумішей та форм забезпечують насамперед вибором відповідних формувальних матеріалів-наповнювачів (пісків), сполучних матеріалів і різних добавок.

Практикум містить сім лабораторних робіт, в яких висвітлено визначення основних фізико-механічних властивостей формувальних сумішей.

Лабораторна робота 1

ТЕМА: ВИЗНАЧЕННЯ МАРКИ ФОРМУВАЛЬНОГО ПІСКУ

1.1. Підготовка до лабораторної роботи

1.1.1. Мета роботи

Ознайомлення з приладами та методами визначення глинистої складової та зернового складу формувального піску.

1.1.2. Обладнання, інструменти та матеріали

Для проведення роботи з визначення зернового складу формувальних пісків необхідно підготувати:

- прилад для відмулення з посудиною 1000 см³, що обертатиметься з частотою (60 ± 5) об/хв;
- прилад для розсівання піску з набором стандартних сит;
- промивалку;
- шафу сушильну в температурному нагріві до 200 °С;
- дві банки місткістю 1000 мл, діаметром 90–100 мм і заввишки 150 мм з притертими пробками;
- подвійні сифонні трубки для зливу води діаметром 6–9 мм;
- секундомір, ГОСТ 4328-77;
- гідроксид натрію згідно з ГОСТ 4328-77, 1 %-ний розчин;
- чаші для випарювання;
- терези лабораторні другого класу точності згідно з ГОСТ 24104-80;
- ексикатор.

1.1.3. Методичні вказівки

1.1.3.1. Класифікація пісків

Суміші в своєму складі містять наповнювач, сполучний матеріал, і допоміжні добавки. Основою суміші є наповнювач. Цей компонент, повідомляє суміші необхідну міцність при стисненні, вогнетривкість, певні теплофізичні характеристики. В якості наповнювача формувальних і стрижневих сумішей

найбільш часто застосовується кварцовий пісок. Форма, розмір і однорідність його зернового складу має вирішальний вплив на властивості сумішей.

Зернову структуру піску або суміші розуміють як розподіл їх частин за розміром. Зернова будова піску характеризується розміром, формою та станом поверхні зерен. Кількість зерен, що мають певний розмірний інтервал, називають фракцією, у формувальних пісках всі частинки розміром $22 \cdot 10^{-6}$ м, незважаючи на їх мінералогічний склад, належать до глинистої складової, а зерна більшого розміру – до піщаної основи [4].

Природні, навіть чисті, кварцові піски завжди покриті тонкою оболонкою глини, силікатами, карбонатами, оксидами заліза. Окремі дрібні піщинки злипаються, утворюючи більш значні агрегати. Для того щоб результати ситового аналізу не були перекрученими, перед розсіванням піску на ситах більш крупні зерна (фракції) звільнюють від оболонок, що покривають зерна. Глинисту складову відокремлюють методом седиментації в нерухомій рідині. В основу цього методу покладено здатність частинок, що падають у воду, набувати постійної швидкості падіння, яка визначається за формулою Стокса

$$v = \frac{(\gamma_1 - \gamma_2)g}{18r}, \quad (1.1)$$

де d – щільність частинок та середовища; g – прискорення сили тяжіння; r – коефіцієнт динамічної в'язкості.

У зв'язку з тим що формула Стокса не враховує сил інерції падаючих частинок, а також електричних та адсорбційних явищ, характерних для дуже дрібних частинок, вона може вживатися лише для частинок не більше ніж 10^{-3} м і не менше ніж 10^{-8} м.

Визначення глинистої складової побудовано на відокремленні із відмуленої суспензії зерен, що не опустилися нижче $125 \cdot 10^{-6}$ м протягом 300 с (5 хв). Набуваючи за формулою Стокса для випадку осідання частинок кварцу у воді при $t = 15 - 20$ °С значення

$$\gamma_1 = 2,63 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3,$$

$$r = 0,001 \text{ кг/(м}\cdot\text{с)},$$

$$\gamma_2 = 1,0 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3,$$

$$g = 9,81 \text{ м/с}^2,$$

$$V = \frac{h}{t} = \frac{0,125h}{300} \text{ м/с},$$

можна визначити умовний діаметр частинок, які за 300 с не встигли опуститися нижче $125 \cdot 10^{-6}$ м і будуть вилучені з піску

$$d = \sqrt{\frac{18\eta\nu}{g(\gamma_1 - \gamma_2)}} = \sqrt{\frac{18 \cdot 0,001 \cdot 0,125}{300 \cdot 9,81 \cdot (2,62 - 1,0) \cdot 10^3}} = 0,22 \cdot 10^{-6} \text{ м.}$$

З цього розрахунку є зрозумілою поява вказаної раніше межі між піском та глиною. Ця межа здебільшого визначається висотою падіння частинок та часом витримування відмуленої суспензії.

У цей час найбільш широко застосовуються кварцові формувальні піски – більше 90 % всіх пісків, що споживає ливарне виробництво. Це пояснюється перш за все тим, що кварцові піски найпоширеніші в природі. Крім того, з точки зору ливарної технології, кварцовий пісок має ряд безсумнівних переваг: високу температуру плавлення (1713 °С); високу твердість (7 за шкалою Мооса); хімічну інертність при звичайних температурах (рН чистого кварцового піску 7; не змінює своїх властивостей під впливом кисню повітря і води, а також мінералів, присутніх в пісках); хорошу змішуваність з різними компонентами сумішей; хорошу змочуваність водою, а також в більшій чи меншій мірі всіма застосовуваними сполучними матеріалами; універсальність (застосовність при виготовленні виливків з різних сплавів).

Залежно від процентного вмісту глинистої складової піски поділяють на (ГОСТ 2138– 91) [5]:

- кварцові (К) до 2 % глинистої складової;
- пісні (Т) – 2...12 % глинистої складової;
- жирні (Ж) – 12...50 % глинистої складової.

Таблиця 1.1 – Вміст глинистої складової в кварцовому піску

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

У свою чергу кварцові піски поділяють на ряд груп, залежно від вмісту глинистої складової (табл. 1.1), та вмісту SiO₂ (табл. 1.2), коефіцієнта однорідності (табл. 1.3) та середнього розміру зерна (табл. 1.4).

Таблиця 1.2 – Вміст SiO₂ в кварцовому піску

Група	SiO ₂ , % не менш
К1,	99
К2	98
К3	97
К4	95
К5	93

Таблиця 1.3 – Коефіцієнт однорідності кварцових пісків

Група	Коефіцієнт однорідності, %
О1	>80
О2	70...80
О3	60...70
О4	50...60
О5	<50

Таблиця 1.4 – Середній розмір зерен кварцових пісків

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

Пісні піски як і кварцові, поділяються на ряд груп (табл. 1.5, 1.6).

Таблиця 1.5 – Вміст глинистої складової в пісних пісках

Група	Вміст глинистої складової, %, не більше
1	4
2	8
3	12

Жирні піски поділяють на групи залежно від середнього розміру зерен (див. табл. 1.4) і міцності на стиснення у вологому стані (табл. 1.7).

Таблиця 1.6 – Вміст SiO₂ в пісному піску

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

Таблиця 1.7 – Міцність жирних пісків у вологому стані

Група	Міцність, МПа
Ж ₁	>0,08
Ж ₂	0,05–0,08
Ж ₃	<0,05

1.1.3.2. Порядок визначення глинистої складової

Визначення кількості глинистої складової формувальних пісків здійснюється згідно з ГОСТ 29234.1- 91 [7]. Метод заснований на відділенні глинистих частинок від піщаної основи з урахуванням масової частки органічних включень у кварцових пісках.

Від партії піску відбирають пробу і готують за ГОСТ 29234.1-91. Від проби піску відбирають наважку, масою 50 г. Наважку піску поміщають в посудину, доливають 475 см³ води і 25 см³ розчину пірофосфатанатрія (10 г/дм). Посудину щільно зачиняють пробкою, встановлюють на лабораторну мішалку і збовтують протягом 1 год. Після цього посудину знімають з мішалки, відкривають пробку, ретельно змивають водою глину з пробки в посудину.

Суміш переносять у стакан апарата для автоматичного відділення глинистих частинок і проводять випробування.

При відділенні глинистих частинок вручну у суміш доливають води до мітки на висоті посудини 150 мм, перемішують паличкою і дають устоятися протягом 10 хв. Зливають воду до рівня 12 мм від поверхні осаду за допомогою U-подібної трубки (рис. 1.1).

Операцію відмулювання повторюють два рази. При утворенні пластівців у верхньому шарі суміші їх видаляють. Для цього кінець U-подібної трубки поміщають у верхню частину шару пластівців і обережно видаляють їх до зливу.

У посудину втретє доливають води до того самого рівня, суміш перемішують паличкою і дають устоятися 5 хв. Потім знову зливають воду.

Відмулювання повторюють доти, доки вода в посудині після 5-хвилинного устоювання не стане прозорою.

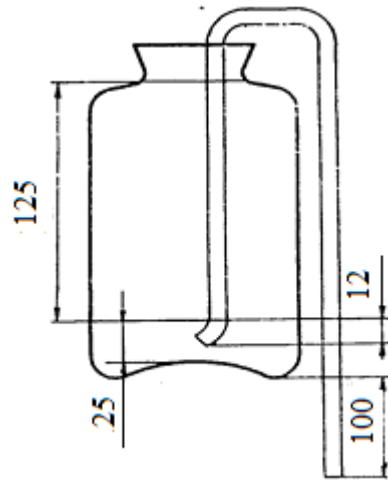


Рис. 1.1. Схема видалення глинистих частинок

Зерна піску, що залишилися в банці, переносять на фільтр, що розміщено в лійці. Піщинки, що прилипають до стінок банки, змивають струменем води з промивалки на цей ж фільтр. Після 5-хвилинного устоювання воду з лійки змивають, а пісок переносять до фарфорової чашки і висушують до постійної маси при температурі 105 – 110 °С. Висушений та охолоджений пісок зважують з точністю до 0,01 г.

Дозволяється глинисту складову визначити прискореним методом.

В склянку засипають 50 г досліджуваного піску. Заливають 290 см³ води та 10 мл 1 % -ного розчину натрію гідроксиду і кип'ятять протягом 5 хв.

Додають у склянку 200 см³ води, встановлюють її на прилад і перемішують протягом – 10 хв.

Переносять воду з піском в банку, доливають водою до мітки 150 мл, ретельно перемішують вміст банки та дають устоятися 10 хв.

Масову частку глинистої складової для формувального піску розраховують за формулою

$$X = \frac{m - m_1}{m} 100\% \quad (1.2)$$

де m , m_1 – маса ваги піску відповідно до відмулювання та після вилучення глинистої складової, г.

Дійсну масову частки глинистої частинки беруть як середнє арифметичне з трьох паралельних визначень.

1.2. Проведення лабораторної роботи

1.2.1. Порядок проведення лабораторної роботи

1. Визначити мету та завдання роботи;
2. Відокремити глинисту складову від зернової основи піску методом седиментації на приладі ФГ-4;
3. Визначити зерновий склад піску методом його розсіву на комплекті стандартних сит;
4. Визначити форму зерен піску при розгляді їх під лупою або під мікроскопом;
5. Визначити марку піску;
6. Визначити модуль дрібності;
7. Визначити поредній розмір зерен.
8. Побудувати інтегральну криву.
9. Зробити висновки по роботі.

1.2.2. Визначення зернового складу піщаної основи

Однією з основних характеристик формувального піску є його зерновий склад. Середній розмір зерна і коефіцієнт однорідності розраховують за даними гранулометричного складу (ГОСТ 29234.3-91) [7]. Метод визначення гранулометричного складу засновано на визначенні кількісного розподілу частинок по крупності разсівом його на ситах.

Зерновий склад піщаної основи визначають за допомогою ситового аналізу. Пісок після відмулювання, сушіння та охолодження підлягає розсіву на спеціальному приладі, який забезпечує 300 обертів ексцентрика та 3 удари колотушки за хвилину. Для визначення зернового складу піску застосовують комплект з 11 сит діаметром 0,2 м (табл. 1.8).

За результатами ситового аналізу визначають групу та категорію піску. За розміром зерен основної фракції формувальні піски поділяють на 8 груп (табл. 1.9). Залежно від величини залишку та крайніх з трьох сит основної фракції формувальні піски поділяють на дві категорії – «А» та «Б».

Таблиця 1.8 – Характеристика комплекту сит

Номер сита	Номер сита за ГОСТ 29234-91	Номінальний розмір сторони комірки сита за ГОСТ 29234-91
2,5	2,5	2,50
1,6	1,6	1,60
1,0	1,0	1,00
0,63	0,63	0,630
04	04	0,400
0315	0315	0,315
02	02	0,200
016	016	0,160
0,1	0,1	0,100
0063	0063	0,063
005	005	0,050
тазик	Менш за 005	–

До категорії «А» відносять піски з великим залишком на крайньому верхньому ситі, а до категорії «Б» – на крайньому нижньому.

Якщо на трьох суміжних ситах зосереджено понад 70 % маси наважки зерен, то такі піски відносять до зосереджених, на відміну від розосереджених, у яких на будь-яких з трьох суміжних сит зосереджується менше 70 % маси всієї наважки.

1.2.3. Порядок визначення зернового складу піщаної основи

Перевіряють чистоту сит і складають комплект за номерами в послідовності, вказаній в табл. 1.9.

На верхнє сито 2,5 висипають досліджуваний пісок і закривають кришкою, кипку сит встановлюють на прилад і закріплюють їх. Вмикають прилад і проводять розсіванням протягом 15 хв, після чого прилад вимикають і знімають сита.

Залишки на кожному ситі послідовно висипають на глянцева папір, добре прочищають сита м'якою щіткою. Залишки на кожному ситі зважують з точністю до 0,01 г. Одержані дані заносять у табл. 1.10.

Визначення форми зерен зводиться до їх вивчення і фотографування під мікроскопом.

