

КОВШОВ В. М., ІВАЩЕНКО В. П., БОЧКА В. В., ПЕТРЕНКО В.О.

ТЕХНОЛОГІЯ ДОМЕННОЇ ПЛАВКИ

Затверджено Вченою радою
Національної металургійної академії України
як підручник для студентів
спеціальності 8.05040101 – металургія чорних металів
Протокол № 2 від 24.02.2015 р.

Дніпропетровськ
Акцент ПП
2016

УДК 669.162.2:669.136(075.8)
ББК 34.323.103Я73
Т 38

Рецензенти:

Большаков Вадим Иванович, директор інституту чорної металургії ім.З.І. Некрасова Національної Академії Наук України, академік НАН України, доктор технічних наук, професор, заслужений діяч науки і техніки України, лауреат Державної премії України

Пліскановський Станіслав Тихонович, ректор вищого навчального закладу «Державний інститут підготовки та перепідготовки кадрів промисловості», академік АН Вищої школи України, доктор технічних наук, професор, заслужений діяч науки і техніки України, лауреат Державних премій СРСР та України

Тарасов Володимир Петрович, професор кафедри металургії чавуну Приазовського технічного університету, доктор технічних наук.

Рекомендовано до видання Вченою радою Національної металургійної академії України, протокол № 2 від 24.02.2015 р.

Ковшов В. М. та ін.

Т 38 Технологія доменної плавки: Підручник. Ковшов В.М., Іващенко В.П., Бочка В.В., Петренко В.О., - Дніпропетровськ, Акцент ПП, 2016.- 176 с.

ISBN 978-966-921-062-3

Викладені сучасні погляди на основи теорії й технології виробництва чавуну у доменних печах. В розділах підручника наведені технологічні та виробничі відомості про задувку доменної печі, зупинки і пуски доменної печі, дуттьові та сировинні параметри доменної плавки, оцінку газодинамічного режиму доменної плавки та його розлади, особливості технологічного режиму доменних печей при виплавці різних видів чавуну, управління тепловим режимом доменної плавки, управління газодинамічним режимом доменної плавки, автоматизоване управління доменним процесом, організацію випуску чавуну і шлаку із доменної печі, забезпечення умов роботи системи завантаження, повітрянагрівачів та газоочисних споруд. Технологія доменної плавки подається з огляду на технологічну лінію виробництва чавуну – від задувки печі до отримання товарної продукції.

Підручник призначений для студентів вищих навчальних закладів за напрямом «Металургія». Може бути корисним аспірантам, науковим працівникам та інженерно-технічним робітникам підприємств металургійного профілю.

Изложены современные взгляды на основы теории и технологии производства чугуна в доменных печах. В разделах учебника приведены технологические и производственные данные о задувке доменной печи, остановке и пуске доменной печи, дутьевые и сырьевые параметры доменной плавки, оценке газодинамического режима доменной плавки и его расстройств, особенности технологического режима доменных печей при выплавке разных видов чугуна, управлении тепловым режимом доменной плавки, управлении газодинамическим режимом доменной плавки, автоматизированном управлении доменным процессом, организации выпуска чугуна и шлака из доменной печи, обеспечении условий работы системы загрузки, воздухонагревателей и газоочистных сооружений. Технология доменной плавки излагается с точки зрения технологической линии производства чугуна – от задувки печи до получения товарной продукции.

Учебник предназначен для студентов высших учебных заведений по направлению «Металлургия». Может быть полезным аспирантам, научным и инженерно-техническим работникам предприятий металлургического профиля.

УДК 669.162.2:669.136(075.8)
ББК 34.323.103Я73

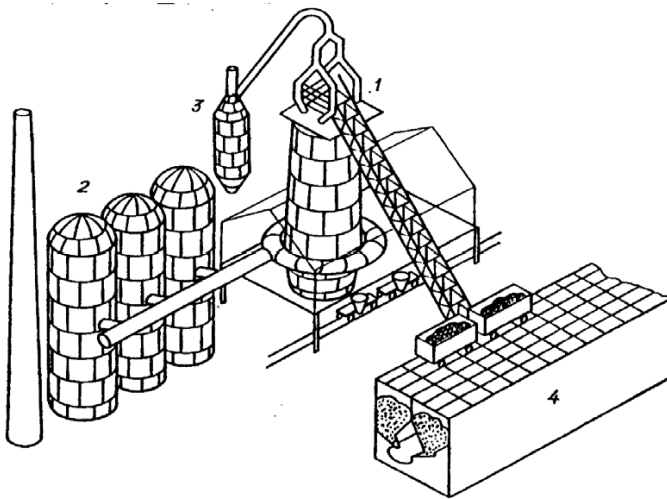
ISBN 978-966-921-062-3

© Ковшов В.М., Іващенко В.П.,
Бочка В.В., Петренко В.О., 2016

ВСТУП

Доменна піч

Основним агрегатом для витягання заліза із залізняку є доменна піч (мал. 1.1). За принципом роботи вона відноситься до типу шахтних печей, тобто таких, робочий простір яких витягнутий у напрямі вертикальної осі. Практикою встановлена оптимальна конфігурація внутрішнього простору печі — її профілю.



