

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ІМ. Ю.М. ПОТЕБНИ

Кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота / проєкт

перший (бакалаврський) рівень

(рівень вищої освіти)

на тему Огляд сучасних методів підготовки обладнання до розливки сталі

Виконав: студент 4 курсу, групи 6.1360-м

спеціальності 136 «Металургія»

(код і назва спеціальності)

освітньої програми Металургія

(код і назва освітньої програми)

спеціалізації _____

(код і назва спеціалізації)

В.В. Захарченко

(ініціали та прізвище)

Керівник доцент кафедри металургійних технологій,
екології та техногенної безпеки, доцент,
к.т.н. Воденнікова О.С.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент доцент кафедри металургійних
технологій, екології та техногенної безпеки, с.н.с.,
к.т.н. Проценко В.М.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя
2024

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ІМ. Ю.М. ПОТЕБНИ**

Кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський) рівень

(перший (бакалаврський) рівень, другий (магістерський) рівень)

Спеціальність 136 «Металургія»

(цифр і слів)

Спеціалізація _____

(цифр і слів)

Освітня програма Металургія

(цифр і слів)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МТЕТБ

Юрій БЕЛОКОНЬ

« 12 » 02 2024 року

**З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЄКТ) СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)**

Захарченко Валерію Валентиновичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи (проєкту) Огляд сучасних методів підготовки обладнання до розливки сталі

керівник роботи канд.техн.наук, доцент Воденнікова Оксана Сергіївна

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ЗНУ від «26» грудня 2023 року № 2215-с

2. Строк подання студентом роботи 01.06.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи Науково-технічна література, статті у фахових виданнях, матеріали конференцій, патенти та ДСТУ.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Реферат. Вступ. Розливка сталі у вилітній: сучасний стан, особливості процесу. Огляд особливостей підготовки обладнання для розливки сталі у вилітній. Застосування криогенного бластіку як сучасного методу очищення від забруднень вилітниць для розливки сталі. Охорона праці та техногенна безпека. Загальні висновки. Перелік джерел посилання.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Типовий лист – 1. Мета роботи. Об'єкт та предмет дослідження – 1. Підготовка обладнання до розливки сталі к вилітній – 1. 3D-модель сфінгоного куца з шести вилітниць для зливе масою 1,6 т – 1. Установкування для розливки сталі виробництва ТОВ "Ливарно-механічний завод" – 1. 3D-

модель статерозширеного кошика – 1. Вставки теплоізоляційні плити МКРВ-340 – 1.3D-модель станда для мийки та сушіння виллениць печі ДТВГ-7ПФ-III – 1. Сітка розгалу на внутрішній поверхні виллениць та дефекти поверхні злиха – 1. Застосування криогенного бластингу для очищення виллениць від забруднень – 1. Результати застосування криогенного бластингу для очищення металевих поверхонь від іржі – 1. Схема процесу видалення забруднення від стінок виллениць за допомогою застосування технології криогенного бластингу – 1. Загальні висновки – 1.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвища, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розлика сталі у виллениці: сучасний стан, особливості процесу	доцент О.С. <u>Воденнікова</u>		
Огляд особливостей підготовки обладнання для розлики сталі у виллениці	доцент О.С. <u>Воденнікова</u>		
Застосування криогенного бластингу як сучасного методу очищення від забруднень виллениць для розлики сталі	доцент О.С. <u>Воденнікова</u>		
Охорона праці та техногенна безпека	доцент О.С. <u>Воденнікова</u>		

7. Дата видачі завдання 12.02.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи бакалавра	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Реферат. Вступ	15-20.04.2024	
2	Розлика сталі у виллениці: сучасний стан, особливості процесу	21-12.05.2024	
3	Огляд особливостей підготовки обладнання для розлики сталі у виллениці	13-26.05.2024	
4	Застосування криогенного бластингу як сучасного методу очищення від забруднень виллениць для розлики сталі	27-02.06.2024	
5	Охорона праці та техногенна безпека	03-09.06.2024	
6	Загальні висновки. Перелік джерел посилання	10-16.06.2024	

Студент _____ Валерій ЗАХАРЧЕНКО
(підпис) (ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проєкту) _____ Оксана ВОДЕННИКОВА
(підпис) (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер _____ Юрій БІЛОКОНЬ
(підпис) (ініціали та прізвище)

РЕФЕРАТ

Розрахунково-пояснювальна записка: 62 с., 22 рис., 25 табл., 18 джерел посилення.

РОЗЛИВКА СТАЛІ, ВИЛИВНИЦЯ, ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ РОЗЛИВКИ СТАЛІ, КРІОГЕННИЙ БЛАСТІНГ, ОЧИЩЕННЯ ВІД ЗАБРУДНЕНЬ ВИЛИВНИЦЬ

Тема кваліфікаційної роботи бакалавра: Огляд сучасних методів підготовки обладнання до розливки сталі.

Мета роботи – пошук нових технологічних можливостей підвищення стійкості та терміна експлуатації обладнання для розливки сталі у виливниці.

У розділі 1 розглянуто особливості сучасних способів розливки сталі та сплавів: розливки сталі зверху та розливки сталі сифоном.

У розділі 2 представлено огляд особливостей підготовки обладнання для розливки сталі у виливниці.

У розділі 3 розглянуто питання застосування криогенного бластингу для очищення виливниць в умовах ПАТ «Дніпроспецсталь».

У розділі 4 проаналізовано потенційно-небезпечні та шкідливі фактори виробничого середовища у розливному прольоті металургійного підприємства.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 РОЗЛИВКА СТАЛІ У ВИЛИВНИЦІ: СУЧАСНИЙ СТАН, ОСОБЛИВОСТІ ПРОЦЕСУ.....	8
1.1 Опис сучасних способів розливки сталі та сплавів.....	8
1.2 Огляд процесу розливки сталі зверху.....	12
1.3 Огляд процесу розливки сталі сифоном.....	12
2 ОГЛЯД ОСОБЛИВОСТЕЙ ПІДГОТОВКИ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ РОЗЛИВКИ СТАЛІ У ВИЛИВНИЦІ.....	15
2.1 Основні етапи підготовки обладнання для розливки сталі у виливниці	15
2.2 Аналіз обладнання для розливки сталі, що застосовується на металургійних підприємствах України.....	23
2.3 Розрахунок схеми літника для розливки сталі сифоном.....	25
2.4 Розрахунок геометричних параметрів прибуткової надставки.....	29
3 ЗАСТОСУВАННЯ КРІОГЕННОГО БЛАСТІНГУ ЯК СУЧАСНОГО МЕТОДУ ОЧИЩЕННЯ ВІД ЗАБРУДНЕНЬ ВИЛИВНИЦЬ ДЛЯ РОЗЛИВКИ СТАЛІ	35
3.1 Суть технології кріогенного бластингу.....	35
3.2 Дослідження застосування кріогенного бластингу для очищення виливниць в умовах ПАТ «Дніпрспецсталь».....	39
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БНЗПЕКА.....	55
4.1 Аналіз потенційно-небезпечних та шкідливих факторів виробничого середовища у розливному прольоті металургійного підприємства.....	55
4.2 Охорона праці та техногенна безпека середовища у розливному прольоті	56
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	60
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	61

ВСТУП

На сьогодні проблема удосконалення технічних засобів і технології підготовки та експлуатації металургійного обладнання набуває особливої уваги у зв'язку з дефіцитом робочої сили, необхідністю підвищення продуктивності праці, «культури» виробництва і якості ремонту. Першочерговою стає проблема пошуку нових методів очищення деталей та механізмів металургійного призначення, які б відповідали сучасним вимогам з екологічності, трудомісткості та ефективності використання.

Розглядаючи розливку сталі, одним з основних устаткувань, що використовуються для неї, є виливниця. Основною метою проектування виливниць є створення її технологічної конструктивної геометричної форми, що відповідає вимогам, що пред'являються до зливків, і забезпечує оптимальну стійкість за умови раціонального вибору матеріалу. При цьому слід мати на увазі, що стійкість виливниці залежить не тільки від конструкції та умов експлуатації, але також і від конструкції зливка. Отже, розробки нових геометричних параметрів зливків доцільно також брати до уваги загальні закономірності впливу форми зливка на стійкість виливниць.

Мета роботи – пошук нових технологічних можливостей підвищення стійкості та терміна експлуатації обладнання для розливки сталі у виливниці.

Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно вирішити наступні теоретичні та прикладні завдання:

- розглянути сучасні способи розливки сталі та сплавів;
- визначити способи підготовки обладнання для розливки сталі у виливниці;
- привести розрахунок схеми літника для розливки сталі сифоном;
- привести розрахунок геометричних параметрів прибуткової надставки;
- розглянути технологію криогенного бластингу як ефективного, швидкого та екологічно безпечного методу очищення від забруднень виливниць для розливки сталі;

– проаналізувати умови праці при розливці сталі у виливниці.

Об'єкт дослідження – виливниці, прибуткові надставки, теплоізоляційні вкладиші, піддони, сталерозливний ківш.

Предмет дослідження – технологія криогенного бластингу як ефективного, швидкого та екологічно безпечного методу очищення від забруднень виливниць для розливки сталі.

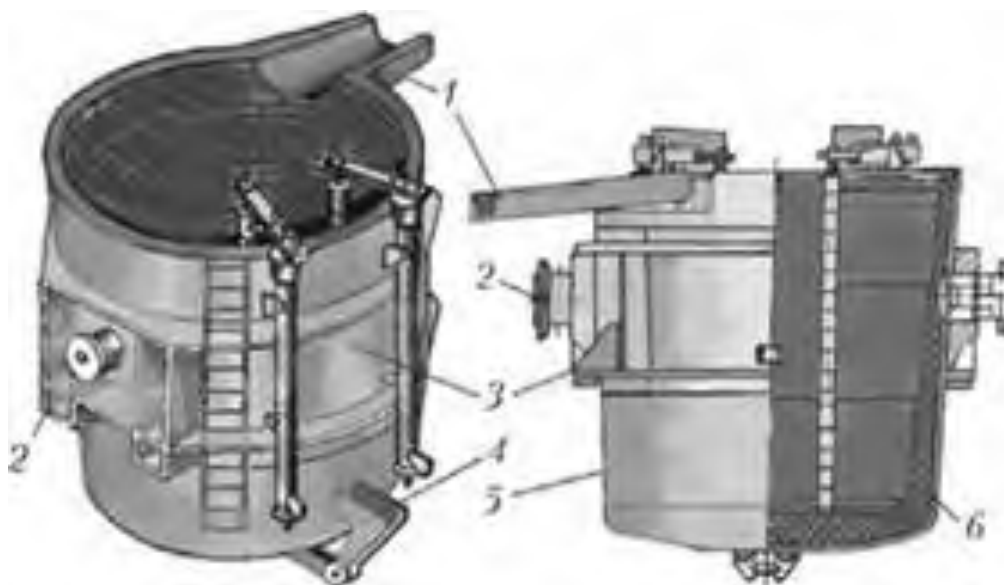
1 РОЗЛИВКА СТАЛІ У ВИЛИВНИЦІ: СУЧАСНИЙ СТАН, ОСОБЛИВОСТІ ПРОЦЕСУ

1.1 Опис сучасних способів розливання сталі та сплавів

Після завершення процесу виплавки сталі в сталеплавильному агрегаті (кисневому конвертері, мартенівській печі, дуговій сталеплавильній печі (ДСП), індукційній печі та інших агрегатах) рідку сталь випускають з плавильної печі в розливний ківш, з якого її розливають у виливниці або кристалізатори машини безперервного лиття заготовок (МБЛЗ).

Сталерозливний ківш, представлений на рис. 1.1, являє собою клепану сталеву посудину (5), викладену зсередини шамотною цеглою (6). У його днище встановлюють шамотну пробку (рис. 1.2), яка може бути витягнута з допомогою простого важільного механізму, укріпленого на сталерозливному ковші.

Виливниці виготовляють в основному з чавуну, рідше із сталі у вигляді циліндра з конічним внутрішнім простором.



1 – зливний носок; 2 – цапфа; 3 – пояс жорсткості; 4 – стопор; 5 – сталевий корпус; 6 – вогнетривка цегла

Рисунок 1.1 – Схема сталерозливного ковша



Рисунок 1.2 – Стопорна пробка МКРСР-50 №10

Сталерозливний ківш виконує кілька функцій: ємності для транспортування металу від сталеплавильного агрегату або сталевоза до місця розливки; пристрою, за допомогою якого сталь розподіляють по виливниці або кристалізатору установки безперервної розливки; агрегату, в якому здійснюють ряд металургійних процесів (розкислення, легування, обробку вакуумом, продувку інертним газом, обробку рідкими синтетичними шлаками або твердими жужільними сумішами та інші); ємності, в якій рідкий метал витримують при заданій температурі в процесі розливки плавки.

Нині розливку сталі ведуть переважно у виливниці або на машинах безперервного лиття заготовок.

Виливниця (або її ще називають мурда) (рис. 1.3) – це металева форма для розливки металу і утворення зливків.

Щодо конструкційної особливості, то виливниці бувають:

- пляшкові, глуходонні,
- вертикальні та горизонтальні;
- прямокутного, круглого, квадратного або іншого поперечного перерізу;
- наскрізні;
- з дном або без дна (ще їх називають наскрізні).

Нині найбільшого поширення одержали чавунні виливниці вертикального типу, в яких одержують вертикальні сталеві зливки, які потім використовуються для виготовлення заготовок для прокатного виробництва



Рисунок 1.3 – Виливниця для розливки сталі та сплавів

Для розливки чавуну на розливних машинах застосовують виливниці горизонтального типу (мульди), в яких одержують чушковий чавун. Для розливки феросплавів і деяких кольорових металів застосовують виливниці у вигляді невисоких ванн, іноді з вертикальними перегородками.