Таблиця 1.9 – Приклад складання сит за номерами

Пісок	Група	Номери сит суміжних розмірів, на яких заливаються зерна основної фракції
Грубий	063	1–063–04
Значно великий	04	063–04–315
Великий	0315	04–0315–02
Середній	02	0315–02–016
Дрібний	016	02–016–01
Значно дрібний	01	016–01–0063
Тонкий	0063	01–0063–005
Пилоподібний	005	0063–005–тазик

Таблиця 1.10 – Залишок на ситах

Номер сита	Залишок на ситах	Форма піску
2,5		
1,6		
1,0		
063		
04		
0315		
02		
016		
01		
0063		
005		
Тазики		
Всього		
Глиниста складова		
Разом	50	100

За ГОСТ 2138-91 розрізняють округлі, півкруглі та гострокутні зерна [7]. Більш повна характеристика форми зерна включає як ступінь його сферичності, так і схильність до гострокутності.

1.2.4. Визначення модуля дрібності

Модуль дрібності M обчислюють за результатами визначення гранулометричного складу піщаної основи

$$M = \frac{\sum a_i m_i}{\sum m_i}, \quad (1.3)$$

де a_i – постійний коефіцієнт для кожної сітки; m_i – залишок на кожному ситі, %.

Приклад розрахунку модуля дрібності надано в табл. 1.11.

Таблиця 1.11 – Приклад розрахунку модуля дрібності

Номер сита за ГОСТ3584-73	Залишок на ситі $m_i, \%$	Постійний коефіцієнт a_i для кожного сита	Добуток $a_i m_i$
2,5	–	–	–
1,6	0,10	5	0,5
1,0	0,14	9	1,26
0,63	0,20	20	4,0
0,4	1,40	30	42,0
0315	4,20	40	168,0
0,2	57,40	53	30,42
0,16	23,80	65	1547,0
0,1	4,20	105	441,0
0083	0,90	165	148,5
005	0,30	210	63,0
тазик	0,80	300	240
Всього	93,44	–	5697,5

Модуль дрібності

$$M = \frac{\sum m_i a_i}{\sum m_i} = \frac{5697,5}{93,44} = 61$$

1.2.5. Визначення середнього розміру зерна

На осі абсцис відкладають у логарифмічному масштабі розмір сторони комірки сита a_t , а по осі ординат в лінійному масштабі – залишок на кожному ситі у відсотках. За даними гранулометричного складу будують інтегральну криву (рис.1.2).

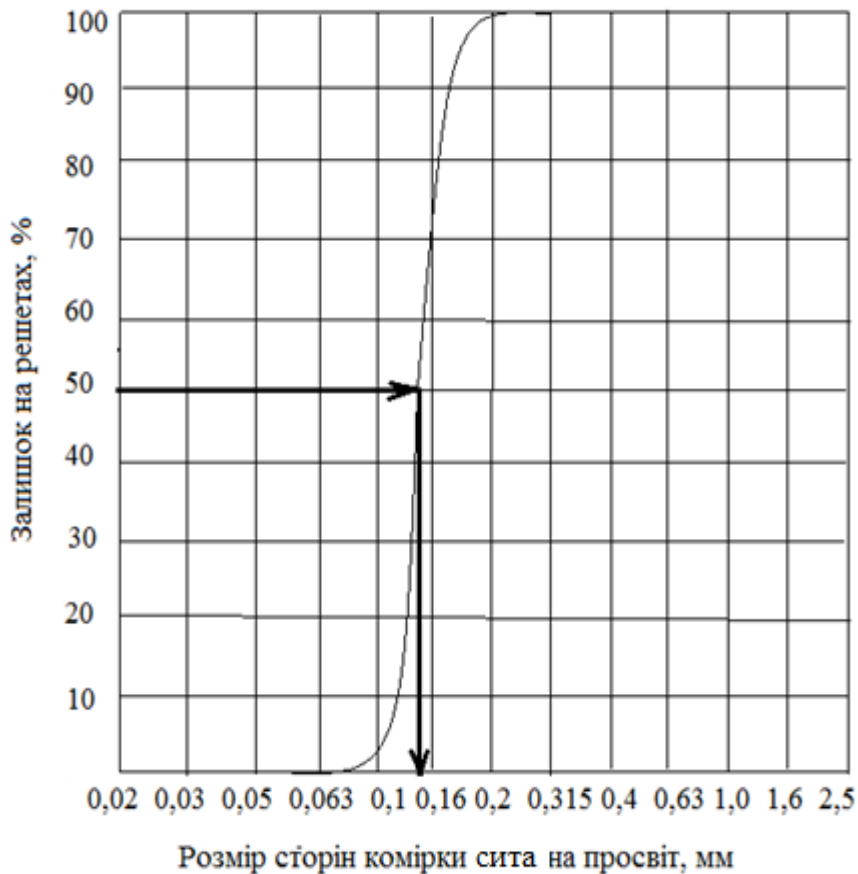


Рис. 1.2. Інтегральна крива

Будують інтегральну криву так. Відкладають величину залишку в тазику на поділці 0,03, далі відкладають на поділці 005 суму залишків у тазику і в ситі. Потім на поділці 0063 відкладають суму залишків у тазику в ситі 005 плюс у ситі 0063 і далі до залишку на ситі 2,5. З'єднують усі точки однією кривою.

Від точки 50 % на лінії ординат проводять горизонтальну лінію до перетину з інтегральною кривою. З точки перетину опускають вертикаль на вісь абсцис, на якій і позначають середній розмір зерна. Він відповідає середньому розміру сторін комірок, крізь який проходить 50 % піщаної основи.

1.2.6. Визначення марки піску

При визначенні марки піску на перше місце ставлять клас піску, на друге – групу, на третє – категорію.

Наприклад, марка піску 2К₁О₃02 означає: кварцовий пісок з 0,2...0,5 % глинистої складової, 99,0 % SiO₂, коефіцієнт однорідності 60...70%, середній розмір зерна 0,19...0,23 мм.

1.3. Висновки

Вміти визначати глинисту складову пісків. Також марку пісків, модуль дрібності, середній розмір зерен пісків.

1.4. Оформлення звіту

1.4.1. Схема приладу для відмулювання (див. рис. 1.1).

1.4.2. Розрахункова формула Стокса для визначення розміру глинястої складової.

1.4.3. Розрахунок відсотка глинистої складової.

1.4.4. Таблиця висновків розрахунку зернового складу піску.

1.4.5. Визначення марки піску.

1.4.6. Розрахунок модуля дрібності піску.

1.4.7. Побудова інтегральної кривої та визначення середнього розміру зерен (див. рис. 1.2).

1.4.8. Зробити висновки по роботі.

Лабораторна робота 2

ТЕМА: ПРИГОТУВАННЯ ФОРМУВАЛЬНОЇ СУМІШІ ТА ЗРАЗКІВ ДЛЯ ЇЇ ВИПРОБУВАННЯ

2.1. Підготовка до лабораторної роботи

2.1.2. Мета роботи

Ознайомлення зі складом сумішей для виготовлення виливків зі сталі, чавуну і кольорових металів, а також приготування зразків для визначення властивостей сумішей та виготовлення зразків.

2.1.3. Обладнання, інструменти та матеріали

Для проведення роботи необхідно підготувати:

- лабораторні бігуни для приготування сумішей;
- лабораторний копер із масою падаючого вантажу $6,35 \pm 0,015$ кг;
- секундомір;
- терези торгівельні;
- мірні циліндри, склянки;
- ексикатори на 3...5 кг формувальної суміші;
- сито з сіткою № 1,0;
- матеріали для приготування формувальних сумішей (пісок, глина, сполучні матеріали, добавки (кам'яне вугілля)).

2.1.4. Методичні вказівки

2.1.4.1. Вимоги, що пред'являють до сполучних матеріалів

Сполучні матеріали у формувальних сумішах мають забезпечувати такі вимоги [5]:

- достатню міцність суміші як у сирому, так і в сухому стані;
- швидке висихання ливарної форми і мінімальну гігроскопічність;
- легке видалення стрижня з виливка при вибиванні;
- податливість форми і стрижня;
- пластичність суміші.

Крім того, сполучні матеріали повинні бути дешевими і недефіцитними.

2.1.4.2. Класифікація сполучних матеріалів

За хімічним складом сполучні матеріали можна поділити на такі групи:

- 1) мастильні сполучні, що володіють здатністю до полімеризації за наявності в атмосфері сушила вільного кисню;
- 2) матеріали, що володіють оборотними властивостями розплавлятися при нагріванні й обволікати в розплавленому стані зерна піску, а при подальшому охолодженні укріпляти і зв'язувати їх між собою (каніфоль, смоли, пеки та ін.);
- 3) водорозчинні і висихаючі матеріали (декстрин, лігніт-сульфати, патока та ін.);
- 4) різні комбіновані сполучні з органічних складовими.

Класифікація сполучних матеріалів проводиться ха їх питомою міцністю, що мається на увазі як значення границі міцності на розрив сухої технологічної проби, поділене на утримання сполучного матеріалу в процентах.

Сполучні матеріали рекомендується також класифікувати за характером тужавіння при сушінні, розрізняючи тужавіння необоротне, оборотне і проміжне. Сполучні матеріали за характером тужавіння розподіляються так. Як правило, найбільша міцність виходить при користуванні сполучними з необоротним характером тужавіння, середня – при використанні сполучних із проміжним характером і низька – при використанні сполучних з оборотним характером затвердіння.

Крім формувальної глини, як сполучне для приготування формувальних і стрижневих сумішей використовують органічні і неорганічні матеріали [6].

Всі сполучні матеріали за природою умовно поділяють на три класи:

клас *A* – органічні неводні;

клас *B* – органічні водні;

клас *B* – неорганічні водні.

До класу *A* належать сполучні, що не потребують додавання води і не розчиняються в ній. ЧСеред таких матеріалів – мастила, бітуми, каніфоль.

До класу *B* входять матеріали, здатні розчинитися у воді, а після її випаровування зв'язувати зерна піску. Такими матеріалами є ЛСТ, декстрин, патока та ін. Клас *B* містить рідке скло, цемент і інші неорганічні матеріали. Крім того, сполучні матеріали за питомою міцністю додатково діляться на три групи. До першої групи належать матеріали, що мають питому міцність більше

5·10⁵ Па, до другої – (3...5)·10⁵ Па і до третьої – менше 3·10⁵ Па. Приклади складу формувальної суміші наведено у табл. 2.1

Таблиця 2.1 – Приклади формувальних сумішей

Формувальна суміш	Склад	Відсоток
1. Формувальна суміш рідкоскляна для сталюого лиття	1. Кварцовий пісок	96...95
	2. Глина вогнетривка	2...4
	3. 10 %-й розчин NaOH	1,0
	4. Рідке скло	5...6
2. Формувальна суміш для сталюого лиття піщано-глиняна	1. Кварцовий пісок	87...88
	2. Глина вогнетривка	10...11
	3. Кварц пилоподібний	2...3
	4. СДБ	0,5...1,0
	5. Вода	5...6
3. Формувальна суміш для чавунного лиття (облицювальна)	1. Кварцовий пісок	86...87
	2. Глина вогнетривка	9...10
	3. Кам'яне вугілля	4...5
	4. СДБ	0,5...1,0
	5. Вода	5...6
4. Формувальна суміш чавуну (єдина)	1. Відпрацьована суміш	80...60
	2. Кварцовий пісок	34...36
	3. Глина вогнетривка	5...4
	4. Кам'яне вугілля	1...3
	5. СДБ	0,5...1,0
	6. Вода	4,5... 5,0
5. Стрижньова суміш для стрижнів 4–5 класів	1. Кварцовий пісок	95...92
	2. Глина вогнетривка	5...6
	3. СДБ	4...50
	4. Вода	2...3
6. Стрижньова суміш для стрижнів 2–3 класів	1. Кварцовий пісок	98...97
	2. Глина	2...3
	3. СДБ	3...4
	4. Сполучне «П», «КО», «УСК»	3...4

Продовження табл. 2.1

1	2	3
7. Стрижньова суміш для центрових стрижнів 4–5 класів	1. Кварцовий пісок	91...92
	2. Глина	5...6
	3. Тирса	3...4
	4. СДБ	5...6
	5. Вода	3...4

2.2. Проведення лабораторної роботи

2.2.1. Порядок проведення лабораторної роботи

Приготувати формувальну суміш. Для цього:

- пісок формувальний висушити;
- просіяти формувальний пісок і відпрацьовану суміш крізь сито № 1,0;
- зважити необхідну кількість формувального піску, глини, вугілля, відпрацьованої суміші;
- засипати в бігуни необхідну кількість компонентів (пісок, глина, вугілля) і закрити їх кришкою;
- перемішувати сухі компоненти протягом двох хвилин;
- вимкнути бігуни, витримати одну хвилину і зняти кришку;
- залити в бігуни рідкі компоненти (воду, рідке скло, сполучні), увімкнути бігуни і перемішувати суміш протягом 8 хвилин;
- відкрити отвір на дні бігунів і вивантажити суміш в ексікатор;
- закрити ексікатор кришкою. Зберігати суміш в ексікаторі в закритому стані.
- бігуни ретельно очистити від залишків формувальної суміші та протерти їх вологою ганчіркою.

2.2.2. Виготовлення зразків та визначення міцносних властивостей

Для визначення твердості та міцності формувальної суміші з неї виготовляють стандартні зразки зі сталими настановами ГОСТ 23409-78: розмірами, масою та ступенями ущільнення [7].

Стандартні зразки виготовляють ущільненням суміші у циліндричних гільзах або в стрижневих ящиках ударами баби лабораторного копра. Розміри

гільзи, мм: висота – 120, діаметр $50 \pm 0,2$. У гільзу висипають таку кількість суміші, щоб після ущільнення зразок мав висоту $50 \pm 0,8$ мм.

Стандартне ущільнення забезпечується постійною роботою ущільнювача – трьома ударами баби копра масою $6,35 \pm 0,015$ кг, падаючи з висоти $50 \pm 0,25$ мм (рис. 2.1).