Мал. 1.1. Загальний вид доменної печі. 1 – доменна піч;
2 – повітрянагрівач; 3 – пиловловлювач; 4 – бункерна естакада

Горизонтальним перетином доменної печі є коло, у вертикальному перетині піч складається з п'яти зон. Верхню її частину, через яку проводять завантаження шихтових матеріалів, називають колошником. Основною частиною печі за об'ємом є шахта, що є усіченим конусом. Найширша частина, розпар, через заплечики (у формі зворотного усіченого конусу) переходить в горно. Сучасні доменні печі мають великі розміри. Так, діаметри колошника, розпару, горна складають відповідно: 7–8, 12–16 і 10–14 м. Загальна висота внутрішнього простору

доменної печі складає 25–30 м, а з урахуванням того, що цей простір дещо піднятий на фундаменті і що над колошником встановлений завантажувальний пристрій і газовідводи, верхня точка її знаходиться над поверхнею землі на рівні 60–70 м. У верхній частині горна є велика кількість розташованих рівномірно по колу фурмених отворів, через які в піч подають дуття. У нижній частині горна є декілька (2–4) отворів, призначених для випуску чавуну і шлаку — чавунних і шлакових льоток. Внутрішня частина печі викладена вогнетривкою цеглою, збереження якої протягом декількох років експлуатації забезпечується системою охолодження.

Шихта і дуття доменної плавки

Для забезпечення нормального ходу металургійних процесів і отримання чавуну заданого сорту доменну піч завантажують шихтою, що складається з чотирьох основних частин, узятих в заздалегідь розрахованому строго певному співвідношенні.

Залізорудний матеріал — руда або продукти попередньої її обробки (агломерат або обкотиші), що полягає в збагаченні і окискуванні. Залізорудні матеріали окрім основного компоненту — рудного мінералу (Fe_2O_3 і Fe_3O_4) включають деяку кількість інших речовин, що не містять заліза. Цю частину руди називають порожньою породою. До складу порожньої породи входять оксиди: SiO_2 ; Al_2O_3 ; CaO ; MgO і ін.

Кокс — головне джерело теплової енергії, він виконує також роль реагенту-відновника. Основними компонентами коксу є вуглець (~ 85 %) і зола (~ 9–12 %).

Флюс — матеріал, необхідний для зниження температури плавлення порожньої породи рудного матеріалу і золи коксу. Найчастіше як флюс використовують вапняк, що містить 96-98 % CaCO_3 . В цьому випадку CaO флюсу покращує також перехід сірки з металу в шлак, тобто знижує концентрацію сірки в чавуні, покращуючи якість металу [15].

Добавки — відходи різних виробництв, які використовуються в доменному процесі з метою утилізації корисних складових (Fe, Mn, Ca, Mg). Найчастіше це

мартенівські, бесемерівські, конверторні і зварювальні шлаки, окалина, скрап і відходи хімічного виробництва.

Як дуття в доменну піч подають повітря, нагріте до температури 1000–1200°C. Воно складається в основному з 21 % O_2 і ~ 79 % N_2 . Крім того, до повітряного дуття додають окислювачі – кисень (O_2), водяну пару (H_2O) для інтенсифікації процесу і відновники: природний газ (CH_4), коксовий газ (H_2 ~60%, CH_4 ~25% та ін.), мазут, вугільний пил — з метою економії коксу.

Продукти доменної плавки

Чавун — багатокомпонентний сплав заліза з вуглецем (більше 2 %) і іншими елементами (в основному Si, Mn, S, P). Розрізняють три основні види чавунів: передільний, такий, що переробляється в сталь; ливарний, з якого відливають готові вироби; феросплави, призначені для використання в сталеплавильному виробництві.

Шлак — баластні (не містять заліза) оксиди (SiO_2 , Al_2O_3 , CaO, MgO), що вносяться до доменної печі з шихтовими матеріалами. Шлак використовується для виробництва будівельних і в'язучих матеріалів.

Колошниковий газ, що виходить з печі, є газоподібним паливом, оскільки містить 20 % CO, 5–6 % H_2 , 0,5 % CH_4 , 15–19 % CO_2 і останнє — N_2 . Застосовується для опалювання повітрянагрівачів і інших металургійних печей.

Колошниковий пил видувається з доменної печі з газом, відділяється в газоочисних спорудах і використовується як добавка до агломерату. Колошниковий пил складається з дрібних фракцій (0–0,6 мм) шихти.

Технологія доменної плавки

Технологія (від грецького τεχνή — майстерність і λόγος — навчання) — **сукупність знань про способи й засоби проведення виробничих процесів, при яких відбувається якісна зміна об'єкта, який обробляється** [1].

Під **технологією виплавки чавуну** розуміють вибір комплексу необхідних значень факторів, які керують доменним процесом, а також заходів, що підтримують стійку роботу печі, та призводять до одержання **чавуну необхідного**

складу з мінімальною витратою палива і максимально можливою продуктивністю доменної печі.

Керування усім доменним виробництвом покладено на начальника доменного цеху, який є адміністративно-технічним керівником усієї виробничо-господарської діяльності цеху. До обов'язків начальника цеху входять наступні заходи:

- утримування печей та їх допоміжних пристроїв у справному технічному стані;
- забезпечення постачання печей та допоміжних пристроїв залізорудною сировиною, енергією (паливо, дуття, пар, кисень, доменний газ, компресорне повітря та ін.);
- забезпечення перевезень чавуновозних і шлакових ковшів та інших вантажів;
- визначення основних напрямків технології та керівництво нею;
- керівництво розглядом документації й розробкою проектів, спрямованих на вдосконалення печей та їх допоміжних пристроїв;
- затвердження проектної документації, інструкцій і планів з проведення видувки печей на ремонті й роздувки їх після ремонтів [2].