Нині існують наступні способи розливки сталі в виливниці:

– розливу сталі зверху (рис. 1.4).

Цей спосіб застосовують в тих випадках, коли потрібно отримати невелике число великих зливків. Він дозволяє розливати не надто гарячу сталь: при цьому виходить більш здоровий злиток з меншою усадочною раковиною. Якість поверхні зливка виходить невисока через бризок при заливці, але неметалевих включень в зливку утворюється менше.

– розливу сталі сифоном (рис. 1.5).

Розливу сталі сифоном (знизу) застосовують в тих випадках, коли потрібно розлити сталь в велике число виливниць (2–6 шт.).

Основними параметрами, які впливають на якість зливка сталі є його маса, розміри поперечного перерізу, висота, контур, ухил граней і радіуси

заокруглення кутів. Ці параметри встановлюють залежно від технологічних вимог, розмірів цехових будівель, характеристики кранового обладнання нагрівальних колодязів та прокатних станів, швидкості прокатки і режиму обтиснень зливків сталі.



1 – сталерозливний ківш; 2 – виливниця; 3 – шамотна пробка ківша

Рисунок 1.4 – Схема розливки сталі зверху

Форма поперічного перерізу зливка визначається його призначенням. Зливки квадратного перетину з увігнутими або опуклими гранями використовують для прокатки на сорт (коло, куточки, швелер та інші). Зливки з увігнутими гранями відрізняються великою жорсткістю, він також більш зручний при прокатці, оскільки стійко переміщається по рольгангу в зв'язку з двома лініями опори і правильно робить в валки обтискного стану. Зливки прямокутної форми призначені для прокатки на лист.

1.2 Огляд процесу розливки сталі зверху

Вибір способу розливки металу, його головних параметрів (температура, швидкість надходження у виливницю або кристалізатор), оптимальних об'ємів та конструкції пристроїв, що приймають метал, впливає на техніко-економічні показники сталеплавильних цехів, насамперед на вихід придатних зливків або заготівок.

Короткочасність процесу розливки, що зумовлюється пониженням температури металу, ускладнює завдання збереження високоякісної сталі, випущеної з сталеплавильних агрегатів, тому необхідність дотримання технології розливки та підготовки до неї набуває особливого значення.

Переваги розливки сталі зверху:

- проста підготовка обладнання до розливки і менша його вартість;
- відсутність витрати металу на літники;
- температура металу перед розливкою може бути нижче, ніж при сифонній розливці.

Недоліки розливки сталі зверху:

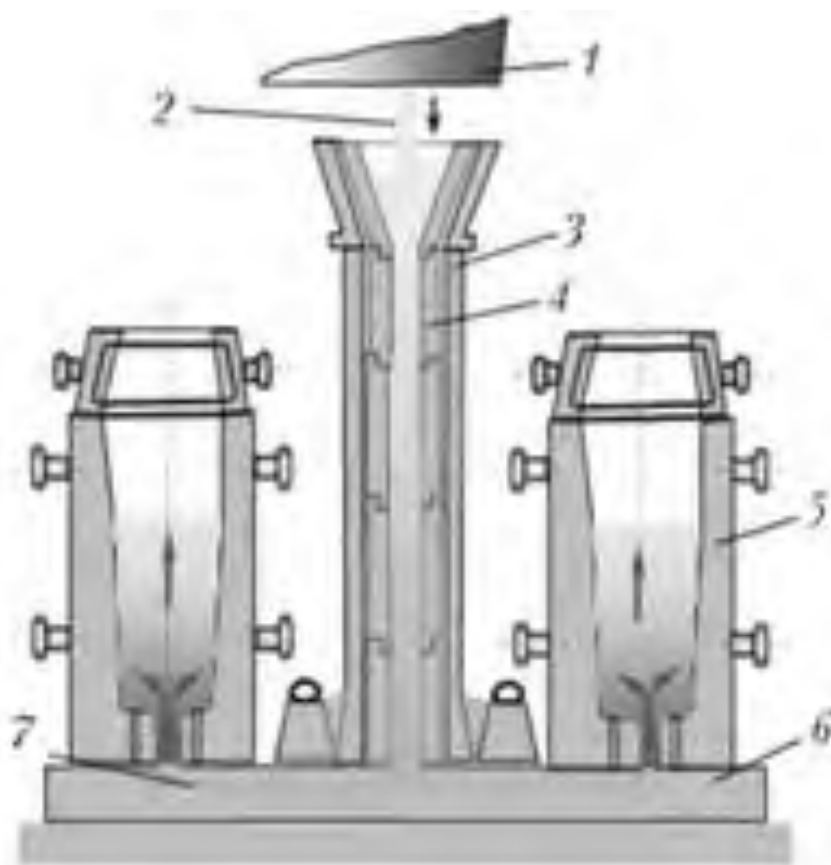
– утворення полон на поверхні нижньої частини зливків, що є наслідком розбризкування металу при ударі струменя об дно виливниці. Застиглі на стінках виливниці і окислені з поверхні бризки металу не розчиняються в піднімається рідкої сталі, утворюючи дефекти поверхні – полон, що не зварюються з металом при прокатці. В результаті цього поверхня прокатних заготовок доводиться піддавати зачистці;

- велика тривалість розливки;
- через велику тривалість розливки знижується стійкість футеровки ковша і погіршуються умови роботи шибєрного затвора.

1.3 Огляд процесу розливки сталі сифоном

Високоякісні вуглецеві і леговані сталі розливають, головним чином,

сифоном. Розливку сталі сифоном (рис. 1.5) використовують також при розливці вуглецевої сталі звичайної якості в зливки малого розважування.



1 – сталерозливний ківш; 2 – рідка сталь; 3 – центровий літник; 4 – вогнетривкі трубки; 5 – виливниці; 6 – піддон; 7 – з'єднувальні канали

Рисунок 1.5 – Схема розливки сталі сифоном

Переваги сифонної розливки сталі:

– можливість одночасної розливки декількох зливок скорочує тривалість розливки усієї плавки;

– внаслідок скорочення загальної тривалості розливки швидкість підйому металу в виливниці може бути значно менше, ніж при розливці зверху;

– поверхню зливок виходить чистою, так як метал в виливниці піднімається спокійно без розбризкування;

– підвищується стійкість футеровки ковша і поліпшуються умови роботи шибєрного затвора внаслідок меншої тривалості розливки і зменшення числа

закривань і відкриттів затвора;

– під час розливання можна стежити за поведінкою піднімається в виливниці металу і відповідно до цього регулювати швидкість розливки.

Недоліки сифонної розливки:

– складність і підвищена вартість розливки, обумовлені витратою сифонного цегли, встановленням додаткового обладнання і значними витратами праці на складання піддонів і центрових;

– додаткові втрати металу у вигляді літників (0,7– 2,5% від маси сталі, що розливається) і можливість втрати металу при проривах через сифонні цеглини;

– температура металу перед розливкою повинна бути вище, ніж при розливці зверху, так як він додатково охолоджується в каналах сифонної цегли.

При сифонній розливці та розливці сталі зверху втрати металу у вигляді скрапу і недоливков становлять 0,6–1,9%.

2 ОГЛЯД ОСОБЛИВОСТЕЙ ПІДГОТОВКИ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ РОЗЛИВКИ СТАЛІ У ВИЛИВНИЦІ

2.1 Основні етапи підготовки обладнання для розливки сталі у виливниці

Нині підготовка обладнання для розливки сталі у виливниці складається з наступних етапів:

- підготовки виливниць та надставок;
- підготовки футерованих прибуткових надставок;
- підготовки надставок із теплоізоляційними вкладишами;
- підготовки піддонів;
- підготовки сталерозливних ковшів;
- підготовки складу для розливки сифоном;
- складання складів для розливки зверху.

Серед шляхів вдосконалення якості та підвищення рівня служби виливниць для розливки сталі слід виділити наступні:

- підвищення якості чавуну, що застосовується для виробництва виливниць;
- підвищення температури термостійкості робочих поверхонь виливниць;
- регулярний догляд за експлуатаційним станом виливниць (очищення, змащення, ремонт та інші);
- пошук методів експлуатації виливниць для підвищення їх стійкості.

Особливо важливим є забезпечення чистої та без ушкоджень внутрішньої поверхні виливниць. Найчастіше використовується гідравлічне або механічне очищення виливниць, а також їх змащення.

Підготовка виливниць (рис. 2.1 та 2.2) та надставок. Після звільнення від зливків виливниці охолоджують до температури 80–110 °С або шляхом тривалої витримки на повітрі, або в пристроях, що душують, що забезпечують

м'яке охолодження за рахунок подачі на поверхню виливниці розпиленої води через форсунки.

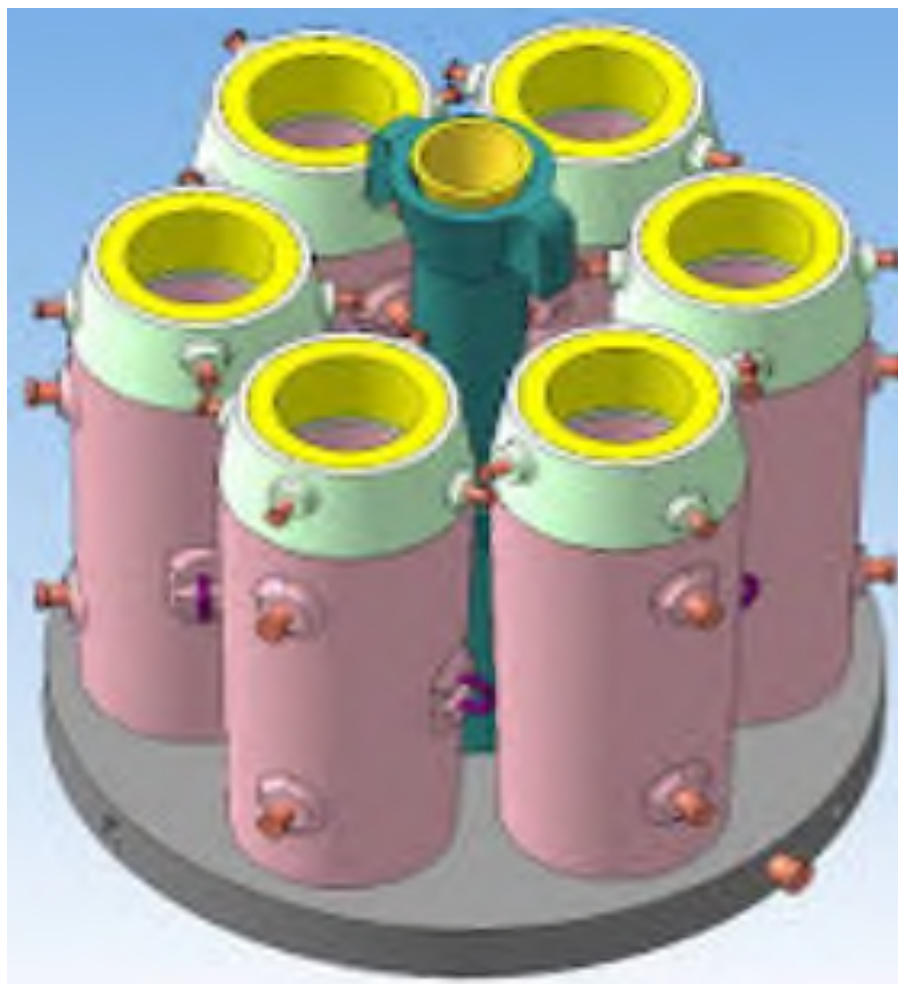


Рисунок 2.1 – 3D-модель сифонного куца з шести виливниць для зливків масою 1,6 т

Далі внутрішню поверхню виливниць очищають від бризок, що приварилися, і частинок металу, а також від окислених плівок (нагару). Чистять виливниці металічними щітками або струменями води, що подається на внутрішню поверхню виливниці під великим тиском спеціальними форсунками. Після чищення виливницю продувають стисненим повітрям, та був внутрішню поверхню виливниць змазують.

Мастило запобігає прилипанню бризок металу при розливанні до стінок виливниці, а також приварювання зливка до виливниці. Як мастило

застосовують зневоднену кам'яновугільну смолу, кам'яновугальний лак, суміш кам'яновугільної смоли з лаком, порошкоподібний графіт, змішаний з водою. Мастило наносять на внутрішні стінки виливниць або вручну за допомогою м'яких щіток, пензлів, або механізованим способом через форсунки.



Рисунок 2.2 – 3D-модель виливниці

При зіткненні з рідким металом мастило згоряє. При вигорянні мастила у виливниці створюється відновна атмосфера, у результаті зменшується окислення поверхні металу під час розливання. Крім того, гази, що утворюються при згорянні мастила, відганяють від стінок виливниці плівки окисленого металу, що покращує чистоту поверхні зливка. Температура стін виливниці перед мастилом має бути 80–110 °С. При більш (високій температурі) мастило вигорить до початку розливу; при нижчій – шар мастила виходить надмірно товстим і нерівномірним.

Операції очищення виливниць від скрапін, полон та шлаку після попереднього та мастила перед черговим наливом на багатьох великих металургійних підприємствах механізовані та проводяться за допомогою гідравлічного очищення, механічних щіток, розпилення та іншого. При чому є

підприємства, де ці операції досі виконуються вручну скребками та щітками.