Загальна маса рухомих деталей копра повинна бути 8000 ± 25 г. Копер встановлюють на масивному фундаменті, маса якого не менша за кілограм. Робота ущільнення суміші на лабораторному копрі дорівнює $6350 \cdot 5 \cdot 3 = 95250$ кг·см = $0,9625$ кг·м (9,34Дж). Об'єм зразка $98,5$ см³.

Питома робота ущільнення

$$\frac{95250}{98,5} = 967 \frac{\text{кг} \cdot \text{см}}{\text{см}^3} (0,95 \text{ Дж/см}^3).$$

Це ущільнення приблизно відповідає ущільненню при формуванні деталей середньої ваги. Таким чином, у стандартному методі виготовлення зразків робота ущільнення постійна. Щільність зразка (кг/м³) за цих умов може бути різною. Для одержання стандартної висоти зразка маса наважки має бути 160–180 г.

Беруть середню пробу 600 г формувальної суміші, старанно її перемішують і відважують наважку в 170 г.

Циліндричну гільзу 9 (див. рис. 2.1) вставляють у піддон 4 і рівномірно засипають у неї відважену наважку суміші, не допускаючи передчасного її ущільнення та негоризонтального положення шару засипаної суміші.

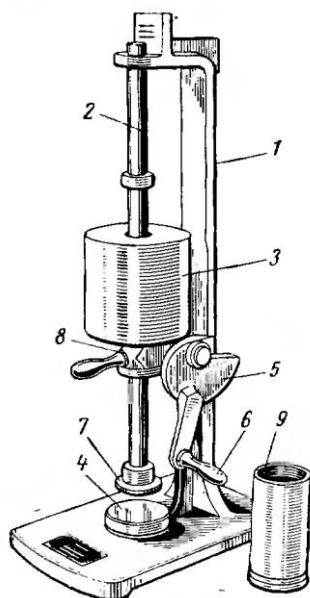


Рис. 2.1. Схема ущільнювача (копра):

1 – станина; 2 – шток; 3 – баба;
4 – піддон; 5 – ексцентрик; 6 –
рукоятка ексцентрика; 7 – бойок; 8 –
підіймач; 9 – гільза

Піднімачем 8 підіймають шток 2 із бабою 3, після чого центруючим виступом встановлюють піддон 4 разом із гільзою 9 у гніздо станини копра. Бойок 7 штока 2 рівномірно опускають у гільзу до стикання його з засипаною в гільзу наважкою випробуваної суміші. Обертанням рукоятки ексцентрика 6 ущільнюють суміш 3-ма або 6–9-ма ударами баби копра. Після 3-х або 6–9 кратного падіння висота зразка завжди повинна бути $50 \pm 0,8$ мм. Цьому розміру відповідають 3 риси на верхньому вертикальному пристрої станини 1.

У випадку якщо верхня кромка штока 2 після стандартного ущільнення вийшла за межу крайніх рисок, зразок вважається непридатним для визначення.

Після 3-х або 6–9 кратного удару баби копра та перевірки збігу риси на приливі 3 верхньою кромкою штока 2 бойок 7 піднімачем виймають із гільзи, гільзу разом із піддоном знімають з основи копра і тільки після цього знімають піддон.

Ущільнений зразок у гільзі готовий для визначення твердості та міцності. Для визначення міцності зразок обережно виштовхують із гільзи виштовхувачем.

2.3. Зміст звіту

2.3.1. Визначити мету та завдання роботи.

2.3.2. Навести різні склади формувальної суміші.

2.3.3. Навести таблицю і графіки результатів визначення міцності та твердості після 3-х, 6–9–12 кратного удару баби копра.

2.3.4. Зробити висновки.

Лабораторна робота 3

ТЕМА: ВИЗНАЧЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ФОРМУВАЛЬНИХ СУМІШЕЙ В СИРОМУ СТАНІ

3.1. Підготовка до лабораторної роботи

3.1.1. Мета роботи

Ознайомлення з приладами та методами визначення механічних властивостей формувальних та стрижневих сумішей у сирому стані, визначення впливу на сиру міцність таких чинників, як величина ущільнення суміші, вид та кількість сполучного матеріалу, а також кількість вологи в суміші.

3.1.2. Обладнання, інструменти та матеріали

Для проведення роботи з визначення механічних властивостей формувальних сумішей у сирому стані необхідно підготувати:

- лабораторний копер із масою падаючого вантажу $6,35 \pm 0,015$ кг;
- прилад для визначення міцності на стиснення у сирому стані;
- торговельні терези;
- прилад для визначення твердості зразків у сирому стані (твердомір);
- гільзи сталеві з внутрішнім діаметром 50 мм і заввишки 120 мм;
- технічні терези за ГОСТ 24104-80;
- сушильну шафу;
- ексикатори місткістю 3–5 кг для формувальної суміші;
- мензурки, циліндри, склянки;
- фарфорову чашу для визначення вологи;
- сито № 1,0 (ГОСТ 6613-73).

3.1.3. Методичні вказівки

3.1.3.1. Класифікація механічних властивостей сумішей

Формувальні та стрижневі суміші у сирому стані досліджують на міцність на стиснення і твердість. [7].

Формувальні матеріали повинні мати властивості, що відповідають певним вимогам: технології виготовлення форм і стрижнів; умовам взаємодії форми з рідким металом при заливанні форми, тужавіння й охолодженні виливків; технології приготування формувальної або стрижневої суміші; умовам вибивальності форм і видалення стрижнів.

Механічні властивості визначають характеристики міцності ливарної форми в період її виготовлення, а також при заливанні її сплавом і тужавінні виливка.

До механічних властивостей належать міцність на стиснення та твердість сумішей.

Твердість характеризує здатність поверхневого шару ливарних форм і стрижнів протистояти проникненню твердого тіла. Поверхнева твердість форми або стрижня залежить від ступеня ущільнення суміші, кількості та якості сполучних матеріалів, а також від режимів їх зміцнення. Оцінку твердості виробляють за допомогою твердоміра і виражають в абсолютних одиницях.

Міцність сумішей у вологому стані визначають властивостями форми протистояти різним механічним діям у процесі їх виготовлення, транспортування та складання.

Міцність суміші у сирому стані визначається за видом навантаження (наприклад, стиснення, зріз, тощо).

Відповідно до ГОСТ 23409.7-78 (міцність в «сирому» стані) міцність формувальних і стрижневих сумішей оцінюється граничною величиною навантаження, при якій руйнується ущільнений зразок суміші [98].

Міцність визначається при різних видах навантаження – при стисненні, розтягненні, і вигині і характеризується відношенням руйнівного навантаження до площі поперечного перерізу зразка:

$$\sigma = \frac{P}{F}, \quad 3.1$$

де P – руйнівне навантаження; F – площа поперечного перерізу зразка

Міцність на стиснення у сирому стані $\sigma_{\text{тис}}$ знаходять залежно від ступеня ущільнення суміші [8].

На міцність суміші найбільше впливають вид і кількість сполучного матеріалу, кількість відсотка вологи у суміші, а також розмір зерен піску.

3.1.3.2. Класифікація гідралічних властивостей сумішей

Гідралічні властивості сумішей визначають переважно умови газоутворення і видалення газоподібних продуктів з порожнини форми при заливанні сплавом, теплофізичні властивості – умови перебігу теплових процесів при тужавінні вилівка в формі.

Вода може бути по-різному зв'язана з формувальними матеріалами, а саме:

- хімічно зв'язана входить до складу формувальних матеріалів і глин;
- поверхнево-зв'язана з ними;
- вільна, тобто капілярно-зв'язана.

Вода, що входить до складу формувальних матеріалів, може бути розділена:

- а) на конституційну;
- б) на кристалізаційну;
- в) на цеолітну.

Конституційна вода входить до складу формувальних матеріалів неорганічного (водні алюмосилікати та ін.) й органічного походження (крохмаль, патока та ін.).

Кристалізаційна вода відрізняється від води конституційної дещо менш тісним зв'язком із матеріалами, а також тим, що процес її виділення є оборотним.

Цеолітна вода відзначається тим, що виділення води відбувається в широкому інтервалі температур, і тим, що цей процес є оборотним.

Поверхнево-зв'язана вода за товщиною плівки і за кількістю шарів, що утворилися на поверхні зерен, може бути розділена на такі види:

- а) мономолекулярну;
- б) адсорбовану;
- в) капілярну.

Мономолекулярний шар найближче розташований до поверхні зерен і на превелику силу видаляється з поверхні зерен.

Адсорбована вода знаходиться в рівноважному стані з вологістю навколишнього середовища і становить величину порядку 1 %.

Зміна вмісту капілярної води дуже сильно впливає на всі вторинні властивості формувальних матеріалів.

3.2. Проведення лабораторної роботи

3.2.1. Порядок проведення лабораторної роботи

1. Визначити мету та завдання роботи.
2. Приготувати із заданої формувальної суміші по 3 циліндричних зразки при 3, 6, 9, 12 ударах баби копра (всього 12 зразків).
3. Визначити твердість зразків у сирому стані при 3, 6, 9 та 12 ударах баби копра.
4. Визначити міцність зразків на стиснення у сирому стані при 3, 6, 9 та 12 ударах баби копра.
5. Визначити текучість формувальної суміші за методом Орлова при різному ущільненні суміші

3.2.2. Визначення механічних властивостей сумішей

Опис важільного приладу типу 051 (рис.3.1) [9]:

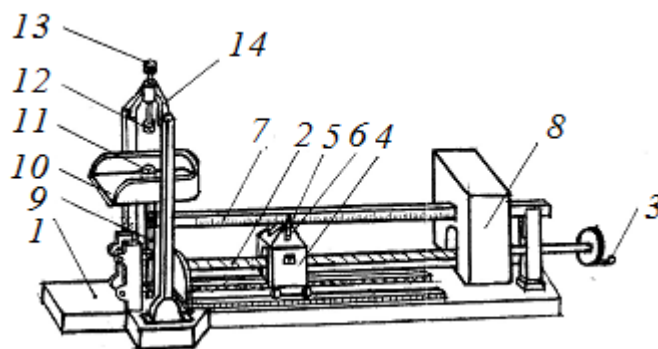


Рис. 3.1. Важільний прилад типу 051: 1 – станина; 2 – ходовий гвинт; 3 – рукоятка; 4 – каретка; 5 – показчик; 6 – ролик; 7 – градуйований важіль; 8 – вантаж; 9 – стержень; 10 – лоток; 11 – горизонтальна площадка; 12 – верхня площадка; 13 – гвинт; 14 – траверса.

На станині 1 на двох підшипниках закріплено ходовий гвинт 2. При обертанні рукоятки 3 ходовий гвинт 2 переміщує каретку 4 з укріпленим на ній показчиком 5. На верхній ролик 6 каретки 4 опирається градуйований важіль 7, на одному кінці якого встановлено вантаж 8. Протилежний кінець важеля 7 шарнірно сполучено з вертикальним стрижнів 9, на верхньому кінці якого закріплено лотік 10 із горизонтальною площадкою 11. На площадку 11

встановлюють досліджуваний зразок, який своєю верхньою площиною упирається в верхню площадку 12, зв'язану з гвинтом 13 кульової п'ятою. Гвинт 13 проходить крізь спрямовану гайку траверси 14.

Перевірка приладу на точність. Поворотом рукоятки 3 встановлюють показчик 5 каретки 4 на позначку «0». При цьому важіль 7 повинен стати у положення рівноваги. Показання фіксують за позначкою на градуйованому важелі з того боку показчика, який проходить крізь центр верхнього ролика каретки 4.

На площадку 11 встановлюють вантаж масою 98,15 г і поворотом рукоятки 3 встановлюють показчик 5 каретки 4 на рівновагу позначку 0,5. За цих умов важіль 7 повинен стати в положення рівноваги.

3.2.2.1. Визначення міцності суміші на стиснення

Показчик 5 каретки установлюють на позначку «0» шкали важеля приладу 051. Циліндричну гільзу, в якій знаходиться зразок, встановлюють на виштовхувач і повільно знімають із зразка. Для того щоб зразок залишався на виштовхувачі, останній має бути трохи вищий за гільзу. Зразок обережно знімають із виштовхувача і переносять на нижню площадку 11 приладу для дослідження на стиснення.

Якщо суміш має дуже низьку міцність у сирому стані і зразок неможливо виштовхнути і зняти з виштовхувача без його руйнування, використовують спеціальну розрізну гільзу, що з'єднується хомутиками з гвинтами. Над зразком встановлюють верхню горизонтальну площадку 12. Перевіряють розташування зразка у центрі обох площадок. Гвинтом 13 верхню горизонтальну площадку 12 щільно притискують до верхньої горизонтальної поверхні зразка.

Поворотом рукоятки 3 повільно переміщують каретку в напрямку до зразка. Рукоятку повертають рівномірно зі швидкістю 40 об/хв, що відповідає переміщенню каретки на всю довжину шкали за одну хвилину.

Умить руйнування зразка обертання рукоятки завершують. Показники необхідно фіксувати з точністю до $0,01 \text{ кг/см}^2$ (0,001 МПа).

Ретельно очищують площадку і лотік від залишків зруйнованого зразка. Випробування на міцність повторюють на трьох зразках, зроблених із матеріалу тієї самої проби. Як показник міцності беруть середнє арифметичне із трьох зразків.

Якщо дані якогось із зразків відрізняються від середнього арифметичного більш ніж на 10 %, випробування повторюють на трьох зразках, виготовлених із свіжого матеріалу тієї самої проби.

Таблиця 3.1 – Міцність на стиснення зразків після 3, 6, 9, 12 ударів баби копра

Номер зразка	Кількість ударів баби копра			
	3	6	9	12
Міцність на стиснення кг/см ² (МПа)				
1				
2				
3				
Середнє арифметичне значення				

Якщо при повторному випробуванні теж буде спостерігатися велика різниця в показниках міцності трьох зразків, то таку суміш бракують. Подібні випробування проводять на зразках, виготовлених при 3, 6, 9, 12 ударах баби копра.