Схема управління доменним цехом

Усі ці заходи здійснюються начальником цеху безпосередньо або через **заступників і помічників**, яких у начальника цеху **чотири**: заступник начальника цеху з виробництва; заступник з технології; помічник з капітального ремонту й устаткування; помічник з шихти.

Безпосередньо **технологією** доменної плавки займаються **майстри печей** під керівництвом **заступника начальника цеху з технології**.

Щомісяця начальником цеху й майстрами складається **технологічна карта** для кожної печі. У ній, у відповідності з технічним станом основних агрегатів, плановими завданнями з витрати коксу й виробництва чавуну, встановлюється **оптимальний режим плавки**.

Майстер печі або його помічник – газівник, керуючи доменною піччю, щогодини **ресструють основні параметри доменної плавки у пічному журналі**, який представляє собою стандартну форму, де представлена наступна інформація: кількість подач; параметри дуттьового режиму (кількість дуття, його тиск, кількість добавок до дуття); робота повітрянагрівачів; параметри колошникового газу та режиму завантаження матеріалів у піч; робота фурм; параметри випуску чавуну і шлаку; стан льоток; простої і тихий хід печі; склад шихти та її аналіз; стан устаткування печі та інші відомості.

Представлена у пічному журналі інформація технологічним персоналом ретельно аналізується і служить основою при прийнятті управлінських рішень.

Контрольні питання

1. Що таке технологія виробничих процесів?
2. Дати визначення технології доменної плавки.
3. Назвіть відповідальних осіб в доменному цеху, які управляють технологією доменної плавки.
4. Перерахуйте круг обов'язків начальника доменного цеху.
5. Що таке технологічна карта доменної печі і яка періодичність її перегляду?

1. Підготовка доменної печі до експлуатації

1.1. Проектування і будівництво

Проектування нової доменної печі починається з техніко-економічного обґрунтування (ТЕО). Основні положення ТЕО розробляються проектною організацією і узгоджуються з адміністрацією металургійного заводу і з

експлуатаційним персоналом доменного цеху. У ТЕО розглядається доцільність будівництва нової доменної печі (або реконструкції із збільшенням об'єму) і приводиться економічне обґрунтування її роботи.

У технічне завдання на проектування входить зазвичай сім частин:

1. **Технологічна.** Даються відомості про сирі матеріали і кокс, режим роботи печі, показники, необхідні для розрахунку пропускної спроможності устаткування.

2. **Конструктивна.** Приводиться характеристика конструкцій доменної печі, ливарного двору і піддоменника, ліфта, повітронагрівачів і повітропроводів, пиловловлювача з газопроводами, пристроїв подачі матеріалів до печі, машинної будівлі, пункту управління піччю і плану цеху.

3. **Технологічне устаткування.** Визначаються геометричні розміри і конструкція скіпа, характеристика скіпової лебідки, завантажувальний апарат, розподільник шихти, лебідка управління конусами, монтажний візок, фурмений прилад, шлаковий стопор, машина для розтину чавунної льотки, конструкція головного жолоба і механізми для його обслуговування, пристрою для розливання чавуну і шлаку по ковшах.

4. **Автоматичний контроль.** Тут передбачаються засоби контролю за ходом процесу і апаратура діє на системи управління, зокрема зондові лебідки і (або) автоматичний безконтактний багатоканальний рівнемір, пристрої, що дозволяють визначати перепади тиску по висоті печі, дистанційні установки для відбору проб газу і виміру температури по діаметру шахти на декількох горизонтах, машини для дослідження процесів в горні печі, пристосування для виміру температури продуктів плавки, установки по регулюванню витрати дуття і природного газу (або іншого палива) по фурмам і ін. У цій частині розглядаються також питання застосування обчислювальної техніки як в ролі порадника майстра, так і для можливого автоматичного управління ходу печі.

5. **Електроустаткування.** Встановлюється характеристика струму, яким харчуватимуться механізми, системи живлення і його джерела. Визначаються необхідні потужності і розміщення устаткування в підстанціях і розподільних пунктах. Розробляються питання робочого і аварійного освітлення.

6. **Мережі.** У цій енергетичній частині дається розробка мереж для постачання печі і цеху технічною водою, парою, стислим повітрям, киснем, коксовим і природним газом, питною водою. Опрацьовуються питання використання конденсату і оборотного циклу води, а також питання вентиляції.

7. **Ефективність роботи проекрованої печі.** Ця частина завдання вирішується шляхом зіставлення економічних показників цієї печі і печі меншого об'єму при однаковій сировині і паливі з урахуванням здійснення на менш могутній печі всіх технічних заходів, передбачених для знов проекрованої печі. При цьому встановлюються: підвищення продуктивності печі, зростання продуктивності праці, капітальні витрати і зниження собівартості чавуну.

Відповідно до технологічного завдання на проектування власне доменної печі розробляються технічні завдання на всі об'єкти комплексу: кисневі і пароповітровувні станції, систему газоочищення, відділення приготування вогнетривких мас, розливні машини, депо ремонту ковшів, укуси і шлакопереробні підприємства, відділення для обприскування вапняним розчином шлакових чаш, механічні майстерні і побутові приміщення.