Гідравлічне очищення проводиться струмом води, яка подається на внутрішню поверхню виливниць через спеціальну форсунку під тиском до 6 МПа, а механічне - металевими щітками.

Машини для очищення виливниць щітками можуть бути стаціонарними та пересувними, які переміщуються зверху над візками з виливницями в міру очищення останніх.

Підготовка футерованих прибуткових надставок (рис. 2.3) полягає у нанесенні на внутрішню поверхню гарячої прибуткової надставки вогнетривкої маси, яку зафарбовують графітової «фарбою». «Фарба» запобігає приварюванню футерування надставки до зливка. При необхідності для швидкого висихання нанесеної обмазки підготовлену надставку просушують за допомогою газових пальників. Підготовка надставок із теплоізоляційними вкладишами полягає у встановленні в корпус надставки нових вкладишів.

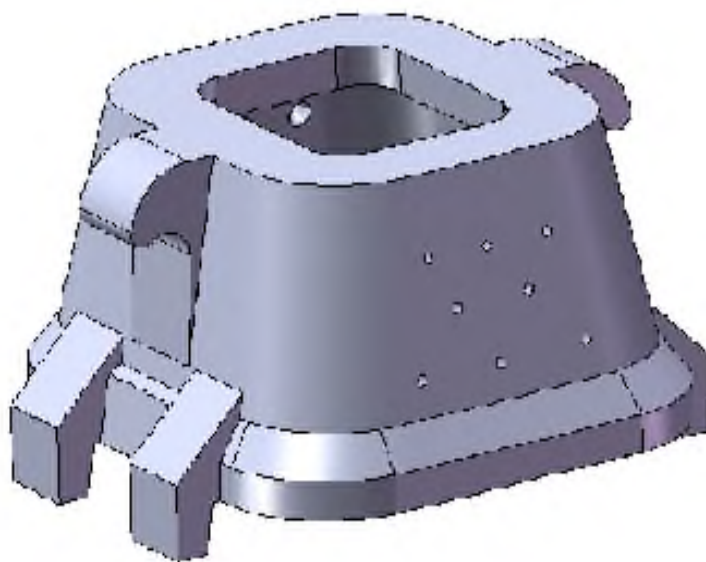


Рисунок 2.3 – 3D-модель надставки

Підготовка піддонів (рис. 2.4). Піддони для сифонного розливання після зняття виливниць і зливків очищають від скрапу, а з каналів піддону видаляють литники і відпрацьовану сифонну цеглу. Далі піддон продувають стисненим повітрям і набирають новою сифонною цеглою. Температура піддону перед

набором повинна бути не нижче 80–100 °С для забезпечення швидкого висихання вогнетривкої маси. Після набирання канали піддону продувають стисненим повітрям.



Рисунок 2.4 – 3D-модель піддону

Підготовка піддонів для розливки зверху полягає в тому, що після зняття злитків та виливниць піддон очищають від скрапу, шлаку та сміття і продувають стисненим повітрям.

Підготовка сталерозливних ковшів (рис. 2.5) включає очищення від шлаку, цегли, глини, скрапу, а також їх футеровка та сушка.

Підготовка складу для розливки сифоном включає підготовку піддонів, виливниць, центрових і прибуткових надставок (у разі розливання спокійної сталі) та складання їх. Піддон очищають від сміття та скрапу, потім у поглиблення для зірочки та канали засипають сухий пісок і встановлюють сифонну цеглу, центрові збирають на стелажах у спеціально відведеному місці. Після збирання їх сушать, прочищають і встановлюють на піддон.

Складання складів для розливки сталі зверху. На очищені піддони встановлюють змащені виливниці і на них, якщо це необхідно, прибуткові надставки.





Рисунок 2.5 – 3D-модель сталерозливного ковша

Наприклад, для мийки та сушіння виливниць печі ДТВГ-7ПФ-И1 застосовується стенд, приведений на рис. 2.6.

Вставки МКРВ-340 (рис. 2.7) застосовуються для теплоізоляції головної частини зливків круглого, квадратного, прямокутного та багатогранних перерізів. Вироби мають конструкцію для простої установки у виливниці або розливні форми, прибуткові надставки врозп'яр або закріплюються на клей, та/або механічними кріпленнями, скобами. При встановленні враховуються можливі лінійні або об'ємні усадки при нагріванні.

Переваги застосування теплоізоляційних вставок:

- зниження витратного коефіцієнта металу при переділі зливків у заготовки та прокат різного перерізу;
- простота встановлення;
- зниження металоємності конструкції виливниць та прибуткових надставок;
- скорочення витрати керамічних вогнетривів;
- скорочення витрати сумішей, що утеплюють;
- не містить вигоряючі добавки та азбест.

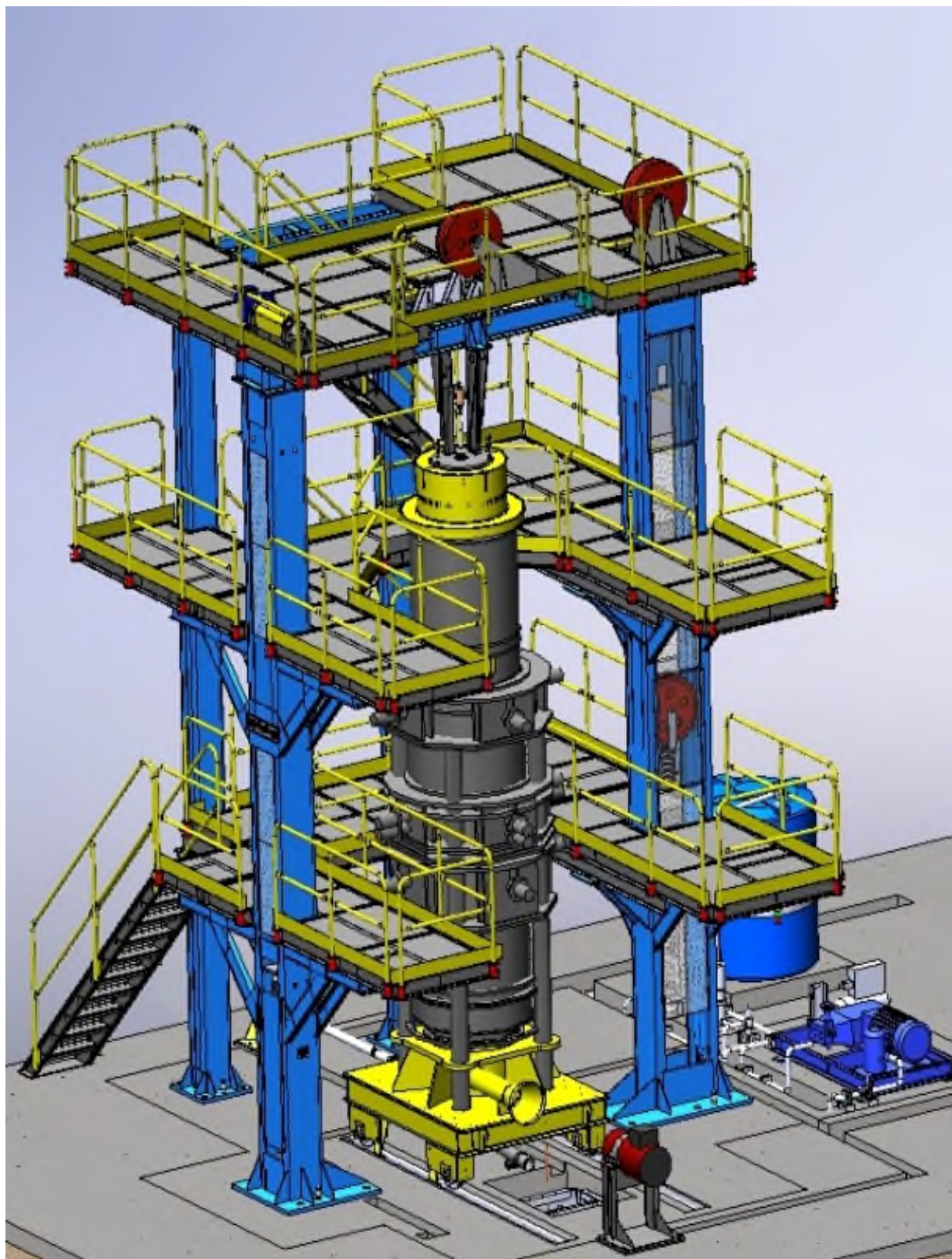


Рисунок 2.6 – 3D-модель станда для мийки та сушіння виливниць печі ДТВГ-7ПФ-И1



Рисунок 2.7 – Вставки теплоізоляційні типу МКРВ-340

2.2 Аналіз обладнання для розливки сталі, що застосовується на металургійних підприємствах України

Наприклад, в умовах ВАТ «Криворіжсталь» (на сьогодні «АрселорМіттал Кривий Ріг») відповідно до технологічної інструкції ТІ 228-СТ-02-1998 широко використовують різні виливниці типу МКС-12,5 та КС-8п, глухоні виливниці типу С-9 та МС-12-1 та піддони під виливниці КС-8П (табл. 2.1), при цьому витратний коефіцієнт виливниць на 1 т сталі становить: КС – 8п – 11 кг/т сталі, МКС -12,5 – 12,7 кг/т сталі, С-9 – 30 кг/т сталі та М -12-1 – 22кг/т сталі.

Через виникнення сітки розпалу та вигару на підприємстві виходить з ладу 80,6 % виливниць типу КС-8п, 77,9 % типу МКС-12,5, 51,5 % типу С-9 та 31,8 % типу МС-12. Внаслідок приварювання зливка, розмиву днища та стін виходить з ладу 1,4 % виливниць типу КС-8п, 0,7% типу МКС, 18 % типу С-9 та 17,1 % типу МС-12. Очищення виливниць виконується щітками, а їх змащення виконують розчином на основі дистенсіліманітового концентрату

(40,7% SiO₂; 0,7% Fe₂O₃; 57,3% Al₂O₃; 0,23% MgO; 0,95% TiO₂; <1% CO₂; <1% H₂O; 0,05% K₂O+Na₂O) або вапна. Рівний шар якісного мастила дозволяє зменшити тепловий удар у перший момент зіткнення рідкого металу та виливниці, згладити поверхневі нерівності на робочій поверхні виливниці, попередити потрапляння металу в поглиблення сітки розпалу, що загальмує подальше її окислення і при цьому буде служити отриманню більш рівної та гладкої поверхні виливниць.

Таблиця 2.1 – Типи виливниць та спосіб розливки сталі на ВАТ «Криворіжсталь»

Тип виливниці	Спосіб розливки сталі	Тип сталі	Маса зливка, т
С-9	зверху	спокійна	8,5
МС – 12	зверху	спокійна	12,5
КС – 8п	зверху та сифоном	спокійна	8,5
КС – 8п	зверху та сифоном	кипляча	8,5
МКС	зверху	кипляча	12,5

Безпосередньо ТОВ «Запорізький ливарно-механічний завод» постачає на ВАТ «Азовсталь» виливниці типу К-13 та С-8. При цьому основною продукцією ТОВ «Запорізький ливарно-механічний завод» є виливниці (зокрема виливниці листові крупні для киплячої (У1БМ та У-Ш) та спокійної (С-ПУ, С-ШУ, С-12,5 та ВС-24) сталей, виливниці для спеціальних сталей (ІХ Б, VI та XII Б), виливниці наскрізні К-113, МК-12,5 та 7,0), виливниці середні глуходонні (С8, Л-10, С9А, 6,5БН та інші), а також піддони, центрові та надставки.

Нині на ПАТ «Запоріжсталь» використовують механічне очищення виливниць типу 4 «А», 1 «Б», 2 «Б», XV «Б», 1 «Д», 2 «Д» та 4 «Д», які їм постачає ТОВ «Запорізький ливарно-механічний завод». Внутрішня поверхня всіх охолоджених виливниць перед змащенням оглядається і очищається від нагару та шлаку на установках механічного очищення та змазування

виливниць, при необхідності доочищення, застосовуються сталеві скребки та щітки. При цьому обов'язковому очищенню піддаються покажчики висоти наливу на гранях виливниць, а зовнішня поверхня виливниць очищається від скрапу. Змащення виливниць проводиться водним розчином лігносульфоната технічного щільністю 1,04–1,06 г/см³ механічним способом (відповідно до ТУ 13-0281036-029-94). Також допускається змазування виливниць водним розчином графіту з додаванням рідкого скла (відповідно до ГОСТ 5420-74).

2.3 Розрахунок схеми літника для розливки сталі сифоном

Розливка сталі сифоном засноване на принципі дії сполучених посудин. При розливці сталі сифоном можна одночасно заповнювати від двох до шістдесяти виливниць. Розміри піддону залежать від кількості одночасно встановлюваних на нього виливниць.

Відомо, що при перебігу рідини по каналах вона зустрічає опори. На подолання опорів необхідний запас натиску. Такий натиск створюється деяким перевищенням літника над заввишки призначеного рівня заповнення виливниць металом.

Для визначення висоти літника необхідно виконати гідравлічний розрахунок системи.

На рис. 2.8 приведена схема системи, літника, для розливки сталі сифоном.