Висота зразків, виготовлених 3, 6, 9 та 12 ударами баби копра, має бути однаковою і дорівнювати $50 \pm 0,8$ мм, для чого при збільшенні кількості ударів баби копра необхідно збільшувати вагу суміші для виготовлення зразків.

Показники випробування заносять до табл. 3.1 і будують графік залежності міцності суміші від ступеня її стиснення (кількості ударів баби копра).

3.2.2.2. Визначення твердості зразка

Твердість сирих зразків (стандартних циліндричних) і форм характеризується опором суміші при зануренні в неї кульового наконечника твердоміра типу 071 (рис. 3.2) на глибину 0–5 мм під навантаженням 0,2–1,0 кг.

Досліджуваний зразок встановлюють на рівній горизонтальній поверхні. Натисканням кнопки стрілку приладу встановлюють на «0», якщо не виходить, то встановлюють стрілку на «0» поворотом шкали циферблата. Для визначення твердості твердомір беруть до правої руки циферблатом до себе і щільно

притискують всією опорною поверхнею до випробуваної поверхні зразка. Твердомір знімають із зразка і за показчиком стрілки на циферблаті визначають твердість. Твердість визначають на трьох зразках. Як показник твердості беруть середнє арифметичне значення з трьох показників.

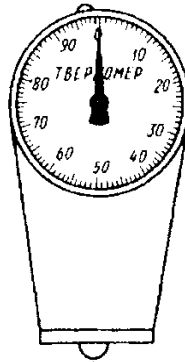


Рис. 3.2. Прилад 071 для визначення твердості сирих форм та стрижнів

Твердість визначають на зразках, виготовлених на 3, 6, 9 та 12 ударах баби копра. Висота усіх зразків має бути $50 \pm 0,8$ мм.

Таблиця 3.2 – Твердість зразків після 3, 6, 9, 12 ударів баби копра

Номер зразка	Твердість зразка при кількості ударів баби копра			
	3	6	9	12
1				
2				
3				
Середнє арифметичне				

Показники випробування заносять до табл. 3.2 і будують графік залежності твердості зразка від ступеня стиснення суміші (кількості ударів баби копра).

3.2.3. Визначення вологості сумішей

Існуючі методи визначення і контролю вологості формувальних і стрижневих сумішей можна поділити на основні дві групи:

– прямі методи безпосереднього фізичного або хімічного визначення вологості;

– непрямі методи, засновані або на вимірюванні властивостей формувальних сумішей, залежних від вологості, або на вимірюванні інтенсивності перебігу в суміші якихось процесів, залежних від вологості, при дії якого-небудь зовнішнього фактора.

Визначення вологості суміші, тобто утримування в ній вільної та гігроскопічної води, вираженої у відсотках до маси вологої суміші, проводять так [10]. Наважку $50 \pm 0,1$ г випробуваної суміші поміщають у висушену та зважену фарфорову чашу. Ставлять фарфорову чашу з наважкою у піч і сушать при температурі $110\text{--}120$ °С протягом однієї години. Виймають чашу з наважкою з печі і зважують, після чого її знову ставлять у піч на 15 хв і сушать. Повторюють операцію сушіння і зважування до одержання постійної маси наважки суміші. Після висушування наважку ставлять в ексікатор, охолоджують до кімнатної температури і зважують.

Визначають вологість, %

$$X = \frac{G - G_1}{G} , \quad (3.2)$$

де G , G_1 – відповідно маса наважки суміші до і після висушування, г.

3.2.4. Визначення текучості суміші сумішей за методом Орлова

Текучість формувальної суміші істотно впливає на рівномірність її ущільнення (рис. 3.3).

Для визначення текучості (рис. 3.3) необхідно:

- зважити порцію формувальної суміші $110\text{--}120$ г;
- вставити гільзу *1* на піддон *3*;
- вставити у гільзу вкладиш *5*;
- вставити гільзу *1* на піддон *3*;
- вставити у гільзу вкладиш *5*;
- просіяти наважку суміші крізь сито $2,5$.

Заповнювати гільзу необхідно так, щоб формувальна суміш без додаткового ущільнення спочатку заповнювала заглибину між вкладишем та гільзою, а потім – останню частину гільзи.

Ущільнюють формувальну суміш у гільзі 3, 6, 9, 12-ма ударами баби копра 4. Висота зразка у кожному випадку має бути $50 \pm 0,8$ мм.

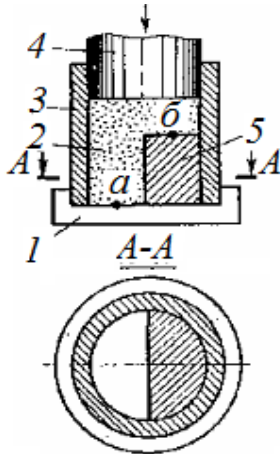


Рис. 3.3. Зразок для визначення текучості за методом Орлова: 1 – гільза; 2 – зразок; 3 – піддон гільзи; 4 – баба копра; 5 – вкладиш.

Встановлюють зразок 2 разом із гільзою 1 на виштовхувач і знімають з гільзи піддона 3. Визначають твердоміром твердість зразка у точці «А».

Гільзу опускають уздовж виштовхувача до висоти вкладиша 30 мм. Знімають із зразка 2 вкладиш 5. Визначають твердоміром твердість зразка у точці «В».

Розраховують текучість формувальної суміші

$$T = \frac{T_A}{T_B} \cdot 100 \%, \quad (3.3)$$

де T_A , T_B – твердість зразка у точках «А» та «В».

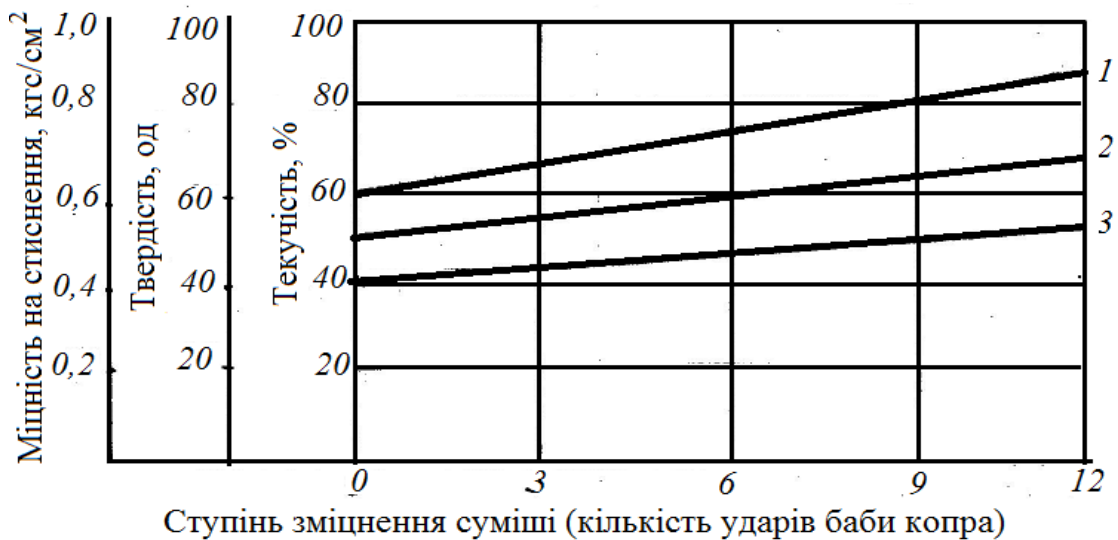


Рис. 3.4. Вплив ступеня стиснення суміші на її властивості
Визначають текучість на трьох зразках.

Як показник текучості беруть середнє арифметичне з трьох замірів.

Заносять дані визначення до таблиці і будують графік залежності міцності на стиснення, твердості та текучості формувальної суміші від ступеня її ущільнення (рис. 3.4).

3.3. Висновки

Вміти визначати механічні властивості формувальних та стрижневих сумішей у сирому стані, визначати вплив на міцність на стиснення у сирому стані таких чинників, як величина ущільнення суміші, вид та кількість сполучного матеріалу. Також вміти визначати кількість вологи в суміші

3.4. Оформлення звіту

3.4.1. Навести склад формувальної суміші та послідовність її приготування.

3.4.2. Визначення вологості суміші.

3.4.3. Таблиці висновків визначення міцності, твердості та графіки їх залежності від ступеня ущільнення суміші (кількість ударів баби копра).

3.4.4. Висновки.

Лабораторна робота 4

ТЕМА: ВИЗНАЧЕННЯ МІЦНОСТІ ФОРМУВАЛЬНОЇ СУМІШІ У ВИСУШЕНОМУ СТАНІ

4.1. Підготовка до лабораторної роботи

4.1.1. Мета роботи

Ознайомлення з устаткуванням, приладами та методами визначення механічних властивостей формувальних сумішей у сухому або в затверділому стані.

4.1.2. Обладнання інструменти та матеріали

Для проведення роботи з визначення механічних властивостей формувальних сумішей у сухому стані необхідно підготувати:

- лабораторні змішувальні бігуни;
- лабораторний копер з масою падаючого вантажу $6,35 \pm 0,015$ кг;
- універсальний прилад з комплектом приготувань для випробування зразків при розриванні, стисненні, зрізу;
- прилад для визначення поверхневої міцності на обсіпання;
- шафу сушильну з температурою сушки до 300 °С;
- секундомір;
- технічні терези з рівновагами;
- ексікатор місткістю $3 \dots 6$ кг;
- гільзу не рознімну з внутрішнім діаметром 50 мм та висотою 120 мм;
- підставки та виштовхувачі; помірні мензурки, циліндри;
- вихідні матеріали для приготування формувальної суміші.

4.1.3. Методичні вказівки

4.1.3.1. Класифікація сухих сумішей

До сухих належать суміші, які висушують воду, що не входить до складу мінералів, та суміші, в яких проходять процеси полімеризації, поліконденсації, а також хімічні процеси полімеризації, поліконденсації або інші хімічні

процеси, що приводять до їх зміцнення. Міцність зразка у висушеному або затверділому стані позначається за видом навантаження.

4.1.3.2. Міцність на стиснення у сухому стані

Відповідно до ГОСТ 23402.9-78 (міцність у «сухому» стані) міцність формувальних і стрижневих сумішей оцінюють граничною величиною навантаження, при якій руйнували ущільнений зразок суміші [8].

Міцність визначали при різних видах навантаження – при стисненні, розтягненні і вигині : характеризується вона відношенням руйнівного навантаження « P » до площі поперечного перерізу зразка « F »:

4.1.3.3. Обсипальність (поверхнева міцність)

При випробуванні міцності формувальних сумішей на кожний вид деформації завжди визначають загальну її міцність. Зерна, що знаходяться усередині суміші, з усіх боків зв'язані плівкою сполучного з іншими зонами і тому мають більш високе значення між собою. Зерна ж, які знаходяться на поверхні зерна (форми), зв'язані з основою тільки з внутрішнього боку і тому мають більш низьке зчеплення. Найбільше на якість виливок впливає поверхнева міцність, тому що динамічні дії течії рідкого металу сприймаються, насамперед, поверхневими шарами форми та стрижня.

Відповідно до ГОСТ 23409.9-78, обсипальність характеризує кількість втрати маси поверхневого шару зразка за одиницю часу при терті його зі стінками сітчастого барабана [11].

4.1.3.4. Вибивальність (залишкова міцність)

Вибивальністю називають залишкову міцність, що виникає в суміші після заливання виливків рідким металом і їх охолодження.

Залишкова міцність залежить від таких факторів: температури плавлення металу, товщини стінок виливка, природи хімічного складу, кількості сполучного матеріалу та спеціальних добавок у склад суміші.

Стандартна методика визначення вибивальності полягає у визначенні роботи, що витрачається на вибивання (пробивання) зразків, попередньо нагрітих до різних, заданих умовами дослідження, температур [12].

Однак одним із найпростіших і доступних методів кількісної оцінки вибивальності було визначення залишкової міцності нагрітих та охолоджених стандартних зразків.

4.1.3.5. Живучість суміші

Живучість розуміють як технологічні властивості, що характеризують тривалість збереження сумішшю основних властивостей [12].

Живучість самотвердіючих сумішей є основним параметром, що обмежує цикл виробництва стрижнів і ливарних форм і, отже, визначає необхідну механізацію та автоматизацію процесу.

4.2. Проведення лабораторної роботи

4.2.1. Порядок проведення лабораторної роботи

Послідовність виконання та обсяг роботи

- приготувати в лабораторних бігунах 3–5 кг формувальної суміші;
- визначити вологість суміші;
- виготовити 6 зразків для визначення міцності на стиснення;
- визначити міцність зразків на стиснення на установці для визначення межі міцності формувальних і стрижневих сумішей мод. 04116У з пристосуванням для стиснення сухих зразків до 15 МПа;
- визначити поверхневу міцність суміші на обсипальність.

4.2.2. Порядок визначення міцності на стиснення в сухому стані

Випробування міцності на стиснення сумішей проводилися на установці для визначення границі міцності формувальних і стрижневих сумішей мод. 04116У з пристосуванням для стиснення сухих зразків до 15 МПа, виготовленим УкрНІІЛітмаш на спеціальне замовленням НТУ «ХП».

На рис. 4.1 показано схему установки для дослідження параметрів міцності на стиснення.