Весь комплекс доменної печі повинен відповідати розвитку металургійного заводу і входити в єдиний металургійний переділ, що включає: гірничорудні підприємства, збагачувальні фабрики, фабрики по виробництву агломерату і обкотишів, коксохімічне виробництво, цехи по переробці чавуну в сталь (конверторні, мартенівські, електросталеплавильні, ливарні цехи і ін.), прокатні цехи.

Особлива увага звертається на розвиток залізничного транспорту, цехи технологічної диспетчеризації і зв'язку, розширення енергетичних і механічних служб, а також на вирішення питань охорони праці і промислової санітарії. Для успішної експлуатації нової (або що реконструюється) печі, зменшення числа переробок, досягнення проектних техніко-економічних показників у встановлені терміни, забезпечення довговічності печі, повітрянагрівачів, конструкцій і устаткування персонал цеху повинен брати безпосередню участь в проектуванні печі на всіх його стадіях. У свою чергу проектні інститути повинні вести

проектування з урахуванням зауважень виробничників, що дозволить уникнути конструктивних прорахунків і переробки вузлів.

1.2. Участь в будівництві

Для повсякденного вирішення всіх питань по будівництву печі доменним цехом призначається відповідальна особа — технолог (заступник або помічник начальника доменного цеху). У його функції входять наступні обов'язки: забезпечення будівництва печі в точній відповідності з проектом; узгодження в необхідних випадках нових проектних рішень і відступів від проекту; створення умов, при яких витримувалися б встановлені терміни введення об'єктів і не порушувалася робота діючих доменних печей, контроль за якістю будівельних, монтажних і вогнетривких робіт; залучення експлуатаційного персоналу цеху (технологів, механіків, електриків) і працівників загальнозаводських служб для контролю і оперативного вирішення всіх виникаючих питань.

Участь персоналу печі в контролі і прийманні основних і допоміжних агрегатів, конструкцій і устаткування сприяє вищій якості будівельних і монтажних робіт. Особливу увагу експлуатаційний персонал приділяє вогнетривким роботам. Контролери і майстри печі в кожній зміні зобов'язані безперервно контролювати кладку лещаді і стінок печі.

1.3. Приймання знов побудованих агрегатів доменного цеху

Побудовану або реконструйовану піч заздалегідь приймає (перед постановкою на сушку) комісія у складі начальника цеху, помічника по устаткуванню і начальника будівництва (ремонт) печі на підставі проміжних актів і особистого огляду. У разі капітального ремонту остаточне приймання печі здійснює комісія, очолювана головним інженером заводу.

При прийманні печі комісія ґрунтується на проміжних актах приймання-здачі вузлів і агрегатів, на результатах особистого огляду, вимірів і комплексного випробування механізмів і устаткування.

Випробування і здача в експлуатацію доменного устаткування здійснюється в три етапи:

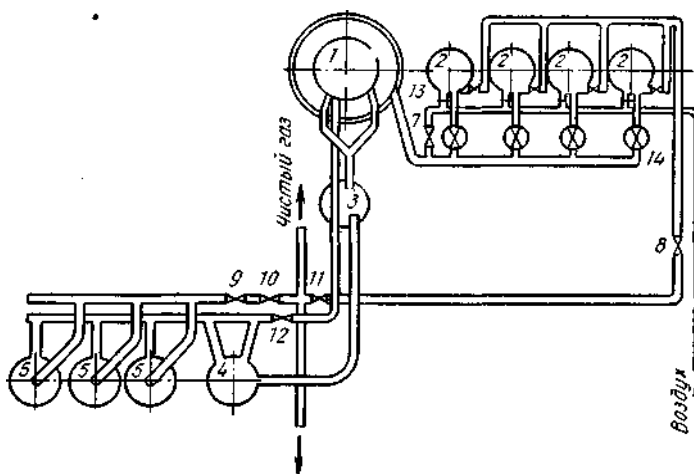
1) індивідуальне випробування устаткування в холостому режимі при нормальній безперервній роботі протягом 4 год;

2) комплексне випробування в холостому режимі протягом 72 год нормальної безперервної роботи за узгодженою програмою;

3) комплексне випробування устаткування під навантаженням в період завантаження печі за спеціальною програмою.

Металеві конструкції перевіряють на міцність та щільність після закінчення будівельно-монтажних робіт, та випробування роботи механізмів шляхом випробування на внутрішній тиск (особливу увагу слід приділяти ущільненню фланцевих з'єднань).

Випробуванню на внутрішній тиск піддають окремі ділянки комплексу споруд доменного цеху і цеху газоочищення (мал. 1.2).



Мал. 1.2. Схема ділянок комплексу доменної печі і газоочищення, що підлягають випробуванню: 1 — доменна піч; 2 — повітрянагрівачі; 3 — пиловловлювачі; 4 — скруббер; 5 — електрофільтри; 6 — повітровипускний клапан; 7 — клапан змішувача; 8 — дросельний клапан; 9 — дросельна група; 10 — листова засувка; 11 — засувка чистого газу; 12 — засувка наповнювального газопроводу; 13 — клапани холодного дуття; 14 — клапани гарячого дуття

Випробування на внутрішній тиск проводиться стислим повітрям за допомогою змонтованої апаратури або без арматури — шляхом установки спеціальних заглушок, розрахованих на максимальний тиск, що приймається для даної ділянки. На випробовуваній ділянці врізають два штуцери: один для підведення повітря, інший для установки манометра. Для регулювання подачі повітря на повітропроводі, що підводить, встановлюють вентиль. Манометр повинен бути перевірений і опломбований. Вентиль і манометр встановлюють обов'язково поряд в безпечній зоні.