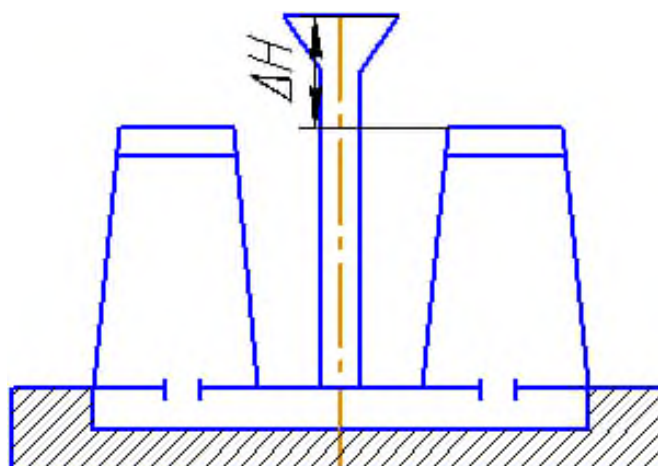


Рисунок 2.8 – Схема системи літника для розливки сталі сифоном

Гідравлічний розрахунок системи зводиться до визначення суми опорів на шляху руху металу через літник.

Втрати натиску на подолання сил тертя визначаються за наступною формулою:

$$h_{\text{тр}} = f \frac{l}{d} \times \frac{w_0^2}{2g} g_p, \text{ мм.вод.ст.}, \quad (2.1)$$

де w_0 – швидкість руху сталі в провідках, м/с;

f – коефіцієнт тертя;

l – довжина ділянки, м;

d – гідравлічний або приведений діаметр каналу, м;

g – прискорення сили тяжіння, рівне $9,81 \text{ м/с}^2$;

g_p – щільність рідкої сталі, рівне 7 т/м^3 .

Швидкість руху сталі, може бути визначена таким чином. При відливанні зливків, наприклад, масою 6,5 т об'єм металу складає:

$$6,5 : 7 = 0,93 \text{ м}^3,$$

де 7 – щільність рідкої сталі, т/м^3 .

При тривалості розливання куца 6 хв. секундний об'єм металу дорівнює:

$$\frac{0,93}{6 \times 60} = 0,00257 \text{ м}^3.$$

При діаметрі сифонових провідок 50 мм площа поперечного перетину дорівнює:

$$F = \frac{\rho d^2}{4} \quad (2.2)$$

$$F = \frac{3,14 \times 0,05^2}{4} = 0,002 \text{ м}^2.$$

Швидкість руху сталі в проводках рівна $0,00257 / 0,002 = 1,29$ м/с.

Коефіцієнт тертя для рідини при турбулентному русі визначається за формулою:

$$f = \frac{0,3164}{Re^{0,25}}, \quad (2.3)$$

де Re – число Рейнольдса, визначуване за формулою:

$$Re = \frac{w_0 d}{\nu}. \quad (2.4)$$

ν – кінематична в'язкість, яка для сталі приймається рівною $0,004 \text{ см}^2/\text{с}$.

$$Re = \frac{1,29 \times 0,05 \times 10^4}{0,004} = 160000$$

$$f = \frac{0,3164}{Re^{0,25}} = \frac{0,3164}{20} = 0,0158.$$

При довжині горизонтальної проводки 1м втрата натиску на подолання тертя складе:

$$h_{\text{тр}} = f \frac{l}{d} \times \frac{w_0^2}{2g} g_p \quad (2.5)$$

$$h_{\text{тр}} = 0,0158 \frac{1}{0,05} \times \frac{1,29^2}{2 \times 9,81} \times 7000 = 186 \text{ мм вод.ст.}$$

Для підрахунку місцевих опорів необхідно визначити швидкісний натиск сталі:

$$h_{\text{ст}} = \frac{w_0^2}{2g} g_p \quad (2.6)$$

$$h_{\text{ст}} = \frac{1,29^2}{2 \times 9,81} \times 7000 = 585 \text{ мм. вод. ст.}$$

Сталь робить два повороти по 90° ; перший – з літника в сифонову проводку, другий – з сифонової проводки у виливницю. Коефіцієнт опору при повороті на 90° , $\kappa = 1$; так як є два повороти на 90° , то $\kappa = 2$.

Втрати натиску на подолання місцевих опорів:

$$h_m = \kappa \times h_{\text{ст}} \quad (2.7)$$

$$h_m = 2 \times 585 = 1170 \text{ мм вод. ст.}$$

Втрати натиску при вході струменя у виливницю ($\kappa = 1$):

$$h_m = 1 \times 585 = 585 \text{ мм вод. ст.}$$

Сумарні втрати натиску дорівнює:

$$\mathring{a} h = h_{\text{мп}} + h_{\text{ст}} + h_m \quad (2.8)$$

$$\mathring{a} h = 186 + 1170 + 585 = 1941 \text{ мм вод. ст.}$$

Необхідне перевищення літника над рівнем дзеркала стали у виливниці в кінці розливання дорівнює:

$$DH = \frac{\mathring{a} h}{g_p} \quad (2.9)$$

$$DH = \frac{1941}{7000} = 0,278 \text{ м.}$$

Рекомендовані величини DH знаходяться в межах 200-300 мм. За наявності розгалужених проводок на піддоні перевищення висоти літника над рівнем металу у виливниці може досягати 400–500 мм.

Визначення діаметру центрної проводиться за формулою:

$$d = 2\sqrt{\frac{mQ}{\rho\delta k}}, \quad (2.10)$$

де d – діаметр центрної, см;

m – кількість виливниць у куці, шт.;

Q – маса зливка, кг;

ρ – 3,14;

δ – тривалість заповнення виливниць, с;

k – коефіцієнт, що враховує пропускну спроможність центрної (кг/см² с.), коливається в межах 0,5–1,3.

Для даного розрахунку приймаємо $k=0,9$, тоді:

$$d = 2\sqrt{\frac{4 \times 6500}{3,14 \times 360 \times 0,9}} = 9,9 \text{ см.}$$

Приймаємо діаметр рівним 100 мм (приймаємо граничні області 120, 140 мм та інші з кроком в 20 мм).

2.4 Розрахунок геометричних параметрів прибуткової надставки виливниці

Розрахунок прибуткової надставки складається з наступних етапів:

1. Під час кристалізації зливка близько 3 % рідкого металу переходить з прибутку в тіло зливка. Маса рідкого металу в прибутку становить:

$$g_{\text{пр.р}} = 1,03 \times g_{\text{зл}} - g_{\text{т.зл}} \quad (2.11)$$

$$g_{np.p} = 1,03 \times 7,464 - 6,508 = 1,18 \text{ т} .$$

2. Об'єм металу в рідкому стані становить:

$$V_{np} = \frac{g_{np.p}}{g_p} \quad (2.12)$$

$$V_{np} = \frac{1,18}{7} = 0,169 \text{ м}^3 .$$

де g_p - щільність рідкої сталі, т/м³.

3. Розміри сторін вікна підстави прибуткової надставки звичайно менше розмірів порожнини виливниці вгорі на 40–60 мм. Для даного розрахунку приймаємо 46 мм, тоді знаходимо значення розмірів:

$$A_{np} = A_{вл} - D_{np} \quad (2.13)$$

$$A_{np} = 782 - 46 = 736 \text{ мм}$$

$$B_{np} = B_{вл} - D_{np} \quad (2.14)$$

$$B_{np} = 679 - 46 = 633 \text{ мм} .$$

Радіус закруглення в цьому перетині приймаємо таким же, як і у виливниці, тобто $r_1 = 73$ мм.

Площа нижнього вікна прибуткової надставки визначається за формулою:

$$F_{np} = A_{np} \times B_{np} - 0,86 \times r_1^2 \quad (2.15)$$

$$F_{np} = 73,6 \times 63,3 - 0,86 \times 7,3^2 = 4613 \text{ см}^2.$$

4. Конусність прибуткової надставки звичайно приймається рівною 17–20%. Для попередніх розрахунків приймаємо конусність $a_K = 20\%$ і задаємося орієнтовно заввишки наповнення прибули $H_H = 400 \text{ мм}$.

Визначаємо розміри прибутку в світлі на рівні заповнення, її металом:

$$a_{np} = A_{np} - 2 \times H_H \times \frac{a_K}{100} \quad (2.16)$$

$$a_{np} = 736 - 2 \times 400 \times 0,2 = 576 \text{ мм}$$

$$b_{np} = B_{np} - 2 \times H_H \times \frac{a_K}{100} \quad (2.17)$$

$$b_{np} = 633 - 2 \times 400 \times 0,2 = 473 \text{ мм}$$

$$r_{np} = \frac{b_{np} - c}{2}, \quad (2.18)$$

де c – ширина майданчика зливка, мм.

Для зручності захоплення зливка кліщами з приймається рівною 100 мм, тоді радіус закруглення кутів прибуткової надставки вгорі дорівнює:

$$r_{np} = \frac{473 - 100}{2} = 187 \text{ мм}.$$

Площа перетину прибуткової надставки в світлі на рівні наповнення її металом дорівнює:

$$F_{np} = a_{np} \times b_{np} - 0,86 \times r_{np}^2 \quad (2.19)$$

$$F_{np} = 57,7 \times 47,3 - 0,86 \times 18,7^2 = 2424 \text{ см}^2.$$

5. Визначаємо площу середнього перетину прибуткової надставки за формулою:

$$F_{cp} = \frac{1}{4}(A_{np} + a_{np})(B_{np} + b_{np}) - 0,215(r_1 + r_{np})^2 \quad (2.20)$$

$$F_{cp} = \frac{1}{4}(73,6 + 57,6)(63,3 + 47,3) - 0,215(7,3 + 18,7)^2 = 3482 \text{ см}^2.$$

6. Висота заповнення прибутку перевіряється за формулою:

$$H'_{np} = \frac{6V_{np}}{F_{np} + F_{np\phi} + 4F_{cp}} \quad (2.21)$$

$$H'_{np} = \frac{6 \times 0,169 \times 10^6}{4613 + 2424 + 4 \times 3482} = 48,4 \text{ см} = 484 \text{ мм}.$$

Повна висота прибули дорівнює:

$$H_{np} = 484 + (80, 100) = 484 + 80 = 564 \text{ мм}.$$

7. Перевіряємо дійсну конусність граней прибули:

$$a_{\phi} = \frac{A_{np} - a_{np}}{2H_{\phi}} 100 \quad (2.22)$$

$$a_{\phi} = \frac{736 - 576}{2 \times 484} 100 = 17\%,$$

тобто конусність знаходиться в межах рекомендованих величин.

Визначаємо розміри верхнього вікна прибули:

$$a = A_{ел} - 2H_{np} \frac{a''}{100} \quad (2.23)$$

$$a = 736 - 2 \times 564 \times \frac{17}{100} = 546 \text{ мм};$$

$$b = B_{ел} - 2H_{np} \frac{a''}{100} \quad (2.24)$$

$$b = 633 - 2 \times 564 \times \frac{17}{100} = 443 \text{ мм}.$$

Визначаємо радіус прибули, який становить:

$$r_{np} = r_1 + (r_{np} - r_1) \frac{H_{np}}{H_{\phi}} \quad (2.26)$$

$$r_{np} = 73 + (187 - 73) \frac{560}{480} = 206 \text{ мм}.$$

8. Товщина нижньої підстави прибутку приймається рівною 70 мм, бічних стінок - 50 мм, основного шару футеровки - 65 мм, обмазки 5 мм.

9. Визначаємо розміри прибутку вгорі, який становить:

$$a_n = a + 2(50 + 65 + 5) = 546 + 240 = 786 \text{ мм}$$

$$b_n = b + 2(50 + 65 + 5) = 443 + 240 = 683 \text{ мм}$$

$$r_n = r_{np} + 50 + 65 + 5 = 206 + 50 + 65 + 5 = 326 \text{ мм}.$$

Розміри нижньої підстави прибуткової підставки підбираються відповідно до розмірів виливниці.

3 ЗАСТОСУВАННЯ КРІОГЕННОГО БЛАСТІНГУ ЯК СУЧАСНОГО МЕТОДУ ОЧИЩЕННЯ ВІД ЗАБРУДНЕНЬ ВИЛИВНИЦЬ ДЛЯ РОЗЛИВКИ СТАЛІ

3.1 Суть технології кріогенного бластингу

Суть технології кріогенного бластингу полягає в виникненні ефекту «термічного шоку» за рахунок значної різниці температур між гранулами сухого льоду (до -80°C) (рис. 3.1) та поверхні виливниці (температура всередині виливниці досягає 200°C).

Параметри гранул сухого льоду наступні:

- діаметр гранул 2–3 мм,
- довжина 2,5–10,2 мм.
- тиск стислого повітря 2–14 атм.
- витрата повітря 4,5–12 м³/хв.



Рисунок 3.1 – Гранули сухого льоду

Переваги технології криогенного бластингу слід визначити в наступних позиціях:

- відсутність механічних пошкоджень та змін структури поверхні, що оброблюється;
- відсутність вторинних відходів в зв'язку з повним випаровуванням миючої речовини (гранул сухого льоду);
- значне скорочення циклу очищення;
- економічність процесу та швидка окупність капітальних вкладень;
- «сухість» процесу, тобто на відміну від водяного очищення гранули сухого льоду випарюються і не залишають вологи на робочій поверхні;
- підвищення техногенної безпеки процесу для робітників та зниження забруднення навколишнього середовища.

До складу субстанції гранул сухого льоду (рис. 3.1) не входить абсолютно ніяких хімічних розчинників, що є повністю безпечним і не завдає шкоди ні матеріалу, що оброблюється, ні навколишньому середовищу. Після вивільнення струменя, він не залишає продуктів розпаду, позбавляючи тим самим виробництво від додаткової утилізації. Завдяки тому, що сухий лід не має переходу в рідку фазу, після себе він не залишає вологих відкладень на будь-яких поверхнях, у порівнянні з паровим та водяним методами абразивного очищення, не провокуючи тим самим подальшу корозію або появу іржі на готовому продукті.