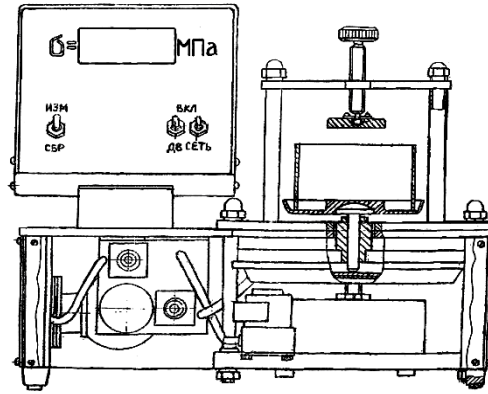


Рис. 4.1. Схема установки для дослідження параметру міцності на стиснення

Випробування зразків на машині виконується так. Випробуваний зразок встановлюється на тарілку і підтискується рухомим упором. Зразок не повинен виступати за контури посадкового місця на тарілці і притискного диска рухомого упора, більш ніж на 0,5 мм, якщо це неможливо забезпечити, то слід перевірити розміри зразка або перевірити і провести центрування машини. При увімкненні машини починає працювати компресор, спрацьовує пневморозподільник.

Після руйнування зразка двигун компресора автоматично вимикається, повітря з робочої камери мембранного пневматичного силозуюджувача стравлюється в атмосферу пневморозподільника.

Показання знімаються з цифрового табло машини.

Визначення міцності суміші на розрив виконували згідно з ГОСТ 23409.7-78 (див. рис. 4.2) «Піски формувальні, суміші формувальні і стрижневі. Методи визначення міцності на стиснення, розтяг, вигин і зріз» [8].

4.2.3. Порядок визначення обсіпальності (поверхневої міцності)

Для визначення обсіпальності застосовують стандартний циліндричний зразок діаметром $50 \pm 0,2$ мм та заввишки $50 \pm 0,8$ мм і прилад типу 056 рис. 4.2.

Прилад 056 – це сітчастий барабан діаметром 110 мм, що обертається зі швидкістю 60 ± 5 об/хв., у суворо горизонтальному положенні. Стінки барабана виготовлені із сітки № 2,5 за ГОСТ 6613-73 (рис. 4.2).

Легенько обертають кромки зразка, після чого його зважують із точністю до 0,01 г, вставляють у сітчастий барабан і вмикають прилад. Обертання продовжується протягом однієї хвилини. Зразок при випробуванні не повинен пересуватися у барабані та упиратися в дно. Після однієї хвилини обертання

прилад вимикають, зразок виймають з барабана і зважують із точністю до 0,01 г.

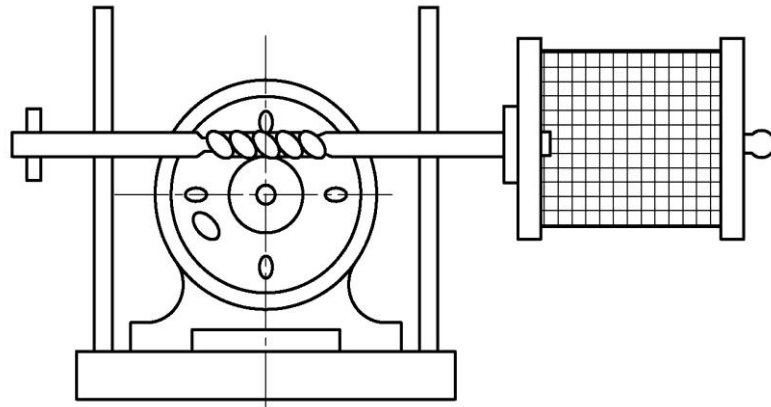


Рис. 4.2. Прилад для визначення обсипальності

Обсипальність визначають на трьох зразках у відсотках до початкової маси зразка:

$$O = \frac{P_1 - P_2}{P_1} 100 \% , \quad (4.2)$$

де P_1, P_2 – відповідно маса зразка початкова та після визначення.

Як показник обсипальності беруть середнє арифметичне значення з визначення трьох зразків.

Якщо дані будь-якого із зразків відмінні від середнього значення більше ніж на 20 %, визначення проводять повторно на трьох нових зразках, виготовлених із свіжих матеріалів тієї самої проби.

4.2.4. Порядок визначення вибивальності (залишкової міцності)

Суть методу полягає в такому: виготовлені стандартні циліндричні зразки витримували протягом 24 годин, після чого їх поміщали в муфельну піч і витримували при температурі 800 °С протягом 1 години. Потім їх охолоджували разом із піччю на повітрі і випробовували на міцність.

Різниця показань міцності зразків, що витримувалися 24 години, і зразків, що зазнали теплової обробки, побічно характеризує параметр вибивальності виливків.

Велика перевага методу оцінки вибивальності суміші за залишковою міцністю стандартних зразків полягала у можливості варіювання в широких межах швидкостей нагріву й охолодження стрижнів та у відсутності кірки пригару. Визначення залишкової міцності суміші на стискання після термічної дії виконували згідно з ГОСТ 23409.7-78 «Піски формувальні, суміші формувальні і стрижневі. Методи визначення міцності на стискання, розтяг, вигин і зріз».

4.2.5. Порядок визначення живучості суміші

Більш обґрунтованим є метод оцінки живучості суміші, що полягає в такому: з виготовленої самотвердіючої суміші через певні інтервали часу виготовляли зразки, що витримували протягом певного часу, потім випробовували на міцність. Час, що минув з моменту приготування суміші до моменту виготовлення зразків, міцність яких виявилася на 15 % нижчою від міцності зразків, виготовлених відразу ж, характеризувало живучість суміші.

Тривалість збереження сумішшю фізико-механічних властивостей залежить від природи сполучного матеріалу суміші, а також від інтенсивності зменшення в ній вологи. Як показник живучості холоднотвердіючих сумішей зазвичай застосовували тривалість проміжку часу (в хвилинах), після закінчення якого значення її міцності знижувалося на 30 від максимального.

4.3. Висновки

Вміти визначати такі властивості формувальних сумішей в сухому або в затверділому стані як міцність на стиснення, обсіпальність, залишкову міцність (вибивальність) та вологість сумішей.

4.4. Оформлення звіту

4.4.1. Привести склад суміші.

4.4.2. Визначити міцності зразків стиснення.

4.4.3 Визначити обсіпальності зразків у відсотках

4.4.4 Визначити залишкову міцність (вибивальність).

4.4.5 Привести таблицю висновків визначення з розрахунком середнього арифметичного їх значення.

4.4.6 Зробити висновки.

Лабораторна робота 5

ТЕМА: ВИЗНАЧЕННЯ ГАЗОПРОНИКНОСТІ ФОРМУВАЛЬНОЇ СУМІШІ

5.1.1 Підготовка до лабораторної роботи

5.1.2. Мета роботи

Ознайомлення з методами визначення газопроникності формувальних сумішей нормальним та прискореним способами, вивчення впливу на газопроникність стиснення сумішей.

5.1.2. Обладнання інструменти та матеріали

Для виконання роботи з визначення газопроникності формувальних сумішей необхідно підготувати:

- лабораторні змішувальні бігуни;
- лабораторний копер із масою падаючого вантажу $6,35 \pm 0,0015$ кг;
- прилад для визначення газопроникності, тип ФП-2У;
- секундомір;
- технічні терези з рівновагою;
- ексикатор міцністю 3–5 кг;
- гільзи сталеві з внутрішнім діаметром 50 мм та заввишки 120 мм;

5.1.3. Методичні вказівки

5.1.3.1. Загальні відомості про газопроникність сумішей

Газопроникність і газоутворення належать до групи гідравлічних властивостей сумішей, визначають якісний та кількісний характер газового потоку в формах і стрижнях. При несприятливому відношенні між газопроникністю та газоутворенням формувальної суміші чиниться порушення

напрямку газового потоку, що може призвести до появи у виливках таких дефектів, як газові раковини.

Газопроникність формувальної суміші, тобто її властивість пропускати через себе гази, вимірюється швидкістю, з якою газ проходить через одиницю площі під певним тиском на одиницю довжини. Вона залежить від багатьох факторів: в'язкості, зернового складу піску, типу та кількість сполучного матеріалу, вологості суміші та ступінь її ущільнення.

Газопроникність визначають пропусканням повітря при кімнатній температурі через циліндричний зразок діаметром $50\pm 0,2$ та $50\pm 0,8$ мм досліджуваної суміші [12].

Газопроникність нормальним методом визначають за формулою :

$$K = \frac{Q\tau}{F\Delta P}, \quad (5.1)$$

де K – число газопроникності; Q – кількість повітря, що проходить через зразок досліджуваної суміші, см^3 ; $f\tau$ – висота зразка, см ; F – площа поперечного перерізу зразка, см^2 ; ΔP – тиск, під яким повітря проходить через зразок, г/см^2 (Па); T – час проходження через зразок маси повітря Q .

За стандартом при визначенні газопроникності нормальним методом через зразок пропускають $Q = 2000 \text{ см}^3$ ($0,02 \text{ м}^3$) повітря, висота зразка має бути $f = 5 \text{ см}$ ($0,05 \text{ м}$), діаметр зразка – 5 см ($0,05 \text{ м}$). Підставивши ці дані у формулу (5.1), одержимо

$$K = \frac{2000 \cdot 5}{\pi \frac{5^2}{4} \Delta P} = \frac{509,5 \cdot 60}{\Delta P t} \quad (5.2)$$

Таким чином, при визначенні газопроникності нормальним методом заміряють час проходження 2000 см^3 ($0,02 \text{ м}^3$) повітря через зразок і середній тиск, під яким повітря проходить через зразок. Дані вимірювання підставляють у формулу, за якою визначають газопроникність суміші.

5.1.3.2. Швидкісний метод визначення газопроникності

Нормальний метод визначення газопроникності, що вимагає пропускання через зразок 2000 см³ повітря, довгий і потребує допоміжних розрахунків. На виробництві часто застосовують швидкісний метод. Метод швидкісного визначення газопроникності випливає з формули (5.1)

$$K = \frac{Qt}{F\Delta Pt} = \frac{Q}{Pt} \cdot \frac{\tau}{\Delta P} \quad (5.3)$$

Вираз $\frac{Q}{Pt}$ це швидкість витікання газу, який може бути визначений із формули:

$$V = C_x \sqrt{P - \Delta P}, \quad (5.4)$$

де P – тиск повітря під дзвоном при нульовій газопроникненні, що в стандартному приладі дорівнює 10 см вод.ст. (9,8 Па); ΔP – тиск під зразком; Q – коефіцієнт.

Після підстановки у формулу (5.1) замість $\frac{Q}{Pt}$ його значення з формули (5.2) одержимо

$$K = \frac{C_x \sqrt{P - \Delta P}}{\Delta P} \tau \quad (5.5)$$

При визначенні газопроникності прискореним методом на шляху руху повітря з дзвона ставлять додатковий опір у вигляді одного з двох каліброваних ніпелів з отвором 0,5 або 1,5 мм.

При встановленні ніпеля з отвором 0,5 мм опускання дзвона від «0» до «2000» продовжується 4,5 хвилини, а при установленні ніпеля з отвором 1,5 мм – 0,5 хв. Тоді, прийнявши переріз зразка $F = 20$ см², коефіцієнт C_x розраховують із виразу

$$C_x = \frac{V}{\sqrt{P - \Delta P}} = \frac{Q}{Pt - \Delta P} \quad (5.6)$$

При $\Delta P = 0$ та $P = 10$ см вод. ст. (9,8 Па) для ніпеля з отвором 1,5 мм

$$C_{1,5} = \frac{2000}{20 \cdot 0,5 \cdot 10} \quad (5.7)$$

Аналогічно для ніпеля з отвором 0,5 мм маємо

$$C_{0,5} = \frac{2000}{20 \cdot 4,5 \cdot 10} \cdot \quad (5.8)$$

Підставивши значення C_x для ніпеля з отвором 0,5 та 1,5 мм, одержимо формули для визначення газопроникності прискореним методом

$$K_{1,5} = 315 \sqrt{\frac{10 - \Delta P}{\Delta P}}, \quad (5.9)$$

$$K_{0,5} = 35 \sqrt{\frac{10 - \Delta P}{\Delta P}}, \quad (5.10)$$

з яких видно, що для визначення газопроникності, цим методом необхідно знати тільки значення тиску повітря перед зразком, виміряного за допомогою манометра.

Величина газопроникності, розрахована за формулою для прискореного визначення газопроникності, відрізняється від величини газопроникності тих самих зразків, визначених нормальним методом. Це пояснюється тим, що при витіканні повітря через калібрований отвір спостерігається зміна густини повітря та поява вихорів. Тому при прискореному методі визначення газопроникності та нормальними методами з урахуванням поправок.

5.2. Проведення лабораторної роботи

5.2.1. Порядок проведення лабораторної роботи

У лабораторних бігунах приготувати 3–5 кг формувальної суміші.

Виготовити по три циліндричних зразки при 3, 6, 9 та 12 ударах баби копра. Висота всіх зразків має бути однаковою ($50 \pm 0,3$ мм), для чого зі збільшенням кількості ударів баби копра необхідно збільшувати і вагу суміші для зразка. При виготовленні зразка необхідно слідкувати, щоб при зніманні гільзи з копра, відділенні піддона та уставленні гільзи на прилад для визначення газопроникності, зразок у гільзі не був зсунутий з місця.

Визначити газопроникність зразків, виготовлених при 3, 6, 9 та 12 ударах баби копра нормальним і прискореним способами, викреслити графік залежності газопроникності від ступеня ущільнення зразків.

5.2.2. Стислий опис приладу для визначення газопроникності (рис. 5.1)

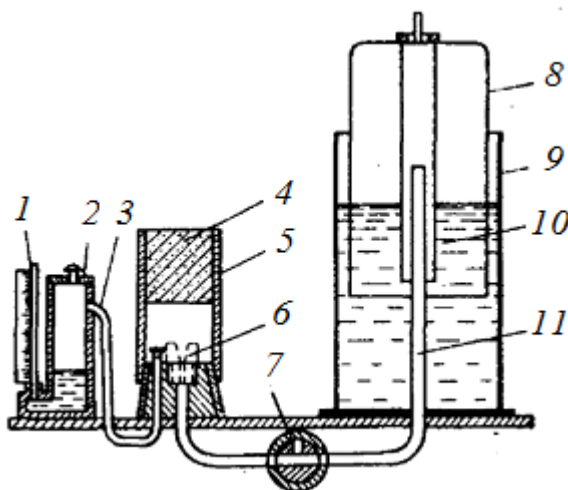


Рис. 5.1. Схема приладу для визначення газопроникності

Визначення газопроникності суміші на цьому приладі роблять у такий спосіб. Спочатку в гільзі 5 ущільнюють стандартний зразок суміші діаметром і заввишки 50 мм. Потім гільзу зі зразком суміші 4 зміцнюють на приладі. Відкриттям триходового крана 7 по трубці 11 через зразок пропускають 2000 см повітря, що знаходиться під ковпаком 8, розташованим у баку 9. Замірювання виникає під зразком тиску повітря виробляють за допомогою манометра 1.