Передпускове випробування в комплексі проводиться після закінчення випробувань окремих ділянок, установки устаткування і завершення вогнетривкої кладки шляхом продування їх повітрям (повітрорудною машиною). У систему входять: повітропровід холодного дуття від повітрорудної станції до повітронагрівачів, повітронагрівачі, повітропровід гарячого дуття, повітропровід змішувача, доменна піч із засипним апаратом, газовим затвором і розподільником шихти, пиловловлювачі і скруббер високого тиску. Продування всієї системи ведуть при тиску (надмірному) 2,25 атз.

Випробування проводиться при наступному положенні системи: сопла фурменних приладів встановлені; атмосферні клапани закриті; заглушки, що застосовувалися для поділу системи на ділянки, зняті; великий конус відкритий; малий конус закритий. За дросельною групою встановлюється заглушка, розрахована на надмірний тиск 2,25 атз.

Після витримки системи під тиском протягом 30 хв. допускається огляд споруд і виявлення витоків повітря.

Випробування системи охолодження. Контроль роботи системи охолодження ведеться безперервно з моменту її включення. Особливо небезпечне попадання води з охолоджувальних пристроїв в піч після закінчення сушки кладки. Холодильники випробовують під надмірним тиском 8—10 атз перед монтажем і потім повторно після установки. Після монтажу всієї водопровідної комунікації її випробовують окремими ділянками під надмірним тиском 8—10 атз. Спочатку випробовують ділянку від насосної станції до кільцевих водопроводів,

включаючи фільтри. Потім заповнюють і випробовують трубопроводи високого і низького тиску; далі приймають воду на колектори і, нарешті, включають секції холодильників всіх зон печі.

Після створення контрольного тиску оглядають комунікацію, фіксують місця течі води у фітингах і зварних стиках. Потім випускають воду з комунікації і усувають виявлені місця течі шляхом підварювання стиків і підтяжки фітингів. Після цього випробування повторюють. У зимовий час систему охолодження випробовують стислим повітрям щоб уникнути розриву труб при замерзанні в них води.

При випробовуванні вважається обов'язковим включення апаратури, що реєструє температуру вхідної та вихідної води, а також вимірювання водопровідником температури води ручним термометром.

До пуску печі має бути включено подача повітря для охолодження лещаді.

Випробування механізмів горну. У передпусковий період перевіряють роботу всього устаткування горна і ливарного двору: бурильної машини, пушки, шлакових стопорів, систему одноноскового розливання чавуну і шлаку, відсічних лопат, крана ливарного двору. Готують до прийняття рідких продуктів плавки жолоба для чавуну і шлаку, скімерний пристрій. Заготовляють заправні матеріали (пісок, коксик, льоточну масу, цеглу). Створюють запас фурм, фурмених холодильників, шлакових фурмочок, холодильників шлакових приборів. Укомплектовують горновий інструмент, списи, ломі і ін.

Перевіряється постановка чавуновозних і шлаковозних ковшів для прийняття рідких продуктів плавки. Відповідно до розробленого графіка випусків чавуну до печі подають состави чавуновозів і шлаковозів, які після «закінчення випуску» відправляються до споживачів і знов після «спорожнення» і «обробки» (видалення кірок і сміття) подаються до печі. Тривалість впровадження графіка випусків складає 5—7 діб.

Приймання повітрянагрівачів. При проміжному прийманні металевих конструкцій встановлюється виконання наступних параметрів: по кожуху — горизонтальність і еліпсність царг, ексцентриситет царг щодо проектної осі; по

піднасадочному пристрою — відповідність розмірів піднасадочних решіток і цеглянок насадки, горизонтальність решіток. Кожен повітронагрівач випробовується стислим повітрям під надмірним тиском 0,7 атз., окремо на щільність швів кожуха і міцність анкерних кріплень двічі: перший раз – до футерування, другий раз — після футерування. Випробування повітронагрівачів проводиться без клапана холодного дуття, замість якого встановлюється заглушка (у штуцері клапана холодного дуття). Решта всієї арматури і клапанів, якщо вони були заздалегідь випробувані, повинна бути встановлена. Якщо арматура не змонтована, встановлюються заглушки.

Коли футерування проводять крупними блоками паралельно з монтажем сталевих конструкцій повітронагрівача, перше випробування стислим повітрям під надмірним тиском 0,7 ат не проводять. Але в цьому випадку норми рентгено- і гаммаграфічного контролю якості швів подвоюють.

Після закінчення комплексного випробування устаткування (в холостому і на робочих режимах) робоча комісія виносить рішення про готовність устаткування до експлуатації. Здача–прийняття устаткування і об'єктів в експлуатацію проводиться з обов'язковим оформленням затвердженої технічної документації (акти, креслення і т.п.).

Прийом в експлуатацію знов споруджених і реконструйованих доменних цехів (печей) повинен проводитися в порядку, передбаченому збірником норм і правил (ЗНП), комісією за участю представників органів Укртехнадзору і профспілки робочих металургійної промисловості.