При обробці металевих конструкцій (рис. 3.2) гранули сухого льоду їх механічно не пошкоджують, зберігаючи початкову фізичну і хімічну структуру поверхонь.

Крім очищення від механічних забруднень, бластинг можна застосовувати і в якості дезінфектора поверхонь. Це досягається завдяки здатності низької температури гранульованого льоду знищувати будь-які мікроорганізми, які знаходяться в секторі впливу крижаного струменя. Це також знижує витрати на додаткову термічну або хімічну обробку для дезінфекції будь-яких поверхонь матеріалів після абразивного очищення.

Схематично процес кріогенного бластингу можна зобразити як на рис. 3.2.

Результати застосування кріогенного бластингу для очищення металевих поверхонь від іржі зображено на рис. 3.3.



Рисунок 3.2 – Процес кріогенного бластингу

Обладнання для кріогенного бластингу включає:

- кріогенні сховища та транспортні ємності;
- кріогенні газофікатори;
- кріогенні трубопроводи;
- кріогенні насоси;
- випарники та підігрівачі газів та інше.



Рисунок 3.3 – Результати застосування кріогенного бластингу для очищення металевих поверхонь від іржі

3.2 Дослідження застосування криогенного бластингу для очищення виливниць в умовах ПАТ «Дніпроспецсталь»

На сьогодні в умовах ПАТ «Дніпроспецсталь» розливка сталі виконується сифоном в сухі виливниці з екзотермічними сумішами вставками відповідно до ТУ 143-СР-11-99. Також дозволяється розливка у виливниці, змащені лаком, вставками відповідно до ТУ 143-СР-1-99, у виливниці без надставок вставками відповідно до ТУ 143-СР-16-99, а також у виливниці з теплозахисними вставками відповідно до ТУ 143-СР-13-99. Очищення від забруднень сортових виливниць (маса зливка становить 1 т; 3,6 т; 4,5 т; 4,8 т; 6,5 т та 7,4 т) виконують механізованим способом за допомогою обертових щіток.

При тривалій експлуатації виливниць їх поверхня руйнується в результаті взаємодії з рідкою сталлю, повітрям та екзотермічними сумішами. Зокрема, повітря окисляє нагріту поверхню виливниці, викликаючи її ерозію у вигляді сітки розпалу (рис. 3.1).

Суттєвою проблемою також є висока температура виливниці, яка досягає меж 600–700 °С після вилучення зливка. Для очищення та змащення виливниці оптимальною є температура в межах 150–200 °С. У зв'язку з цим виливниці залежно від їх типу, ваги зливку та виду екзотермічної суміші, що застосовується, перед розливкою відстоюються на протязі 4–10 годин в теплу пору та 3–8 годин в холодну пору року. Крім того, діюча машина для очищення виливниць незадовільно очищає дно та кути виливниць для злиwkів різної маси (рис. 3.2). Саме тому додатково використовуються ручне доочищення з використанням важкої фізичної праці при особливо шкідливих умовах.

В лабораторних дослідженнях в умовах ПАТ «Дніпроспецсталь» був апробований метод криогенного бластинга. Суть методу полягає в виникненні ефекту «термічного шоку» за рахунок значної різниці температур між гранулами сухого льоду (до – 80 °С) та поверхні виливниці (температура всередині виливниці досягає 200 °С). При цьому різке зниження температури поверхневого шару виливниці, що очищається, призводить його до крихкого

стану.

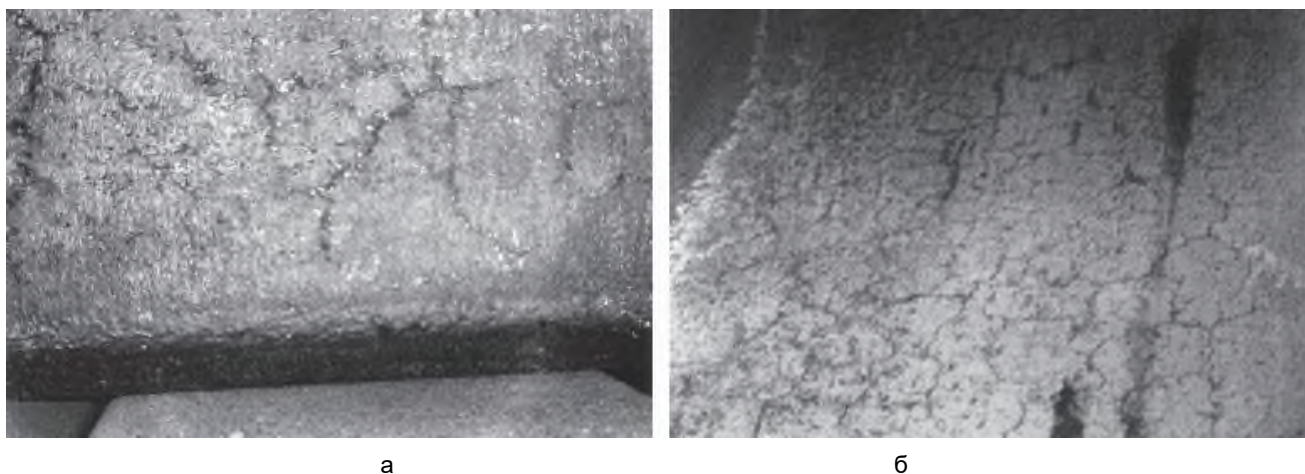
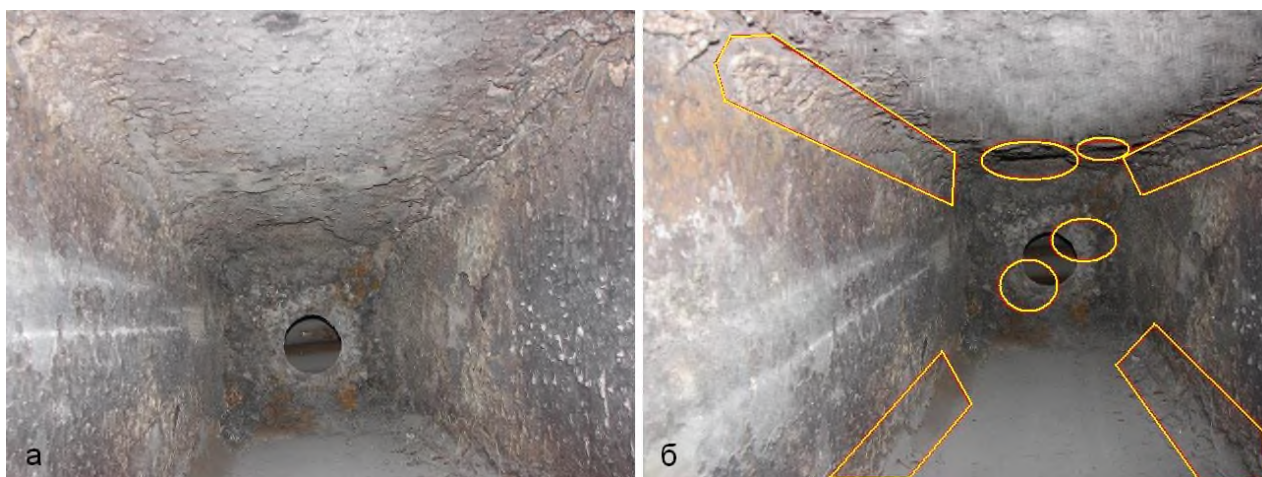


Рисунок 3.1 – Сітка розпалу на внутрішній поверхні виливниці (а) та дефекти поверхні зливка (б)



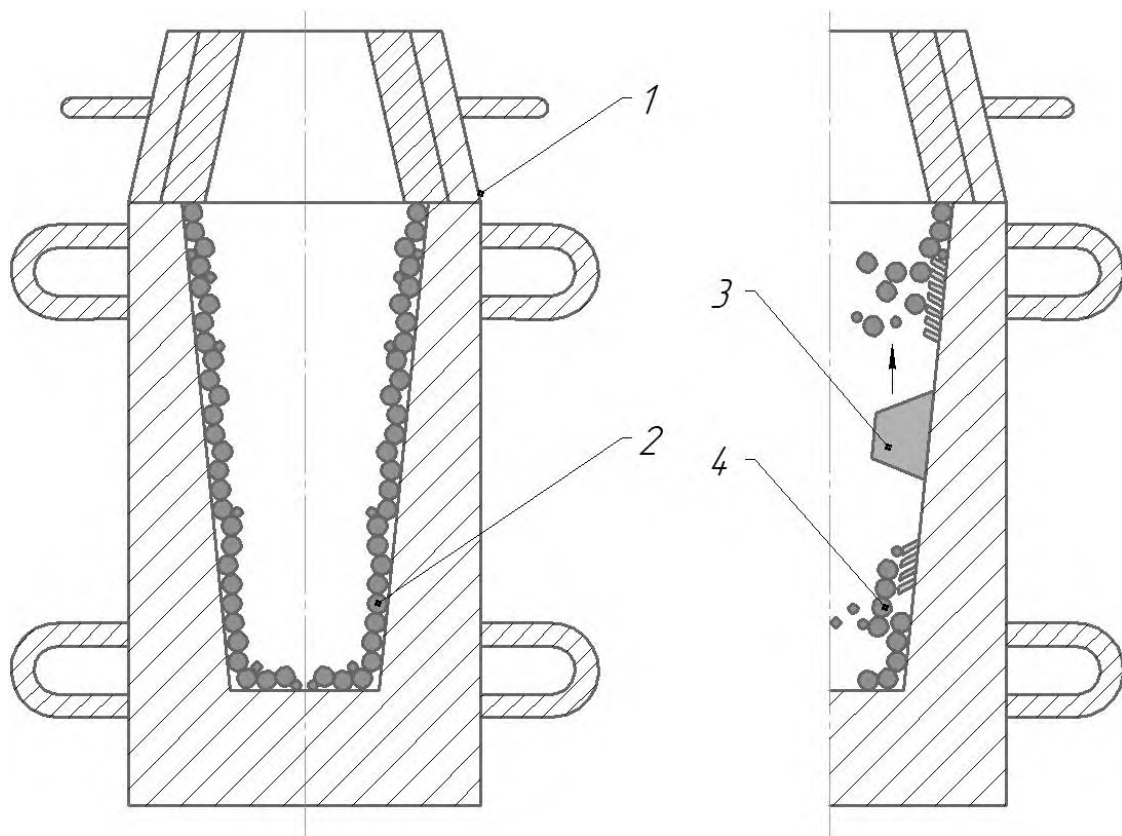
а – до очищення; б – після очищення пробивальною машиною (обведені зони забруднень та сітки розпалу)

Рисунок 3.2 – Виливниця № 1017 в умовах ПАТ «Дніпроспецсталь» (зливки масою 3,8 т)

Слід зазначити, що при зіткненні з поверхнею обробки до гранул сухого льоду підводиться величезна кількість тепла. В результаті теплообміну тверді частинки CO_2 миттєво нагріваються та переходять в газоподібний стан, збільшуючись в обсязі в сотні разів. Газ, що утворюється, частково проникаючи в простір між забрудненнями та поверхнею, що очищується, утворює «газовий клин», який під тиском відламує частки забруднень від основної поверхні.

Однією з основних переваг криогенного бластингу при очищенні чавунних виливниць від забруднень є можливість не використовувати демонтаж виробничих ліній, тобто очищення можна проводити безпосередньо на металургійному виробництві. Устаткування для подачі гранул сухого льоду та ємності для їх зберігання можна встановити на рухомому візку. Джерелом стисненого повітря може бути компресор або заводська мережа стисненого повітря. Велике значення має процес підготовки повітря, тобто воно повинно бути очищено від твердих частинок (наприклад, окалини та іржі), води та масел.

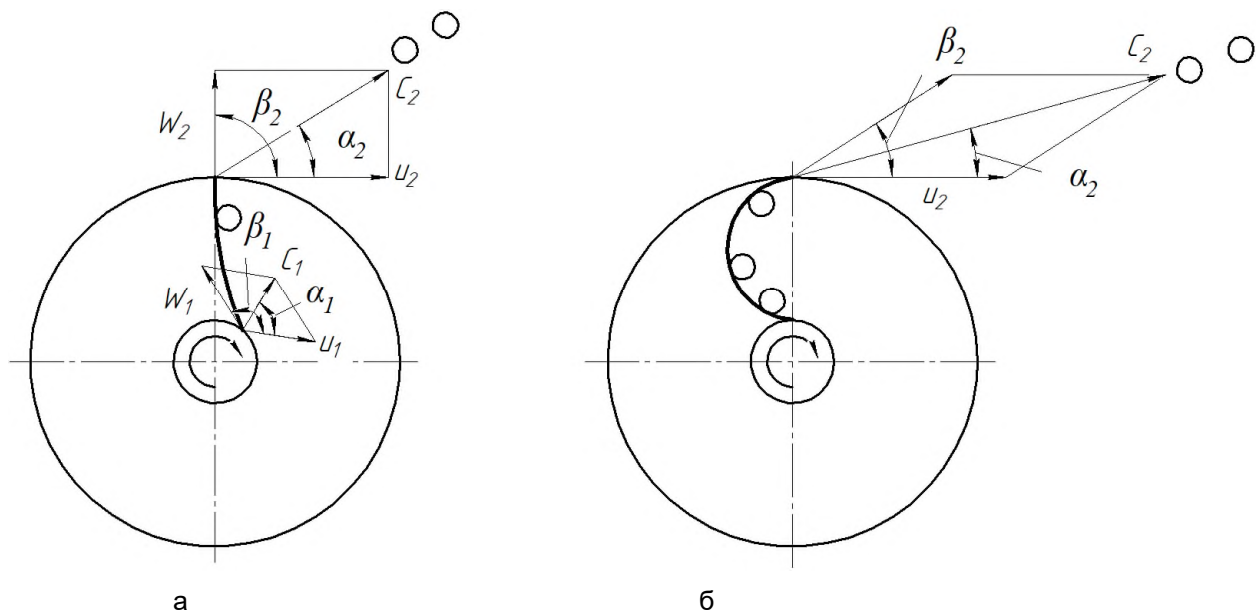
Схема процесу видалення забруднення зі стінок виливниці за допомогою застосування технології криогенного бластингу представлена на рис. 3.3.