Тривалість проходження повітря заміряють секундоміром. При прискореному методі визначення газопроникності використовують ніпель 6, укріплений в отворі, через який надходить під зразок повітря.

В цьому випадку виникає під зразком тиск, що при відповідному градуюванні шкали манометра буде характеризувати значення газопроникності суміші.

5.2.3 Підготовка приладу до випробування

За допомогою встановлених гвинтів прилад встановлюють у горизонтальне положення. Наливають воду в бак 9 до рівня 120 мм нижче верхньої її кромки. Наливають воду в манометр до позначки «0» на його шкалі. Регулюють масу дзвона, опущеного в бак, при закритому крані 7.

Плавно опускають дзвін у бак (воду). За цих умов верхня кромка бака має бути навпроти позначки «X» на дзвоні. Це досягається збільшенням або зменшенням води в баці.

Встановлюють порожню гільзу 5 та її верхній отвір щільно закривають спеціальною пробкою або долонею

Ставлять кран «7» у положення «випробування». При цьому в манометрі I тиск повинен дорівнювати 10 см вод.ст. Це досягається встановленням або зняттям додаткового вантажу.

Перевіряють калібровані ніпелі 6:

а) на кінець повітропроводу надягають ніпель 6 з отвором 0,5 мм. Ставлять кран у положення «випробування». Час опускання дзвона в цьому разі має дорівнювати бути рівно 30 с.

Ставлять кран у положення «відкрито», дзвін у цьому випадку опуститься до дна бака.

Наприкінці кожного робочого дня необхідно:

- а) випустити воду з бака;
- б) добре витерти бак і дзвін;

Отвір ніпеля не дозволяється чистити дротом чи іншими металевими предметами.

Невикористані ніпелі 6 необхідно зберігати в бічних гніздах підставки приладу.

5.2.4. Визначення газопроникності нормальним методом

Ставлять кран у положення «відкрито».

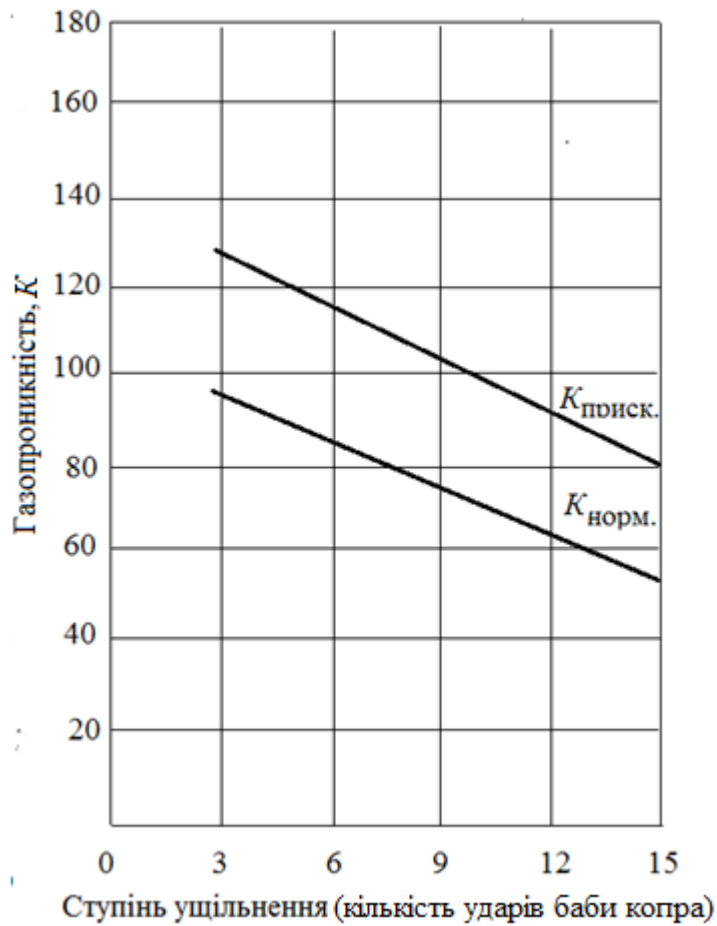


Рис. 5.2. Ступінь ущільнення (кількість ударів баби копра)

Вставляють гільзу 5 зі вставленим у неї зразком 4, виготовленим стандартним способом.

Ставлять кран у положення «випробування», за цих умов дзвін почне опускатися. В момент проходження дзвоном позначки «0» вмикають секундомір. У момент проходження дзвоном позначки «1000» фіксують показання манометра 1.

У момент проходження позначки «2000» зупиняють секундомір. Тиск водяного стовпа фіксують у момент проходження дзвоном позначки «1000».

Газопроникність « K » розраховують за формулою (5.1). Визначення газопроникності проводять на трьох зразках з однієї і тієї самої проби формувальної суміші. Як показник газопроникності беруть середнє арифметичне значення з трьох випробувань.

Подібні визначення проводять на зразках, виготовлених при 3, 6, 9 та 12 ударах баби копра. Якщо висновки випробування якогось із зразків відрізняються від середнього арифметичного значення більш ніж на 10 %, то

випробування проводять на трьох нових зразках, виготовлених із свіжих матеріалів тієї проби. Висновки випробувань заносять до табл. 5.1 і будують графік залежності газопроникності від ступеня ущільнення суміші (рис. 5.2).

5.2.5. Визначення газопроникності прискореним методом

Повільно піднімають дзвін до позначки « K » і ставлять кран у положення «закрито». Надягають на кінець повітропроводу калібрований ніпель b з отвором 0,5 або 1,5 мм (залежно від нормальної газопроникності, якщо $K_{\text{норм}} > 50$, то ніпель з отвором 1,5 мм, а якщо $K_{\text{норм}} < 50$, то ніпель з отвором 0,5 мм) закривають ніпель кришкою.

Таблиця 5.1 – Розрахунок величини газопроникності нормальним та прискореним методами

Ступінь ущільнення баби копра	Номер зразка	Нормальний				Прискорений				Відхилення $K_{\text{приск}}$ від $K_{\text{норм}}$
		σ	P , г/см ²	K , см/г·хв ⁴	середнє арифметичне, K	діаметр ніпеля	P , г/см ²	K , см/г·хв ⁴	середнє арифметичне, K	
3	1									
	2									
	3									
6	1									
	2									
	3									
9	1									
	2									
	3									
12	1									
	2									
	3									

Вставляють у чашу затвора 13 гільзу 11, в якій знаходиться зразок, виготовлений і ущільнений при 3, 6, 9, 12-ти ударах баби копра. Ставлять кран у положення «випробування». При опусканні дзвона фіксують показання

манометра. Газопроникність визначають за однією із таблиць, що розміщені на приладі.

Випробування проводять на трьох зразках. Їх висновки заносять до табл. 5.1 і будують графік залежності газопроникності від ступеня ущільнення суміші (рис. 5.2).

5.3. Висновки

Ознайомитися з методами визначення газопроникності формувальних сумішей нормальним та прискореним способами. Вивчити вплив ступеня стиснення на газопроникність сумішей.

5.4. Оформлення звіту

5.4.1. Навести склад суміші.

5.4.2. Навести схема приладу.

5.4.3. Вказати методики визначення газопроникності нормальним методом.

5.4.4. Вказати методика визначення газопроникності прискореним методом.

5.4.5. Привести розрахунок газопроникності нормальним методом.

5.4.6. Навести таблицю результатів випробувань і графіки залежності газопроникності від ступеня ущільнення суміші при визначенні її нормальним та прискореними методами.

5.4.7. Зробити висновки.

Лабораторна робота 6

ТЕМА: ВИЗНАЧЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ РІДКОТЕКУЧИХ САМОТВЕРДІЮЧИХ ФОРМУВАЛЬНИХ СУМІШЕЙ

6.1. Підготовка до лабораторної роботи

6.1.1. Мета роботи

Ознайомлення з обладнанням, приладами, технологією одержання холоднотвердіючих сумішей (ХТС), а також способами визначення їх властивостей.

6.1.2. Обладнання, інструмент і матеріали

Для проведення роботи з визначення властивостей холоднотвердіючих сумішей необхідно підготувати:

- лабораторний лопатевий змішувач, або чашу з товкачиком місткістю 2,0 кг;
- універсальний прилад мод. 04116У з комплектом пристосувань для визначення міцності на стиснення;
- терези лабораторні;
- секундомір;
- ексикатор, мірні циліндри, мензурки;
- лінійку, штанген циркуль.

Вихідні матеріали при виготовленні ХТС:

- кварцовий пісок;
- ацетати етиленгліколю (АЦЕГ);
- рідке скло (РС);
- моноацетати етиленгліколю (МАЕГ);
- етиленгліколю (ДАЕГ);
- добавки етилсилікату марки ЕС-40;
- тетраетоксисилан (ТЕОС).

Кварцовий пісок (повинен містити глини не більше ніж 1,0 %) висушений і охолоджений до кімнатної температури необхідно просіяти крізь сито № 1,0. Рідке скло ($M = 2,45 \dots 3$; $\gamma = 1,44 \dots 1,52$) повинне бути чистим.

6.1.3. Методичні вказівки

6.1.3.1. Загальні відомості про рідке скло

Рідке скло – водяний розчин силікат-брила, що являє собою твердий аморфний сплав розчинного скла загального складу $R_2O \cdot mSiO_2$, де R – натрій або калій, m – кількість молекул SiO_2 , що доводяться на одну молекулу лужних оксидів [13].

Основною характеристикою рідкого скла є силікатний модуль, що визначається відношенням кількості грам-молекул діоксиду кремнію SiO_2 до кількості грам-молекул оксиду натрію Na_2O :

$$M = 1,032 \frac{SiO_2 \%}{Na_2O \%}, \quad (6.1)$$

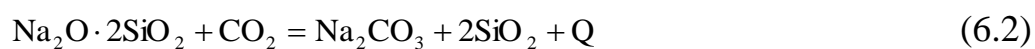
де 1,032 – відношення молекулярних мас оксиду натрію і діоксиду кремнію.

Згідно з ГОСТ 13078-81, рідке скло, залежно від силікатного модуля, поділяється на три марки: А – з модулем 2,31...2,60; Б – 2,61...3,0; В – 3,01...3,5 [3]. Для ливарних форм і стрижнів, тужавіння яких відбувається за допомогою продування CO_2 , цей процес має бути особливо швидким, і для цього доцільно застосовувати рідке скло з модулем $M = 2,6-3,0$.

Зі збільшенням модуля зростає міцність формувальної або стрижневої суміші у вологому стані, але зменшується в сухому. Скріплення піщинок за допомогою рідкого скла полягає в тому, що в суміші відбувається виділення і гідратація кремнезему, який розчиняється у залишку рідкого скла.

Весь процес перебігає в три стадії:

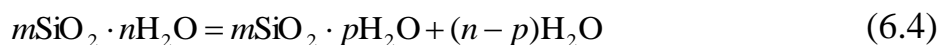
1) розкладання силікату натрію, що перебігає значно інтенсивніше у присутності вуглекислого газу:



2) утворення гелю кремнієвої кислоти:



3) в останній стадії частково видаляється волога, що входить до складу гелю кремнієвої кислоти:



При гідратації води до кремнезему може приєднатися різна кількість води. Найміцнішу плівку геляю дає сполука $2\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, що містить близько 13 % води. Цим пояснюється порівняно низька міцність сумішей, що т ужавіють у результаті продування холодним вуглекислим газом.

Процес утворення кремнегелю може бути поданий і так:

$\text{Si}(\text{OH})_4$ $\xrightarrow{\text{полімеризація}}$ колоїдні частинки (золь $\xrightarrow{\text{агрегація}}$ тривимірний просторо – вий каркас із агрегованих частинок кремнекислоти.

6.1.3.2. Загальні відомості про отверджувачі сумішей з рідким склом

У цей час найбільшого поширення в ливарних цехах набули ХТС на рідкому склі з хімічним твердінням двох типів: твердіння вуглекислим газом і самотвердіючі суміші, що тверднуть у результаті взаємодії рідкого скла з порошкоподібними або рідкими мінеральними чи органічними отверджувачами (пластичні самотвердіючі суміші ПСС і рідкі самотвердіючі суміші РСС). Але при CO_2 -процесі в'язучі властивості рідкого скла реалізуються слабко (до 20 %), що призводить до збільшення його вмісту в суміші і погіршення вибивальності, тому для ХТС на рідкому склі застосовують рідкі отверджувачі. Їх застосування дозволило більш повно використовувати властивості рідкого скла, зменшити його витрату до 2,5...4 % і тим самим різко поліпшити (в 1,5...2 рази) вибивальність форм і стрижней. Витрата рідкого отверджувача при цьому достатньо мала – 10...12 % від маси рідкого скла [14].

Рідкими отверджувачами ХТС на рідкому склі зазвичай є слабкокислі речовини, що забезпечують певну швидкість твердіння і міцність ХТС. Найпридатнішими з рідких отверджувачів виявилися складні органічні ефіри.

АЦЕГ являє собою складний ефір, який отримують шляхом взаємодії органічної кислоти (оцтової) з багатоатомними спиртами (етиленгліколь). Діацетат етиленгліколю (ДАЕГ) і моно ацетат етиленгліколя (МАЕГ) – це складні ефіри оцтової кислоти і етиленгліколю.