1.4. Підготовка доменної печі до задування

Експлуатація знов спорудженої або капітально відремонтованої доменної печі починається із задування, тобто з моменту подачі в неї дуття. В процесі задування необхідно забезпечити:

- 1) збереження футерування печі при заповненні задувною шихтою, а також в період дії високотермічних процесів, що відбуваються в її робочому просторі;
- 2) можливо швидкий, але без зайвого форсування перехід до нормальної роботи з отриманням чавуну і шлаку розрахункового складу;

3) відсутність зупинок печі в період роздувки.

Задуванню передуює перевірка готовності до пуску, як самої печі, так і всіх об'єктів її виробничого комплексу. Головними операціями з підготовчих є наступні:

- 1) перевірка всього технологічного тракту завантажувальної системи;
- 2) випробування всіх механізмів печі, її повітряних і газових магістралей, ливарного двору, блоку повітронагрівачів, газового господарства і всього устаткування, що відноситься до них;
- 3) підготовка технологічного транспорту;
- 4) підготовка запасних частин і змінного устаткування;
- 5) розрахунок і підготовка задувної шихти і забезпечення матеріальними ресурсами, необхідними для подальшої нормальної роботи;
- 6) сушка доменної печі, повітронагрівачів, димового борово і труби;

1.4.1. Сушка доменної печі

Сушка печі — одна з найважливіших операцій підготовчого періоду.

Мета сушки — видалення вологи з кладки печі, внесеної з розчинами, що використовують при виготовленні цієї кладки в якості в'язучого. Від виконання цієї операції залежить тривалість служби футерування і, отже, тривалість кампанії печі. Вміст вологи в зв'язці з вуглецевої пасти складає 16—19%, в розчинах тих, що легко тверднуть — 27—28%, а в звичайних шамотних — до 30%.

Слід мати на увазі, що надмірно форсований процес сушки може порушити герметичність кладки в результаті інтенсивного виділення пари вологи і розширення швів. Це приведе згодом до проникнення в масив футерування вуглецю сажі, цинкату, лугів і інших елементів, що викликають її зростання і руйнування вогнетривкої цегли.

Це можливо, не дивлячись на малу товщину швів кладки, для лежачі ця товщина становить 0,5 мм (при легко тверднучому розчині до 1,0 мм), а у вище розміщених зонах від 1,0 до 1,5 мм. Кількість вологи у футеруванні можна підрахувати, маючи наступні дані:

- масу кладки доменної печі і об'єм її по зонах;
- кількість розчину, що йде за нормами кладки на 1 м³ або на 1 т укладеного вогнетриву;
- вміст вологи в розчині і кількість його, що витрачена на все футерування.

Витрата води на 1 м^3 розчину складає $0,6 \text{ м}^3$; витрата розчину на 1 м^3 кладки при товщині шва 0,5; 1; 2 і 3 мм складає відповідно 50, 70, 80 і 100 кг Щільність цегли $2,1 \text{ кг/м}^3$, щільність розчину $1,2 \text{ кг/м}^3$.

Тривалість сушки зазвичай складає від 6—7 до 10 діб, причому при будівництві кладки в 2—3 яруси одночасно можна проводити попередню сушку роздільно, що скорочує її загальну тривалість.

Для сучасних способів сушки печі застосовують переважно коксовий або природний газ, як найбільш калорійні в порівнянні з доменним; можна проводити сушку електроенергією і гарячим повітрям, що подається через нагрівач повітря повітродувною машиною.

Сушка газами, які утворюються при спалюванні твердого палива (деревини), в даний час застосовується рідко і лише при затримці за будь яких причин подачі газу або нагрітого повітря. Крім того такий метод сушки є менш ефективним, оскільки зола, що утворюється від спалювання деревини при суттєвому накопиченні заважає хорошему прогріванню лещаді через погану теплопровідність.

Лещадь є найбільш відповідальною частиною доменної печі і її сушку слід проводити з максимально можливою повнотою, що дуже важко досягти через великий масив кладки. Практично просушити лещадь на всю глибину – є досить проблематичним.

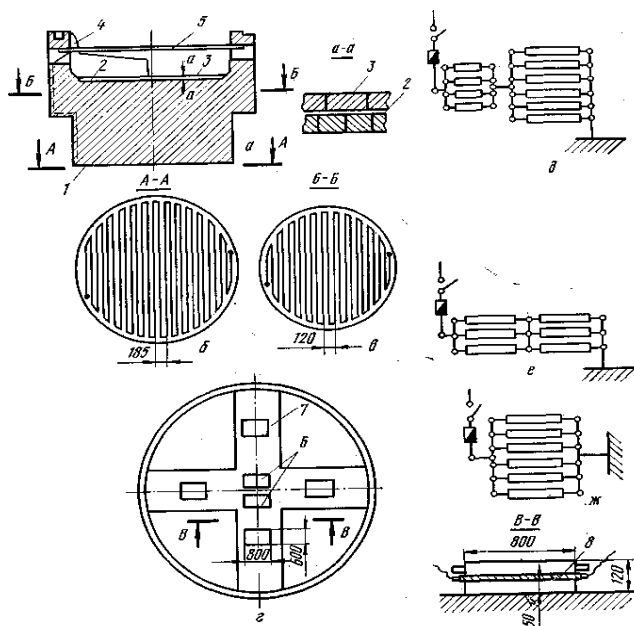
Розрахунковим шляхом встановлено, що за шість діб сушки лещаді шляхом підведення тепла з поверхні підвищення температури відбувається тільки на глибину 1,0–1,5 м. Причому сушка цим методом мало сприяє випаровуванню вологи в навколишнє середовище, а в більшій мірі створює умови для переміщення вологи від поверхні сушки в глибину кладки (по напрямку теплового потоку).