1 – чавунна виливниця; 2 – забруднення на стінках виливниці (сліди нагару, хлоридів, сплесків та іншого); 3 – розпилення гранул сухого льоду; 4 – очищення та видалення забруднень зі стінок виливниці

Рисунок 3.3 – Схема процесу видалення забруднення зі стінок виливниці за допомогою застосування технології криогенного бластингу

У роботі при застосуванні криогенного бластингу для очищення виливниць від забруднень запропоновано проведення аналітичних досліджень залежності відцентрової сили частинок льоду (F_1) від параметрів диску, що обертається, маси частинок льоду у вигляді кулі (m) та швидкості обертання (V). Для досягнення їх максимальної енергії побудовано трикутники швидкостей вильоту частинок льоду у вигляді кулі на вході та виході з диску, що обертається (рис. 3.4). Також визначено раціональні шляхи руху частинок льоду, що забезпечують найбільші значення їх абсолютної швидкості та відповідно і кінетичної енергії.



а – радіальне розташування направляючих жолобів ($\beta_1=90^0$); б – жолоби загнуті вперед у напрямку обертання ($\beta_1<90^0$);

w_1 та w_2 – відносна швидкість гранул льоду у вигляді кулі на вході та виході відповідно, м/с;

α_1 та α_2 – кути між абсолютною та окружною швидкостями відповідно;

β_1 та β_2 – кути між відносною та окружною швидкостями відповідно;

u_1 та u_2 – окружна швидкість на вході та виході відповідно, м/с;

c_1 та c_2 – абсолютна швидкість гранул льоду у вигляді кулі на вході та виході відповідно, м/с;

Рисунок 3.4 – Схема руху частинок льоду при криогенному бластингу

Динамічна енергія гранул сухого льоду складає:

$$E = \frac{\rho(c_2^2 - c_1^2)}{2}, \quad (3.1)$$

де ρ – питома щільність льоду, г/см².

Відцентрова сила частинок льоду визначається за формулою:

$$F_1 = \frac{mV^2}{r}, \quad (3.2)$$

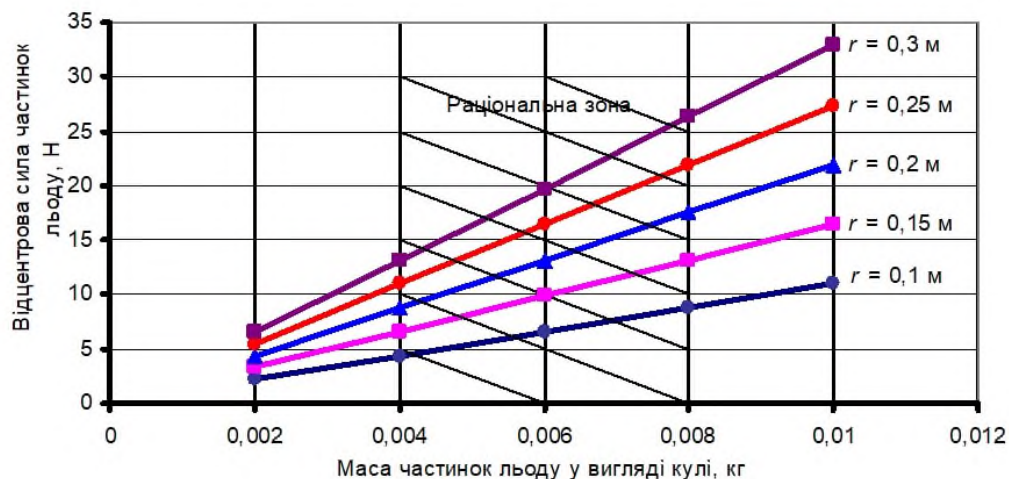
де V – дотична окружна швидкість, м/с:

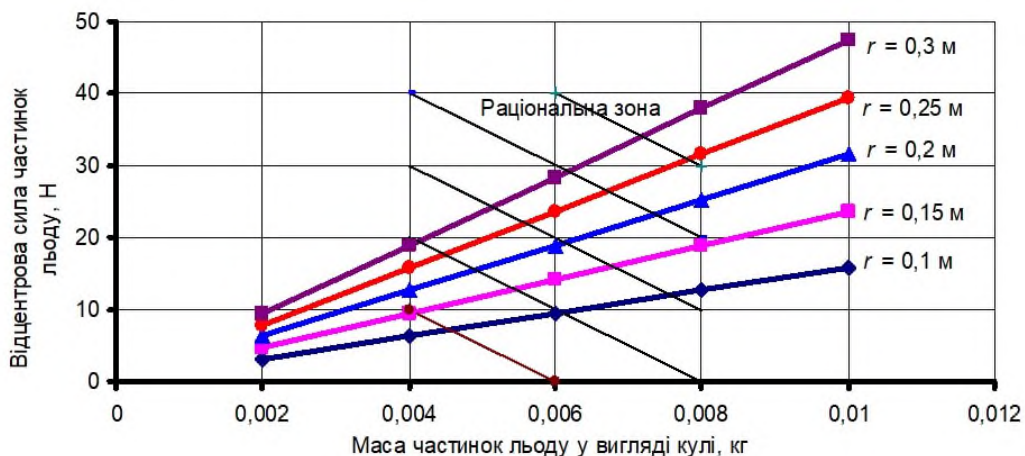
$$V = wr, \quad (3.3)$$

w – кутова швидкість, м/с, $w = \pi n / 30$; r – радіус диска, м; m – маса кулі, кг; n – число оборотів диска в хвилину, об./хв.

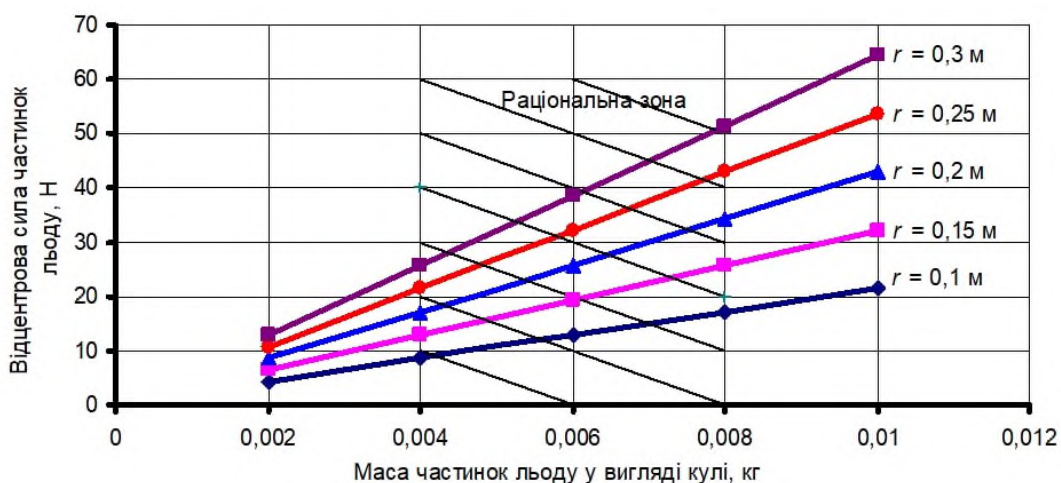
В зв'язку з тим, що відцентрова сила суттєво впливає на ефективність очищення металургійного обладнання (в нашому випадку чавунної виливниці), було проаналізовано при застосуванні технології криогенного бластингу вплив на неї зміни масу частинок льоду у вигляді кулі в діапазоні 0,002–0,01 кг та радіусу диска, що обертається, в діапазоні 0,1–0,3 м (рис.3.5 та рис. 3.6).

Розрахункові данні залежності відцентрової сили частинок льоду від маси частинок льоду у вигляді кулі представлено в табл. 3.1– 3.20.

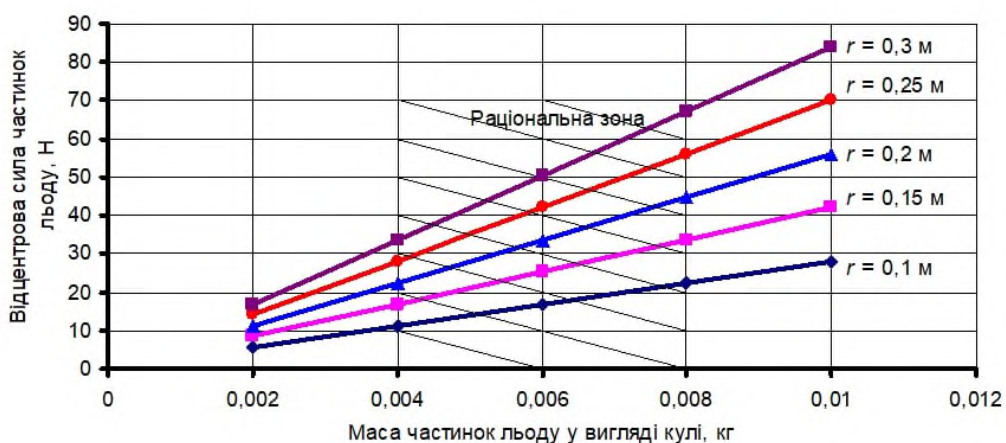




б



в



г

а – при 1000 об/хв диска; б – при 1200 об/хв диска; в – при 1400 об/хв диска;

г – при 1600 об/хв диска

Рисунок 3.5 – Залежність відцентрової сили частинок льоду від маси частинок льоду у вигляді кулі

Таблиця 3.1 – Розрахункові данні залежності відцентрової сили частинок льоду від маси частинок льоду у вигляді кулі (при радіусі диска, що обертається, 0,1 м та 1000 об./хв.)

Радіус диска, що обертається, м	Маса кулі, кг	Число оборотів диска в хвилину, об./хв.	Відцентрова сила частинок льоду, Н
0,1	0,002	1000	2,191022
	0,004	1000	4,382044
	0,006	1000	6,573067
	0,008	1000	8,764089
	0,01	1000	10,95511

Таблиця 3.2 – Розрахункові данні залежності відцентрової сили частинок льоду від маси частинок льоду у вигляді кулі (при радіусі диска, що обертається, 0,15 м та 1000 об./хв.)

Радіус диска, що обертається, м	Маса кулі, кг	Число оборотів диска в хвилину, об./хв.	Відцентрова сила частинок льоду, Н
0,15	0,002	1000	3,286533
	0,004	1000	6,573067
	0,006	1000	9,8596
	0,008	1000	13,14613
	0,01	1000	16,43267

Таблиця 3.3 – Розрахункові данні залежності відцентрової сили частинок льоду від маси частинок льоду у вигляді кулі (при радіусі диска, що обертається, 0,2 м та 1000 об./хв.)

Радіус диска, що обертається, м	Маса кулі, кг	Число оборотів диска в хвилину, об./хв.	Відцентрова сила частинок льоду, Н
0,2	0,002	1000	4,382044
	0,004	1000	8,764089
	0,006	1000	13,14613
	0,008	1000	17,52818
	0,01	1000	21,91022

Таблиця 3.4 – Розрахункові данні залежності відцентрової сили частинок льоду від маси частинок льоду у вигляді кулі (при радіусі диска, що обертається, 0,25 м та 1000 об./хв.)

Радіус диска, що обертається, м	Маса кулі, кг	Число оборотів диска в хвилину, об./хв.	Відцентрова сила частинок льоду, Н
0,25	0,002	1000	5,477556
	0,004	1000	10,95511
	0,006	1000	16,43267
	0,008	1000	21,91022
	0,01	1000	27,38778

Таблиця 3.5 – Розрахункові данні залежності відцентрової сили частинок льоду від маси частинок льоду у вигляді кулі (при радіусі диска, що обертається, 0,3 м та 1000 об./хв.)

Радіус диска, що обертається, м	Маса кулі, кг	Число оборотів диска в хвилину, об./хв.	Відцентрова сила частинок льоду, Н
0,3	0,002	1000	6,573067
	0,004	1000	13,14613
	0,006	1000	19,7192
	0,008	1000	26,29227
	0,01	1000	32,86533

Таблиця 3.6 – Розрахункові данні залежності відцентрової сили частинок льоду від маси частинок льоду у вигляді кулі (при радіусі диска, що обертається, 0,1 м та 1200 об./хв.)

Радіус диска, що обертається, м	Маса кулі, кг	Число оборотів диска в хвилину, об./хв.	Відцентрова сила частинок льоду, Н
0,1	0,002	1200	3,155072
	0,004	1200	6,310144
	0,006	1200	9,465216
	0,008	1200	12,62029
	0,01	1200	15,77536

Таблиця 3.7 – Розрахункові данні залежності відцентрової сили частинок льоду від маси частинок льоду у вигляді кулі (при радіусі диска, що обертається, 0,15 м та 100 об./хв.)