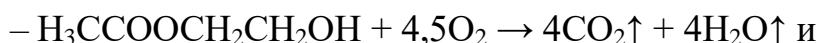
Активними компонентами АЦЕГ є діацетат етиленгліколю (ДАЕГ) і моно ацетат и етиленгліколю (МАЕГ), відповідно реагенти швидкої і повільного дії, основні характеристики яких наведені нижче:

	МАЕГ	ДАЕГ
Структурна формула.....	$\text{CH}_2\text{COOCH}_3$	$\text{CH}_2\text{COOCH}_3$
	$\text{CH}_2\text{COOCH}_3$	CH_2OH
Молекулярна маса	146,15	104,10
Зовнішній вигляд	Безбарвна рідина	
Щільність, кг/м ³	1128 (0 °)	1108 (15 °C)
Температура, °C:		
плавлення	31	—
кипіння	186–190,5	182
Розчинність, г/100 мл:		
у воді	143	∞
у еталоні	∞	∞

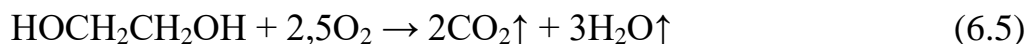
Емпіричні формули АЦЕГ:

- моноацетат етиленгліколю – $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_3$,
- діацетат етиленгліколю – $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_4$, а структурні формули, відповідно:
- моноацетат етиленгліколю – $\text{H}_3\text{CCOOSCH}_2\text{CH}_2\text{OH}$,
- діацетат етиленгліколю – $\text{H}_3\text{CCOOSCH}_2\text{CH}_2\text{OOSCH}_3$.

Продуктами термодеструкції АЦЕГ є оксид вуглецю і вода, згідно з реакціями:



– $\text{H}_3\text{CCOOSCH}_2\text{CH}_2\text{OOSCH}_3 + 6,5\text{O}_2 \rightarrow 6\text{CO}_2\uparrow + 5\text{H}_2\text{O}\uparrow$, що утворюються при термічному розкладанні і згорянні компонентів отверджувача, в складі яких знаходиться до 10 мас. % етиленгліколю, який також згоряє по реакцією:



Різна активність ДАЕГ і МАЕГ при твердінні РС залежить від їх гідролізу в лужному середовищі. Здатність до гідролізу неповних ефірів (МАЕГ) виражена значно сильніше, ніж здатність до гідролізу повних (ДАЕГ). Крім того, МАЕГ обмежено розчинний у воді і тому потребує більшого часу для молекулярної дифузії в сполучному.

Процес твердіння ХТС на РС при додаванні рідкого ефіру (ДАЕГ) наведено на рис. 6.1.

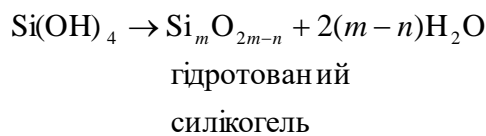
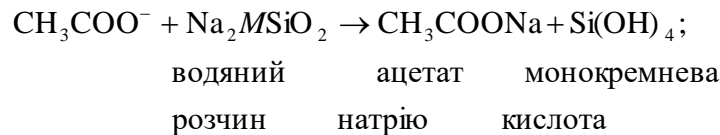
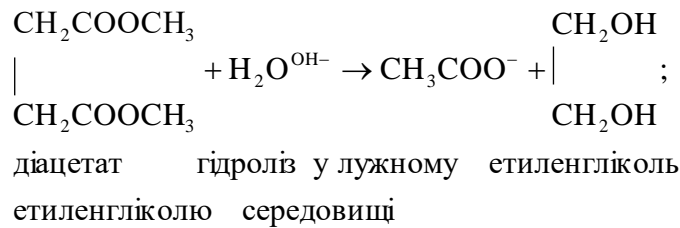


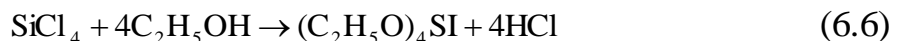
Рис. 6.1. Процес твердіння ХТС на РС при додаванні рідкого ефіру ДАЕГ

Процес твердіння пояснюють так: у результаті гідролізу ефіру в лужному середовищі утворюються спирт і кислота. Утворена кислота викликає гелеутворення рідкого скла.

Обов'язковою умовою твердіння є утворення монокремнієвої кислоти і її подальша конденсація з силікогелем.

Добавки етилсилікату марки ЕС-40 (ГОСТ 26371-84) і ТЕОС також можуть виступати як рідкі отверджувачі РС при використанні мінімальних доз каталізаторів амінного типу, що прискорюють гідроліз силосанів у лужному середовищі з виділенням кремнієвої кислоти. ТЕОС і ЕС-40 є кремнійорганічними сполуками.

Етилсилікат – етиловий ефір ортокремнієвої кислоти, що називається також тетраетоксісиланом, є продуктом реакції етилового спирту з тетрахлорид кремнію. Цю реакцію можна записати в такий спосіб:



Розчини етилсилікату і тетраетоксісилану є колоїдними розчинами – золь, який переходить у гель кремнієвої кислоти, що зв'язує піщинки.

6.2. Проведення лабораторної роботи

6.2.1. Порядок проведення лабораторної роботи

В лабораторному змішувачі або в ступці з пестиком приготувати 1,5...2,0 кг формувальної суміші.

Приготувати 8–12 циліндричних зразків для визначення на стиснення (по 2–3 зразка) через 30– 5– 60 хв на універсальному приладі мод. 04116У з пристосуванням для стиснення сухих зразків до 15 МПа.

Визначити кількість суміші в затверділому стані.

6.2.2. Приготування суміші

Суміш готували так: на 100 мас. % кварцового піску додавали 0,4 мас. % ефірних отверджувачів з добавками і перемішували протягом 3 хв., потім вводили 4 мас. % натрієвого рідкого скла і перемішували ще 2 хв..

Для випробувань міцності на стискання виготовляли стандартні зразки за ГОСТ 23409.7-78 [8]. Зразки запресовували в дев'ятимісну пресформу й витримували 30 хв., а потім їх витягували і випробовували через певний час: відразу після вилучення і через 30, 45, 60 хвилин.

6.2.3. Визначення механічних властивостей ХТС

Визначення на стиснення проводять на універсальному приладі мод. 04116У з пристосуванням для стиснення сухих зразків до 15 МПа (по 2–3 зразки через 30, 45, 60 хв).

Таблиця 6.1 – Значення міцності на стиснення

№ з/п	Склад і кількість отверджувача	Міцність суміші на стискання ($\sigma_{ст}$), МПа		
		30 хв	45 хв	60 хв
1	МАЕГ			
2	МАЕГ+10%ЕГ			
3	МАЕГ+2%ТЕОС			
4	МАЕГ+2%ЕС-40			
5	ДАЕГ			
6	ДАЕГ+9%ЕГ			

Висновки визначення заносять до табл. 6.1 і будують графіки залежності суміші на стиснення від часу твердіння.

6.2.4. Визначення щільності суміші

Затверділий циліндричний зразок зважити на аналітичних терезах (2–3 зразки). Заміряти висоту та діаметр зразка. Визначити об'єм зразка

$$V = \frac{\pi D^2}{4} \cdot h, \quad (6.7)$$

де D , h – відповідно діаметр та висота зразка, см.

Визначити щільність суміші зразка

$$\gamma = \frac{G}{V}, \quad (6.8)$$

де G – маса зразка, г; V – об'єм зразка.

6.3. Висновки

В ході лабораторної роботи ознайомитися з обладнанням, приладами та технологією одержання холоднотвердіючих сумішей . Знати способи визначення їх властивостей

6.4. Оформлення звіту

6.4.1. Навести склад формувальної суміші.

6.4.2. Навести таблицю та графіки результатів визначення міцності ($\sigma_{ст}$) від часу твердіння суміші.

6.4.3. Визначити ущільнення суміші.

6.4.4. Зробити висновки.

Лабораторна робота 7

ТЕМА: ПОРІВНЯННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ХОЛОДНОТВЕРДЮЧИХ ТА ПІЩАНО-ГЛИНИСТИХ СУМІШЕЙ

7.1. Підготовка до лабораторної роботи

7.1.1. Мета роботи

Порівняти технології одержання холоднотвердіючих сумішей (ХТС) на рідкому склі (РС) з фурфурілоксипропілциклокарбонатами, олігофурфурілоксисилоксанів та піщано-глинистих сумішей, а також способи визначення їх властивостей.

7.1.2. Обладнання інструменти і матеріали

Для проведення роботи з визначення властивостей холоднотвердіючих сумішей необхідно підготувати:

- лабораторний лопатевий змішувач або чашу з товкачиком місткістю 2,0 кг;
- універсальний прилад мод. 04116У з комплектом пристосувань для визначення міцності на стиснення;
- лабораторний копер із масою падаючого вантажу $6,35 \pm 0,015$ кг;
- прилад для визначення міцності на стиснення у сирому стані;
- гільзи сталеві з внутрішнім діаметром 50 мм і заввишки 120 мм;
- терези лабораторні;
- секундомір;
- фарфорову чашу для визначення вологи;
- ексікатор, мірні циліндри, мензурки.

Вихідні матеріали при виготовлені ХТС – кварцовий пісок, розроблені в НТУ «ХП» олігомер на основі олігофурфурілоксисилоксанів та фурфурілоксипропілциклокарбонат на основі сировини рослинного походження, рідке скло (РС), 70-й % розчин паротолуолсульфоїкислоти (ПТСК), піщано-глиниста суміш.

7.1.3. Методичні вказівки

7.1.3.1. Холоднотвердіючі суміші зі смолами

Залежно від способу твердіння холоднотвердіючі суміші (ХТС) можна поділити на суміші з отверджувачем, що вводиться разом зі сполучним при їх приготуванні, і суміші, що тверднуть при продуванні газоподібним отверджувачем при або після заповнення ними оснащення та їх ущільнення. Крім того, залежно від природи сполучного ХТС можна поділити на суміші з органічними (ЛСТ, смоли та ін.) і неорганічними (рідке скло, фосфати та ін.) сполучними [14].

Сьогодні найбільш перспективним є процес отримання стрижнів з ХТС на основі смол, а виливків – на основі рідкого скла.

Використання холоднотвердіючих сумішей із синтетичними смолами пояснюється насамперед їх високою міцністю, невеликою витратою (1–2 %), можливістю регулювання міцності і швидкості твердіння у великому діапазоні. При вживанні ХТС із смолами у декілька разів скорочується цикл виготовлення стрижнів, покращується чистота поверхні виливків, знижується кількість браку.

В існуючих смолах основним недоліком є токсичність речовин, що виділяються при термодеструкції, такі як фенол, формальдегід, крезол та інші.

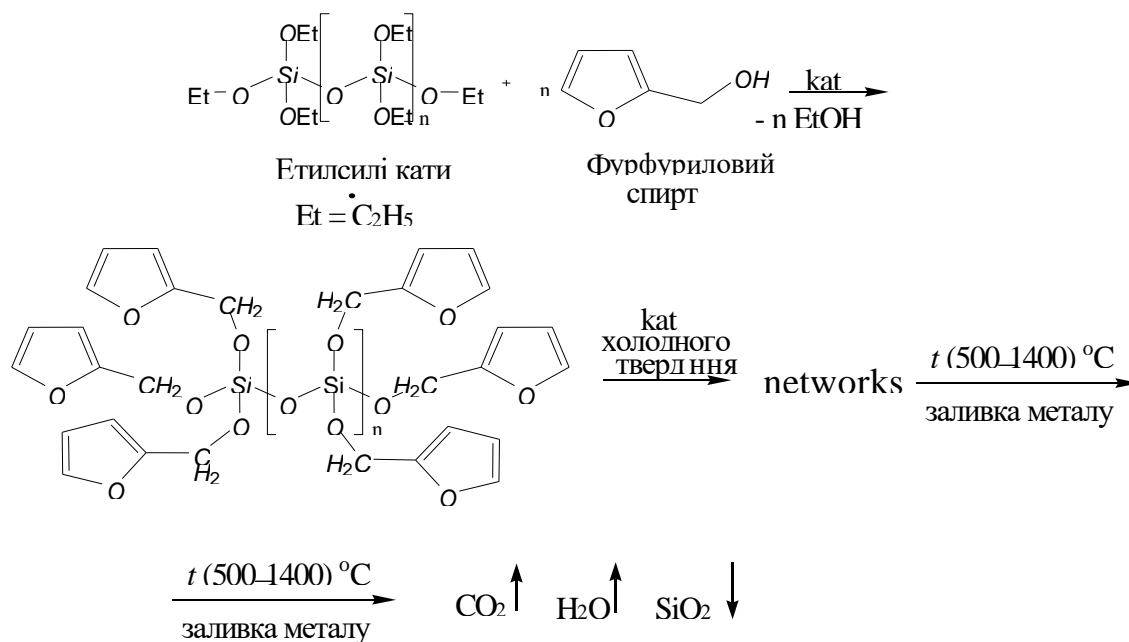
Розроблений в НТУ «ХПІ» олігомер на основі олігофурфурилоксисилоксанів (смола ОФОС), основною особливістю якого є відсутність в його складі отруйних речовин, завдяки чому його визнано екологічно чистим [15].

У процесі термодеструкції при заливанні металу в атмосферу виділяється тільки вуглекислий газ, пари води і залишається твердий неорганічний залишок діоксид кремнію.

Нове олігомерне сполучне являє собою рухливу рідину темно-коричневого кольору, що твердне під дією кислотних отверджувачів. Це екологічно чисте полімерне сполучне, яке не має в своєму складі отруйних речовин – типу сечовиноальдегідних або фенолоформальдегід-фуранових смол, що напочатку мають у своєму складі феноли й альдегіди і виділяють їх при термічній деструкції сполучних при заливанні форми розплавленим металом.