Таким чином, верхні шари кладки зневоднюються, а нижні зволожуються настільки, що незабаром після задування печі в основі лещаді виникає сильне випарювання і навіть вичавлювання води за межі кожуха.

Надмірне форсування сушки може викликати спучення кладки, розлад швів і переміщення її верхнього ряду. Тому дуже важливо починати сушку кладки лещаді якомога раніше, тобто одночасно з її спорудою.

Сушка електрикою. Це можливо здійснити, заклавши під час кладки між рядами цеглини тонкі ніхромові металеві смуги і пропустивши через них електричний струм. Що приводить до її нагрівання і видалення вологи.

На мал.1.3 наведено найбільш вживані способи сушки лещаді електрикою. Температуру поверхні лещаді зазвичай контролюють 5 – 7 термopарами. Через кожних 2 години записують температуру з кожної термopари.



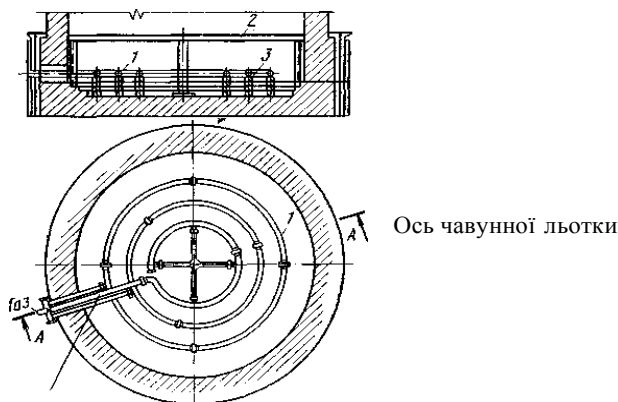
Мал. 1.3. Сушка лещаді електрообігрівачами

а — розташування спіралей; б — укладання під нижній ряд лещаді; в — укладання ніхромових опорів по верхньому ряду лещаді; г — розташування пересувних електропечей; д — підключення в перший період сушки; е — підключення груп опору після попереднього підігріву; ж — підключення груп опору постійний режим сушки; 1 — нижня спіраль; 2 — верхня спіраль; 3 — ізоляційний шар; 4 — електроживлення спіралей; 5 — перекриття для кладки фурменої зони; 6 — електропечі; 7 — готова ділянка кладки; 8 — ніхромові спіраль.

При такому способі сушки протягом 60 годин температура верхнього ряду лещаді може бути доведена до 550—600°C у відносності до встановленого графіка підйому температури.

Тепло від нагрівальних елементів верху лещаді забезпечує також нормальні умови роботи людей, що виконують кладку на верхніх горизонтах печі в зимових умовах.

Сушка газом (мал. 1.4) здійснюється подачею його через спеціально обладнаний для цього газопровід, прокладений в горно печі через чавунну льотку. У середині горна газопровід з'єднується з трьома концентричними кільцями, які мають отвори на трубах діаметром від 3 до 5 мм, що розміщені на відстані від 75 до 175 мм один від одного в шаховому порядку. Труби для підводу газу беруться зазвичай діаметром 50–75 мм. Висота розташування труб над лещаддю до 300 мм. Це робиться, щоб уникнути місцевого перегріву поверхні кладки та її пошкодження.



Мал. 1.4. Пристрій для сушки лещаді і горна газом: 1 — кільцеві газопроводи; 2 — металеве покриття; 3 — вогнетривка кладка

Повітря для горіння найчастіше подають вентилятором через повітропровід, прокладений також через чавунну льотку. Газопровід і повітропровід забезпечені приладами для спостереження за кількістю і тиском газу і повітря. Прилади і вентилі для управління подачею газу і повітря встановлюють безпосередньо перед чавунною льоткою, де знаходиться черговий газівник або водопровідник, що спостерігає за процесом горіння газу.

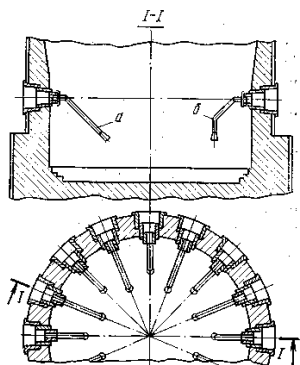
На період сушки доменної печі отвори в кладці для фурменних та шлакових приборів закриваються металевими заслінками, великий конус засипного апарату закривається. Атмосферні клапани печі, великий конус і свічка пиловловлювача

повинні бути відкриті, щоб уникнути скупчення незгорілого газу під куполом печі, в пиловловлювачі і можливого утворення там гримучої суміші.

Система охолодження печі, як правило, в період сушки знаходиться в робочому стані при подачі зменшеної кількості води. Нагрів лещаді до 250°C досягається підвищенням температури по 15°C за годину, в інтервалі $250\text{--}600^{\circ}\text{C}$ — по 10°C за годину.

Якщо горн викладають з вуглецевих блоків, то зсередини горна викладається запобіжний шар шамотної цеглини для попередження окислення поверхні блоків при сушці. Газ на кільцях запалюється поступово: одне кільце за іншим. Для контролю температури на поверхні лещаді, так само як і при сушці електрострумом, встановлюють 5-7 термодатчиків: в центрі поду, в середині радіусу горна і біля стінки печі. Рівномірність нагріву може регулюватися подачею газу по кільцях.