Радіус диска, що обертається, м	Маса кулі, кг	Число оборотів диска в хвилину, об./хв.	Відцентрова сила частинок льоду, Н
0,15	0,002	1200	4,732608
	0,004	1200	9,465216
	0,006	1200	14,19782
	0,008	1200	18,93043
	0,01	1200	23,66304

Таблиця 3.8 – Розрахункові данні залежності відцентрової сили частинок льоду від маси частинок льоду у вигляді кулі (при радіусі диска, що обертається, 0,2 м та 1200 об./хв.)

Радіус диска, що обертається, м	Маса кулі, кг	Число оборотів диска в хвилину, об./хв.	Відцентрова сила частинок льоду, Н
0,2	0,002	1200	6,310144
	0,004	1200	12,62029
	0,006	1200	18,93043
	0,008	1200	25,24058
	0,01	1200	31,55072

Таблиця 3.9 – Розрахункові данні залежності відцентрової сили частинок льоду від маси частинок льоду у вигляді кулі (при радіусі диска, що обертається, 0,25 м та 1200 об./хв.)

Радіус диска, що обертається, м	Маса кулі, кг	Число оборотів диска в хвилину, об./хв.	Відцентрова сила частинок льоду, Н
0,25	0,002	1200	7,88768
	0,004	1200	15,77536
	0,006	1200	23,66304
	0,008	1200	31,55072
	0,01	1200	39,4384

Таблиця 3.10 – Розрахункові данні залежності відцентрової сили частинок льоду від маси частинок льоду у вигляді кулі (при радіусі диска, що обертається, 0,3 м та 1200 об./хв.)

Радіус диска, що обертається, м	Маса кулі, кг	Число оборотів диска в хвилину, об./хв.	Відцентрова сила частинок льоду, Н
0,3	0,002	1200	9,465216
	0,004	1200	18,93043
	0,006	1200	28,39565
	0,008	1200	37,86086
	0,01	1200	47,32608

Таблиця 3.11 – Розрахункові данні залежності відцентрової сили частинок льоду від маси частинок льоду у вигляді кулі (при радіусі диска, що обертається, 0,1 м та 1400 об./хв.)

Радіус диска, що обертається, м	Маса кулі, кг	Число оборотів диска в хвилину, об./хв.	Відцентрова сила частинок льоду, Н
0,1	0,002	1400	0,004294
	0,004	1400	0,008589
	0,006	1400	0,012883
	0,008	1400	0,017178
	0,01	1400	0,021472

Таблиця 3.12 – Розрахункові данні залежності відцентрової сили частинок льоду від маси частинок льоду у вигляді кулі (при радіусі диска, що обертається, 0,15 м та 1400 об./хв.)

Радіус диска, що обертається, м	Маса кулі, кг	Число оборотів диска в хвилину, об./хв.	Відцентрова сила частинок льоду, Н
0,15	0,002	1400	0,006442
	0,004	1400	0,012883
	0,006	1400	0,019325
	0,008	1400	0,025766
	0,01	1400	0,032208

Таблиця 3.13 – Розрахункові данні залежності відцентрової сили частинок льоду від маси частинок льоду у вигляді кулі (при радіусі диска, що обертається, 0,2 м та 1400 об./хв.)

Радіус диска, що обертається, м	Маса кулі, кг	Число оборотів диска в хвилину, об./хв.	Відцентрова сила частинок льоду, Н
0,2	0,002	1400	0,008589
	0,004	1400	0,017178
	0,006	1400	0,025766
	0,008	1400	0,034355
	0,01	1400	0,042944

Таблиця 3.14 – Розрахункові данні залежності відцентрової сили частинок льоду від маси частинок льоду у вигляді кулі (при радіусі диска, що обертається, 0,25 м та 1400 об./хв.)

Радіус диска, що обертається, м	Маса кулі, кг	Число оборотів диска в хвилину, об./хв.	Відцентрова сила частинок льоду, Н
0,25	0,002	1400	10,73601
	0,004	1400	21,47202
	0,006	1400	32,20803
	0,008	1400	42,94404
	0,01	1400	0,053680

Таблиця 3.15 – Розрахункові данні залежності відцентрової сили частинок льоду від маси частинок льоду у вигляді кулі (при радіусі диска, що обертається, 0,3 м та 1400 об./хв.)

Радіус диска, що обертається, м	Маса кулі, кг	Число оборотів диска в хвилину, об./хв.	Відцентрова сила частинок льоду, Н
0,3	0,002	1400	12,88321
	0,004	1400	25,76642
	0,006	1400	0,03865
	0,008	1400	51,53284
	0,01	1400	0,064416

Таблиця 3.16 – Розрахункові данні залежності відцентрової сили частинок льоду від маси частинок льоду у вигляді кулі (при радіусі диска, що обертається, 0,1 м та 1600 об./хв.)

Радіус диска, що обертається, м	Маса кулі, кг	Число оборотів диска в хвилину, об./хв.	Відцентрова сила частинок льоду, Н
0,1	0,002	1600	5,609017
	0,004	1600	11,21803
	0,006	1600	16,82705
	0,008	1600	22,43607
	0,01	1600	28,04508

Таблиця 3.17 – Розрахункові данні залежності відцентрової сили частинок льоду від маси частинок льоду у вигляді кулі (при радіусі диска, що обертається, 0,15 м та 1500 об./хв.)

Радіус диска, що обертається, м	Маса кулі, кг	Число оборотів диска в хвилину, об./хв.	Відцентрова сила частинок льоду, Н
0,15	0,002	1600	8,413525
	0,004	1600	16,82705
	0,006	1600	25,24058
	0,008	1600	33,6541
	0,01	1600	42,06763

Таблиця 3.18 – Розрахункові данні залежності відцентрової сили частинок льоду від маси частинок льоду у вигляді кулі (при радіусі диска, що обертається, 0,2 м та 1600 об./хв.)

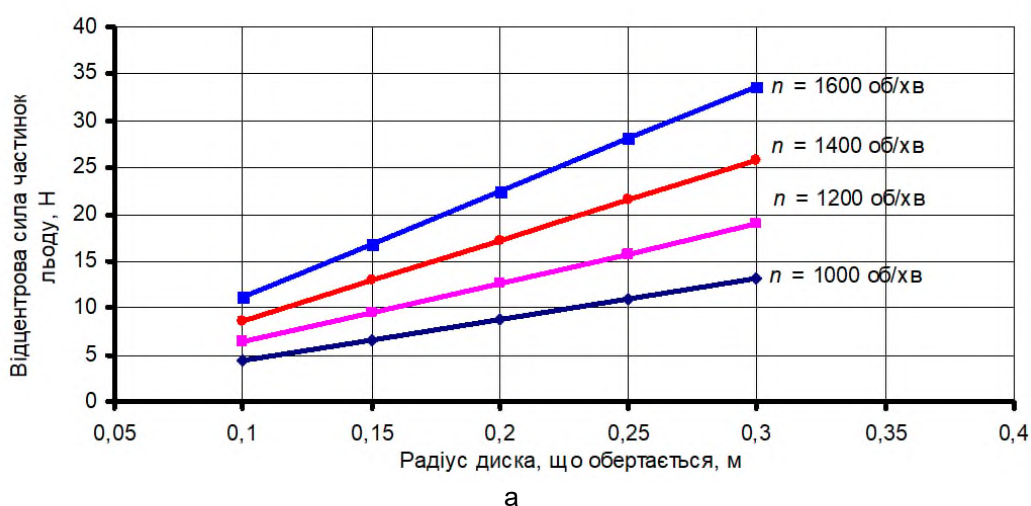
Радіус диска, що обертається, м	Маса кулі, кг	Число оборотів диска в хвилину, об./хв.	Відцентрова сила частинок льоду, Н
0,2	0,002	1600	11,21803
	0,004	1600	22,43607
	0,006	1600	33,6541
	0,008	1600	44,87214
	0,01	1600	56,09017

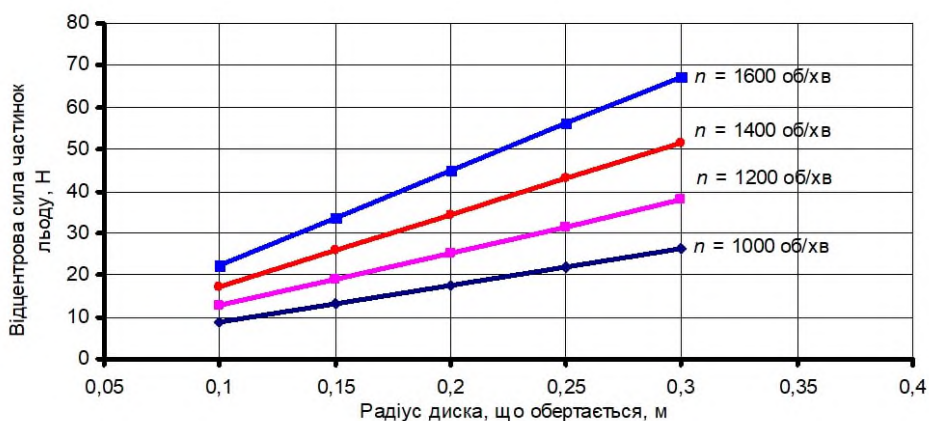
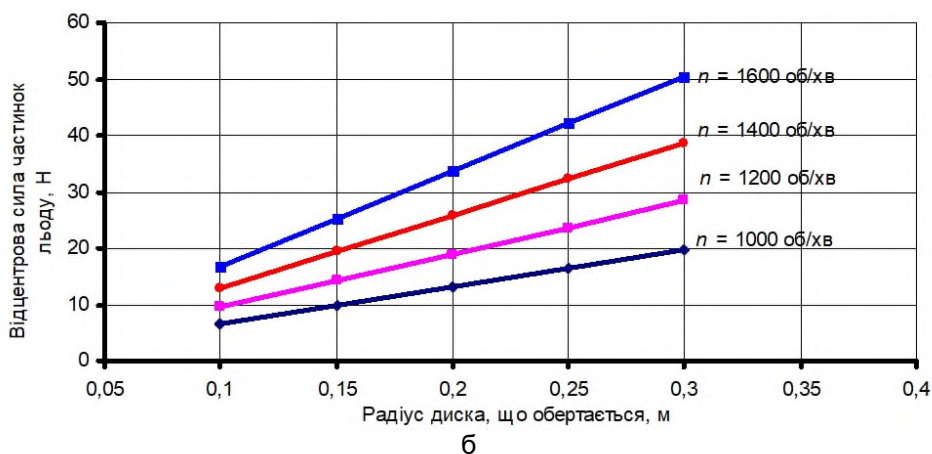
Таблиця 3.19 – Розрахункові данні залежності відцентрової сили частинок льоду від маси частинок льоду у вигляді кулі (при радіусі диска, що обертається, 0,25 м та 1600 об./хв.)

Радіус диска, що обертається, м	Маса кулі, кг	Число оборотів диска в хвилину, об./хв.	Відцентрова сила частинок льоду, Н
0,25	0,002	1600	14,02254
	0,004	1600	28,04508
	0,006	1600	42,06763
	0,008	1600	56,09017
	0,01	1600	70,11271

Таблиця 3.20 – Розрахункові данні залежності відцентрової сили частинок льоду від маси частинок льоду у вигляді кулі (при радіусі диска, що обертається, 0,3 м та 1600 об./хв.)

Радіус диска, що обертається, м	Маса кулі, кг	Число оборотів диска в хвилину, об./хв.	Відцентрова сила частинок льоду, Н
0,3	0,002	1600	16,82705
	0,004	1600	33,6541
	0,006	1600	50,48115
	0,008	1600	67,3082
	0,01	1600	84,13525





в

а – при масі частинок льоду у вигляді кулі 0,004 кг;

б – при масі частинок льоду у вигляді кулі 0,006 кг; в – при масі частинок льоду у вигляді кулі 0,008 кг

Рисунок 3.6 – Залежність відцентрової сили частинок льоду від радіуса диску, що обертається

Встановлено, що відцентрова сила частинок льоду збільшується пропорційно зростанню їх маси та досягає максимального значення 64,4 Н при радіусі диска, що обертається, 0,3 м.

Тому представляється доцільним використання раціональної зони з масою частинок льоду в діапазоні 0,004–0,008 кг, при цьому відцентрова сила частинок льоду збільшується в 6,5 разів. (рис. 3.5). Збільшення в 5 разів радіусу диска, що обертається, та кількості обертів диска на 600 об./хв. також пропорційно збільшує значення відцентрової сили частинок льоду (рис. 3.6). В залежності від розміру внутрішньої порожнини виливниці можливо вибрати

необхідний радіус обертального диску, що обертається.

Розрахункові данні залежності відцентрової сили частинок льоду від радіуса диску, що обертається представлено в табл. 3.21– 3.24.

Таблиця 3.21 – Розрахункові данні залежності відцентрової сили частинок льоду від радіуса диску, що обертається, (при масі частинок льоду у вигляді кулі 0,004 кг та при 1000 об./хв.)

Радіус диска, що обертається	Маса кулі, кг	Число оборотів диска в хвилину, об./хв.	Відцентрова сила частинок льоду, Н
0,1	0,002	1000	6,573066667
0,15	0,004	1000	9,8596
0,2	0,006	1000	13,14613333
0,25	0,008	1000	16,43266667
0,3	0,01	1000	19,7192

Таблиця 3.22 – Розрахункові данні залежності відцентрової сили частинок льоду від радіуса диску, що обертається, (при масі частинок льоду у вигляді кулі 0,004 кг та при 1200 об./хв.)