Сполучне ОФОС можна отримати різних модифікацій із вмістом від 4 до 7 молей фурфурилоксигруп. Залежно від кількості молей фурфурилоксигруп сполучне поділяють на MF4, MF5, MF6, MF7 з вмістом 4, 5, 6, 7 фурфурилоксигруп відповідно.

Процеси, що відбуваються в цих сумішах, можна структурно описати так:



Суміш полімеризується за іон-радикальними механізмами при розкритті подвійних зв'язків у фуранових циклах за звичайних температур у приміщенні. При цьому композиційна суміш за рахунок теплоти полімеризації подвійних зв'язків розігрівається до температури 60...70 °С та утворює сітчасту структуру в умовах холодного формування форм і стрижнів. При взаємодії компонентів зі сполучного ОФОС не утворюється вільного фурфурілового спирту, як наприклад, при використанні фуранових смол.

При заливанні розплавлених металів у форми відбувається процес термічної деструкції сітчастої структури полімерного композиційного сполучного. В результаті термічної деструкції в атмосферу виділяються CO₂ та пари H₂O і утворюється твердий неорганічний залишок SiO₂, який можна використовувати повторно.

Як наповнювач використовуємо кварцовий пісок марки 2К10302 ГОСТ 2138– 91 [16]. Це обумовлено такими умовами: слід прагнути до мінімальної витрати смоли з урахуванням досягнення достатньої загальної і поверхневої міцності. Мінімумально можлива витрата сполучного визначається передусім якістю застосовуваного піску. Бажано застосування збагачених пісків із вмістом глинистої, що становить не більше 0,5 %, і з розміром зерна не менше зернистості піску марки 1К02А.

7.1.3.2. Холоднотвердіючі суміші з рідким склом

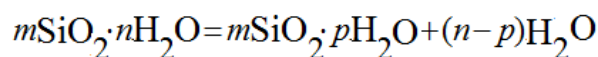
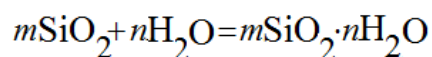
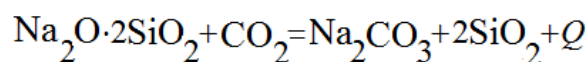
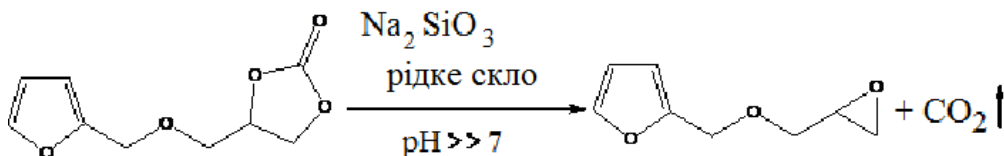
Для виготовлення форм кращим є використання холоднотвердіючих сумішей на рідкому склі (РС). Рідке скло набагато дешевше, а також використання його як отверджувача складних ефірів має ряд переваг порівняно з іншими рідкоскляними ХТС. Застосування рідких отверджувачів покращує вибивальність форм і стрижнів; підвищує чистоту і якість; різко скорочує дефекти і брак виливків щодо ужимін, плёнам і пісочних раковин; свідчить про невелику токсичність і відповідність підвищеним санітарно гігієнічним вимогам; застосування рідких отверджувачів дозволяє відмовитися від застосування CO_2 і тим самим спростити технологічний процес.

У НТУ «ХП» було отримано новий отверджувач для форм і стрижнів – фурфурілоксипропілциклокарбонат (ФОПЦК) на основі сировини рослинного походження [17].

Твердіння композиції (кварцовий пісок + ФОПЦК + рідке скло) відбувається при взаємодії універсальної добавки ФОПЦК з рідким склом. Будь-які циклокарбонати (пропіленциклокарбонат, ФОПЦК і ін.) у лужному середовищі не стійкі і розкладаються з виділенням CO_2 , який реагує з рідким склом з утворенням полісилікатів в обсязі сформованої композиції. Такі системи можна віднести до наноструктурованих композиційних матеріалів, оскільки процеси взаємодії між ФОПЦК і РС проходять на поверхні кварцового піску в мономолекулярних шарах.

Універсальна добавка ФОПЦК є екологічно безпечним матеріалом, так як при заливанні металу у форму в результаті термохімічної деструкції ФОПЦК розкладається і виділяє в об'ємі сформованої композиції CO_2 і пари води в навколишнє середовище. Циклокарбонати в лужному середовищі розпадаються з виділенням CO_2 .

Схему процесу твердіння сумішей на рідкому склі з ФОПЦК наведено нижче



ФОПЦК у лужному середовищі (рН \gg 7) розкладається з виділенням CO_2 . Відбувається гідроліз рідкого скла із подальшим виділенням вугільної кислоти і утворенням гелю кремнієвої кислоти, що зв'язує зерна піску.

Як наповнювач використовували кварцовий пісок марки 2К10302 ГОСТ 2138-91 [16]. Як сполучне в суміш додавали рідке скло з модулем 2,6, і щільністю – 1,45 г/см³.

7.2. Проведення лабораторної роботи

7.2.1. Порядок проведення лабораторної роботи

У лабораторному змішувачі або в ступці з товкачиком приготувати 1,5–2,0 кг формувальної суміші.

Приготувати 8–12 циліндричних зразків:

- з ХТС на РС з фурфурилоксипропілциклокарбонатами (ФОПЦК);
- з ХТС на смолах (ОФОС) для визначення на стиснення (по 2–3 зразки) через 30–45–60 хв на універсальному приладі мод. 04116У з пристосуванням для стиснення сухих зразків до 15 МПа;
- з піщано-глинистої формувальної суміші по 3 циліндричних зразки при 9 ударах баби копра.

7.2.2. Приготування холоднотвердіючих сумішей

Суміш на сполучному ОФОС готують так: на 100 в.ч. кварцового піску за ГОСТ 29234.0-91 додають 1 в.ч. 70 % водного розчину ПТСК і суміш ретельно змішують протягом 60 с, потім до цієї суміші додають 2 в.ч. сполучного і знову ретельно перемішують протягом 120 с.

Технологія приготування суміші з використанням ФОПЦК включала такі операції: в лабораторний змішувач періодичної дії конструкції ЦНІТМАШ з горизонтальним лопатевим змішуючим валом (120 хв⁻¹) засипали наповнювач – на 100 в. ч. кварцового піску додавали 0,4 в. ч. ФОПЦК. Наповнювач протягом 3 хв перемішували з отверджувачем (ФОПЦК), після чого вводили рідке скло у кількості 4 в. ч. і перемішували ще 2 хв.

Для випробувань міцності на стискання виготовляли стандартні зразки за ГОСТ 23409.7-78 [8]. Зразки запресовували в дев'ятимісну пресформу й витримували 30 хв, а потім їх витягували і випробовували через певний час: відразу після вилучення і через 30, 45, 60 хвилин.

Технологію приготування зразків з піщано-глинистої суміші, ущільнених 9 ударами баби копра описано в лабораторній роботі 3.

7.2.3. Визначення механічних властивостей ХТС

Визначення на стиснення зразків із ХТС проводять на універсальному приладі мод. 04116У з пристосуванням для стиснення сухих зразків до 15 МПа (по 2–3 зразки через 30, 45, 60 хв.).

Визначення на стиснення зразків із піщано-глинистої суміші проводять на важільному приладі типу 051. Висновки визначення заносять до табл. 7.1 і будують графіки залежності суміші на стиснення.

Таблиця 7.1 – Значення міцності на стиснення

№ з/п	Склад сумішей	Міцність суміші на стискання ($\sigma_{ст}$), МПа			Живучість суміші	Вологість суміші
		30 хв	45 хв	60 хв	хв.	відсоток
1	ХТС на сполучному ОФОС					
2	ХТС на рідкому склі з ФОПЦК					
3	Піщано-глиниста суміш при 9 ударах баби копра					

Визначення вологості проводили згідно з ГОСТ 23409.5–78 за технологією наведеною в лабораторній роботі № 4.

Як показник живучості холоднотвердієчих сумішей застосовували тривалість проміжку часу (в хвилинах), після закінчення якого значення її міцності знижувалося на 30 % від максимального.

Згідно з ГОСТ 23409.9-78 обсіпальність характеризує кількість втрати маси поверхневого шару зразка за одиницю часу при терті його зі стінками сітчастого барабана (лабораторна робота 4) [11].

7.3. Висновки

Знати технологію одержання холоднотвердіючих сумішей (ХТС) на рідкому склі (РС) з фурфурилоксипропілциклокарбонатами, на олігофурфурилоксисилоксановому сполучному та піщано-глинистої суміші.

7.4. Оформлення звіту

7.4.1. Навести склад формувальних сумішей.

7.4.2. Навести таблиці та графіки результатів визначення міцності на стиснення ($\sigma_{ст}$) від часу твердіння суміші та живучості наведених сумішей.

7.4.3. Визначити вологість та обсіпальність сумішей.

7.4.4. Зробити висновки.

ЗМІСТ

Вступ.....	3
Лабораторна робота 1. Визначення марки формувального піску.....	5
Лабораторна робота 2. Приготування формувальної суміші та зразків для її випробування.....	17
Лабораторна робота 3. Визначення механічних властивостей формувальних сумішей у сирому стані.....	23
Лабораторна робота 4. Визначення міцності формувальної суміші у висушеному стані.....	32
Лабораторна робота 5. Визначення газопроникності формувальної суміші.....	38
Лабораторна робота 6. Визначення властивостей самотвердіючих формувальних сумішей.....	47
Лабораторна робота 7. Порівняння властивостей холоднотвердіючих та піщано-глинистих сумішей.....	54
Список рекомендованої літератури.....	62

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Дорошенко С. П. Формовочные материалы и смеси / С. П. Дорошенко, В. П. Авдокушин, К. Русин. – Киев : Вища шк., 1990. – 415 с.
2. Кукуй Д. М. Теория и технология литейного производства / Д. М. Кукуй, В. А. Скворцов, В. К. Эктова. – Минск : Дизайн ПРО, 2000. – 416 с.
3. Голофаев А. Н. Технология литейной формы / А. Н. Голофаев, В. И. Лагута, Г. В. Хинчаков. – Луганск : Издательство ВНУ, 2001. – 264 с.
4. Илларионов И. Е. Формовочные материалы и смеси : Монография / И. Е. Илларионов, Ю. П. Васин. – Чебоксары : Изд-во Чуваш. ун-та, 1992. – 223 с.
5. Сварика А. А. Формовочные материалы и смеси. Справочник / А. А. Сварика. – Киев : Техника, 1983. – 144 с.
6. Болдин А. Н. Литейные формовочные материалы. Формовочные, стержневые смеси и покрытия : Справочник / А. Н. Болдин, Н. И. Давыдов, С. С. Жуковский и др. – М. : Машиностроение, 2006. – 507 с.
7. ГОСТ 23409.0-78. Пески формовочные, смеси формовочные и стержневые. Общие требования к методам испытаний. – Введен 01.01.1980.
8. ГОСТ 23409.7-78. Пески формовочные, смеси формовочные и стержневые. Методы определения прочности при сжатии, растяжении, изгибе и срезе. – Введен 01.01.1980.
9. Методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Теория формовочных смесей» для студентов специальности 7.090205 «Оборудования литейного производства» / Составит. Б. И. Сыч. – Харьков : НТУ «ХПИ», 1991. – 52 с.
10. ГОСТ 23409.5-78. Пески формовочные, смеси формовочные и стержневые. Метод определения влаги. – Введен 01.01.1980.
11. ГОСТ 23409.9-78. Смеси формовочные и стержневые. Метод определения осыпаемости. – Введен 01.01.1980.
12. Медведев Я. И. Технологические испытания формовочных материалов / Я. И. Медведев, И. В. Валисовский. – М. : Машиностроение, 1973. – 312 с.
13. Борсук П. А. Жидкие самоотвердеющие смеси / П. А. Борсук, А. М. Лясс. – М. : Машиностроение. 1979. – 256 с.
14. Жуковский С. С. Формы и стержни из холоднотвердеющих смесей / С. С. Жуковский, А. М. Лясс. – М. : Машиностроение. 1978. – 224 с.

15. Пат. 23593 Україна. Спосіб одержання холоднотвердіючих сумішей / Каратєєв А.М., Пономаренко О.І., Євтушенко Н.С. та ін.; Заявник і патентообладач НТУ «ХПІ», Заявл. 10.04.2007; Опубл. 25.05.2007, Бюл. № 7.

16. ГОСТ 2138-91. Пески формовочные. Общие технические условия. – Введен 01.01.1993.

17. Пат. 95138 Україна. Спосіб одержання холоднотвердіючих сумішей / Каратєєв А.М., Пономаренко О.І., Літвінов Д.О., Калкаманова О.С., Берлізева Т.В.; Заявник і патентообладач НТУ «ХПІ», Заявка от 01.07.2014; Опубл. 10.12.2014, Бюл. № 23.

Навчальне видання

ПОНОМАРЕНКО Ольга Іванівна,
БЕРЛІЗЄВА Тетяна Вікторівна,
ЄВТУШЕНКО Наталя Сергіївна,
ГРИМЗІН Ігор Анатолійович

ФОРМУВАЛЬНІ МАТЕРІАЛИ І СУМІШІ

Лабораторний практикум
для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка»
спеціалізації 131-09 «Обладнання та технології ливарного виробництва»

За загальною редакцією **Пономаренко** Ольги Іванівни

Відповідальний за випуск проф. *О.В. Акімов*

Редактор О.В. Козюк
Верстка оригінал-макету Т.В. Берлізева

План 2018 р., поз. 15

Підп. до друку 04.10.2018. Формат 60x84 1/16. Папір офсетний.

Riso-друк. Гарнітура Таймс. Ум. друк. арк.

Наклад 100 прим. Зам. № Ціна договірна

Видавничий центр НТУ «ХПІ». 61002, Харків, вул. Кирпичова, 2
Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 5478 від 21.08.2017 р.