Радіус диска, що обертається	Маса кулі, кг	Число оборотів диска в хвилину, об./хв.	Відцентрова сила частинок льоду, Н
0,1	0,002	1200	9,465216
0,15	0,004	1200	14,197824
0,2	0,006	1200	18,930432
0,25	0,008	1200	23,66304
0,3	0,01	1200	28,395648

Таблиця 3.23 – Розрахункові данні залежності відцентрової сили частинок льоду від радіуса диску, що обертається, (при масі частинок льоду у вигляді кулі 0,004 кг та при 1400 об./хв.)

Радіус диска, що обертається	Маса кулі, кг	Число оборотів диска в хвилину, об./хв.	Відцентрова сила частинок льоду, Н
0,1	0,002	1400	12,88321067
0,15	0,004	1400	19,324816
0,2	0,006	1400	25,76642133
0,25	0,008	1400	32,20802667
0,3	0,01	1400	38,649632

Таблиця 3.24 – Розрахункові данні залежності відцентрової сили частинок льоду від радіуса диска, що обертається, (при масі частинок льоду у вигляді кулі 0,004 кг та при 1600 об./хв.)

Радіус диска, що обертається	Маса кулі, кг	Число оборотів диска в хвилину, об./хв.	Відцентрова сила частинок льоду, Н
0,1	0,002	1600	16,82705067
0,15	0,004	1600	25,240576
0,2	0,006	1600	33,65410133
0,25	0,008	1600	42,06762667
0,3	0,01	1600	50,481152

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

4.1 Аналіз потенційно-небезпечних та шкідливих факторів виробничого середовища у розливному прольоті металургійного підприємства

До роботи на посаді розлильник сталі металургійного підприємства допускаються особи, які досягли 18 років і пройшли відповідно:

- медичний огляд та визнані здатними для даної роботи;
- навчання за основною та суміжними професіями, атестацію кваліфікаційною комісією та одержали посвідчення на виконання робіт;
- навчання та перевірку знань з пожежної безпеки;
- вступний інструктаж у службі охорони праці;
- первинний інструктаж безпосередньо на робочому місці для новоприйнятих чи переведених з одного робочого місця на інше та ознайомились з прийомами та методами надання першої допомоги.

Основними потенційно-небезпечними факторами на дільниці розливки сталі є:

- рідкі метал та шлак під час випуску плавки;
- іскри та бризки розплавленого металу при його розливці;
- кантування шлаку після розливки сталі;
- переміщення вантажів у розливному прольоті;
- ставлення і знімання рухомого складу.

Основними виробничими шкідливими факторами на дільниці розливки сталі є:

- пил;
- теплове (інфрачервоне) випромінювання;
- підвищена температура;
- оксид вуглецю;
- шум;

– штучне освітлення.

4.2 Охорона праці та техногенна безпека у розливному прольоті металургійного підприємства

З точки зору охорони праці та техногенної безпеки умови праці в розливному прольоті металургійного підприємства повинні відповідати наступним нормативним документам:

- ДСТУ prEN 12937-2002. Безпечність машин. Технічні правила та вимоги до підйимально-транспортних засобів (prEN 12937:1997, IDT);
- ДСТУ Б В.1.1-36:2016. Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою;
- НАПБ А.01.001-2014. Правила пожежної безпеки в Україні;
- ДБН В.1.1.7-2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги [62];
- ДБН В.2.5-28:2018. Природне і штучне освітлення;
- ДСТУ 2867-94 Шум. Методи оцінювання виробничого шумового навантаження. Загальні вимоги;
- ДСТУ Б EN 15242:2015. Вентиляція будівель. Розрахункові методи визначення витрат повітря на вентиляцію будівель з урахуванням інфільтрації (EN 15242:2007, IDT);
- ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень ; прийнятий з 01.12.1999 р. №42. Київ, 12 с.;
- та інші.

Перед випуском металу з печі футеровка жолоба має бути ретельно відремонтована і добре просушена.

При застосуванні знімних жолобів стик між знімною і основною частинами жолоба повинен перекриватися цеглою футерування з подальшим закладенням всіх швів між ними. Знімна частина жолоба має бути надійно укріплена.

Робочі розливного прольоту (ділянки), пов'язані з використанням вантажопідйомних механізмів, повинні бути навчені правилам безпеки при користуванні ними та мати посвідчення.

На заливальних ділянках кабіни мостових кранів і тельферів, що керуються з кабін, повинні бути закритого типу з ефективною вентиляцією.

Ковші ємністю 0,5 т і більше, що переміщуються підйомними кранами, за допомогою монорейок і на візках, повинні мати міцні поворотні механізми з черв'ячною передачею, що самогальмує, і обмежувачами повороту, захищені кожухами від бризок металу і шлаку. Справність поворотного механізму повинна перевірятися щоразу під час підготовки ковша до заливки металу.

Ковші без черв'ячної передачі ємністю менше 0,5 т, що переміщуються підйомними кранами, повинні мати запірні пристрої, що не допускають перекидання.

Ковші ємністю більше 15 т повинні забезпечуватися механічним приводом для повороту.

Центр тяжкості ковшів, наповнених розплавленим металом, у вертикальному положенні має бути нижчим від осі обертання (на 50–100 мм).

При переміщенні ковшів і тиглів з розплавленим металом на візках повинні бути вжиті заходи, що унеможливають їх перекидання.

Вила для ковшів, що переносяться вручну, до здачі їх в експлуатацію (у тому числі і після кожного ремонту) повинні бути ретельно оглянуті та прийняті механіком цеху; крім того, не рідше одного разу на 2 місяці випробувані на статичне навантаження, що перевищує на 50% максимальну роботу на вантажі протягом 15 хв.

При випробуванні повинен проводитися зовнішній огляд вил, попередньо очищених від прилиплих бризок металу, від корозії, бруду та олії. Результати випробувань та оглядів повинні заноситись до журналу випробувань вантажопідйомних пристроїв.

Через кожні 6 місяців кранові ковші повинні піддаватися статичному випробуванню у підвішеному до гака крана положенні протягом 15 хв з

навантаженням, що на 25% перевищує вагу ковша при максимальному його наповненні, з наступним ретельним зовнішнім оглядом. При цьому особлива увага має бути звернена на відсутність дефектів (тріщин, надривів, вигинів тощо), а також на відповідність товщини стінок кожуха ковша розрахунковим даним.

Перед випробуванням металеві частини ковша повинні бути очищені від бруду, корозії, олії та бризок металу.

Особливо ретельно повинні перевірятися пояс ковша, цапфи, підйомні пристрої та механізм повороту ковша.

Сталеві канати та вантажопідйомні пристрої, призначені для переміщення ковшів, наповнених розплавленим металом, а також траверси самих ковшів повинні захищатися кожухами від дії променистого тепла від розплавленого металу.

Нарощування ковшів навіть на одну плавку забороняється.

Цапфи ковшів мають бути сталеві, ковані; кільце та цапфи обов'язково повинні відпалюватися. Виробляти приварювання окремих частин кільця або цапф забороняється.

Влаштування ковшів зі стопором та їх експлуатація повинні задовольняти наступним вимогам:

а) механізм для закривання стопора ковша повинен мати регулювальний гвинт;

б) рукоятка запору ковша має бути поворотною;

в) зазори між окремими трубками стопора повинні бути щільно загорнуті;

г) для стінок випускного отвору ковша повинні застосовуватися склянки, виготовлені з магнезиту, графіту або високоякісного шамоту;

д) пробка стопора повинна бути добре прикріплена до стопора та ретельно притерта до склянки;

е) склянку та стопор слід змінювати лише після охолодження ковша;

ж) встановлення стопора у ківш під жолобом печі забороняється;

з) перед установкою стопора необхідно перевірити справність

футерування та просушування ковша.

Користуватися ковшем вдруге для заливання або розливання металу без попередньої заміни стопора та склянок забороняється.

Забороняється тримати ручні ковші в руках на вазі при наповненні їх металом з печі.

Кожен плавильний агрегат із випуском металу через льотку повинен мати три штанги довжиною не менше 1,5 ж і не менше п'яти запасних пробок для закривання льоток.

Після закінчення розливки шлак і залишки металу з ковша повинні зливатися в сухі та підігріті коробки або виливниці. Злив на землю чи в яму забороняється.

Ремонтувати ковші слід після їх охолодження. Допуск ремонтних робітників у великі ковші може здійснюватися лише після того, як перевірено, що там немає залишків, що нависають, шлаку, скрапу і футеровки. Ломку футеровки ковшей, що ремонтуються, проводити зверху вниз.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Визначено, що підготовка обладнання для розливки сталі у виливниці складається з:

- підготовки виливниць та надставок;
- підготовки футерованих прибуткових надставок;
- підготовки надставок із теплоізоляційними вкладишами;
- підготовки піддонів;
- підготовки сталерозливних ковшів;
- підготовки складу для розливки сифоном;
- складання складів для розливки зверху.

2. Наведено теоретичні основи процесу видалення забруднень з поверхні деталей та механізмів металургійного призначення за допомогою технології кріогенного бластингу.

3. На прикладі лабораторних досліджень в умовах ПАТ «Дніпроспецсталь» показано, що використання кріогенного бластингу при очищенні виливниць від забруднень дозволяє в 2–4 рази збільшити швидкість очищення в порівнянні з використанням механічного та гідравлічного способів (зокрема металевих щіток та сталевих скрибків). Показано, що до 70 % знижуються експлуатаційні витрати завдяки високій ефективності процесу та відсутності необхідності демонтажу та розбирання обладнання, що очищується, а також прибирання миючої речовини.

4. Запропоновано методику визначення величини відцентрової сили частинок льоду у вигляді кулі, які вилітають з диску, що обертаються, в залежності від варіювання значень маси частинок льоду (в діапазоні 0,002–0,10 кг), радіусу диску, що обертається (в діапазоні 0,1–0,3 м) та швидкості обертання (в діапазоні 1000–1600 об/хв.). Розрахунковим шляхом визначено раціональну зону відцентрової сили частинок льоду з масою частинок льоду в діапазоні 0,004–0,008 кг.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Воденнікова О. С. Розливка сталі та спеціальні модифікатори, лігатури : конспект лекцій для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра спеціальності «Металургія» освітньо-професійної програми «Металургія». Запоріжжя : ЗНУ, 2021. 156 с.
2. Чигирик Н. Д., Чвала О. М. Перспективи впровадження кріобластингу у процесі ремонту ТРС. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. 2015. Вип. 158. Т 2. С. 115–119.
3. Тарасов В. К., Воденнікова О. С., Воденніков С. А., Манідіна Є. А. Удосконалення методів підготовки виливниць до розливки сталі. *Метал та лиття України*. 2021. Т. 29. № 3. С. 28–35.
4. Воденнікова О. С., Воденніков С. А., Манідіна Є. А. Сучасні способи підготовки виливниць для розливки сталі. *Актуальні проблеми, пріоритетні напрямки та стратегії розвитку України : тези доповідей II Міжнародної науково-практичної онлайн-конференції (м. Київ, 16 червня 2021 р.)*. Київ : ІТТА, 2021. С. 362–366.
5. Воденніков С. А., Падалка В. П., Воденнікова О. С. Технологія розливання і кристалізація сталі : навч.-метод. посіб. для студентів ЗДА спеціальність 6.090401 “Металургія чорних металів”. Запоріжжя ; Видавництво Запорізької державної інженерної академії, 2011. 186 с.
6. Кріогенне обладнання. URL: <https://cryo-tm.com.ua/uk/15-kriogenne-obladnannya> (дата звернення: 01.12.2023).
7. ДСТУ Б В.1.1-36:2016. Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою ; прийнятий з 15.06.2016 р. ; чинний від 01.01.2017. № 158.
8. НАПБ А.01.001-2014. Правила пожежної безпеки в Україні ; прийнятий з 30.12.2014 р. ; чинний від 07.04.2023. № 1417.
9. ДБН В.1.1.7-2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги ; затверджено та наказом Мінрегіоном України від 31.10.2016 р №237

та введений в дію з 01.06.2017 р. Київ : Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2017. 35с.

10. ДБН В.2.5-28:2018. Природне і штучне освітлення ; прийнятий з 03.10.2018 р. ; чинний від 01.05.2019. № 264.

11. ДСТУ 2867-94 Шум. Методи оцінювання виробничого шумового навантаження. Загальні вимоги ; прийнятий з 08.12.1994 р. ; чинний від 01.01.1996. № 310.

12. ДСТУ Б EN 15242:2015. Вентиляція будівель. Розрахункові методи визначення витрат повітря на вентиляцію будівель з урахуванням інфільтрації (EN 15242:2007, IDT) ; прийнятий з 30.12.2015 р. ; чинний від 01.10.2016. № 358.

14. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень ; прийнятий з 01.12.1999 р. №42. Київ, 12 с.

15. Наказ № 569 від 19.03.2021 Про затвердження Мінімальних вимог щодо безпеки та здоров'я на роботі в металургійній промисловості. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0606-21#Text> (дата звернення: 01.03.2024)

16. Забезпечення техногенної безпеки на підприємстві. URL: <https://pro-op.com.ua/article/933-pravila-tehnogenno-bezpeki> (дата звернення: 01.12.2023).

17. ДСТУ prEN 12937-2002. Безпечність машин. Технічні правила та вимоги до підйимально-транспортних засобів ; прийнятий з 12.06.2002 р. ; чинний від 01.07.2003. № 357.

18. Грибан В. Г., Казначеев Д. Г., Бойко О. І. Безпека життєдіяльності та охорона праці у схемах : навч. посіб. Дніпро : ДДУВС, 2019. 228 с.