Сушка лещаді і горна газом або електроенергією може продовжуватися протягом зведення кладки заплечиків, розпару і шахти. Для цього в горні на рівні фурмених отворів робиться перекриття з металевих листів, покритих для теплоізоляції гранульованим шлаком шаром в 250 мм. Один з фурмених отворів залишається вільним і служить для входу в доменну піч.



Мал. 1.5. Пристосування для сушки горна гарячим повітрям за допомогою довгих (а) і коротких (б) трубок

Вказаними способами сушитися в основному кладка лещаді і металоприймача. Кладка шахти при цьому обігривається слабо, оскільки продукти горіння і тепле повітря контактують з нею у меншій мірі. Попереднє прогрівання кладки шахти

може бути здійснене пропуском через встановлені холодильники пари тиском до 1,2 МПа (12 ат) або повітря, нагрітого до 200—250°C. Інколи встановлюють також невеликі кільцеві газопроводи коксувального газу, які підвищуються під підмостками, з яких ведеться футерування. Полум'я від спалювання цього газу спрямовується до знов викладеного поясу кладки. При цьому організовується періодичний забір проб повітря для спостереження за повнотою згорання газу, щоб не відбулося отруєння чадним газом людей, що працюють в печі.

Сушка кладки паром була застосована вперше в 1940 р., але великого поширення не набула, хоча і має переваги, особливо при капітальних ремонтах другого розряду, коли, як правило, не залишається спеціального часу для сушки шахти. Недолік його — порушення герметичності в з'єднаннях охолоджувальних приладів печі, відновлення яких вимагає часткового перекупорювання з'єднувальної арматури. Крім того, в зимових умовах застосування пари супроводжується її значною конденсацією і можливим заморожуванням окремих ділянок системи охолодження при відключенні пари. Для попередження цього охолоджувальна система продувається гарячим повітрям.

Одним із найбільш поширених способів сушки печі є сушка гарячим повітрям (мал. 1.5). Для цього через фурмені пристрої подається нагріте в повітронагрівальних апаратах повітря з тиском 10—15 кПа (0,10—0,15 ат) і температурою, яка змінюється згідно з встановленим графіком.

Температура дуття піднімається поступово, по 10°C за годину з підвищенням за першу добу не більше ніж на 300°C в порівнянні з температурою після завершення сушки горна газом.

Положення конусів засипного апарату, атмосферних клапанів і арматури пиловловлювача повинні бути такими ж, як і при сушці печі газом. На фурми рекомендується надягати спеціальні патрубки і труби (мал. 1.5), діаметр яких рівний діаметру ока фурми. Вони потрібні для спрямування струменя повітря до лещаді і в шахту печі з метою кращого їх обігріву.

При сушці необхідно стежити за станом фурмених приладів, ослабляючи поступово пружини притискних болтів у міру нагрівання сопел. Для виходу пари вологи з кладки в кожусі верха шахти по колу вирізуються невеликі отвори, які згодом заварюються. Система охолодження печі в період сушки працює в тому же режимі, що і при сушці газом.

Температура колошника в процесі сушки кладки печі не повинна перевищувати 350°C.

Після закінчення сушки піч «розкривається» для охолодження на 8—12 годин з розрахунку пониження нагріву кладки приблизно по 30—40°C за годину.

Сушка повітрянагрівачів, димового борова і труби. Сушка повітрянагрівачів доменних печей повинна забезпечувати поступове зростання температури при збереженні їх конструктивних елементів і герметичності кожуха. Проводиться вона раніше сушки доменної печі, оскільки для сушки останньої необхідно мати температуру під куполом повітрянагрівачів на рівні 850—1000°C. Перед сушкою повітрянагрівачі випробовують на щільність і міцність при тиску 70 кПа після попереднього продування їх атмосферним повітрям через купол.

Сушка ведеться послідовно: дровами для початкового нагріву низу камери горіння; коксовим, природним або доменним газом з подачею його до камери горіння на вогнище з деревини для займання і повного згорання газу. Повітря для горіння в цьому випадку подається вентилятором через оглядовий отвір пальників або боковий люк камери горіння по трубці діаметром 3/4 дюйми. Після досягнення в камері горіння температури червоного каління, що забезпечує повноту згорання газу, нагрів продовжується газом через газові пальники повітрянагрівачів.

Період нагріву газом з подачею повітря через вентилятори пальників або від централізованої станції забезпечує велику рівномірність прогрівання кладки по висоті повітрянагрівача, а тривалість сушки при цьому регулюється за рахунок тривалості ступенів витримки.

Процес сушки та розігріву повітрянагрівача до робочих температур триває біля 7 діб. Витримка при максимальній температурі кожного періоду робиться до двох діб. Контроль температури кладки куполу, насадки і камери горіння ведеться за допомогою термопар, встановлених в куполі, насадці і камері горіння на різних горизонтах по висоті повітрянагрівача.

Найточніше на співвідношення газ — повітря реагує температура куполу, яка і служить основним показником його нагріву.

Температура продуктів горіння, що відходять з повітрянагрівача, не повинна перевищувати 350°C. Сушка контролюється періодичним виміром вологості атмосферного повітря і продуктів горіння. Відносна вологість продуктів горіння доменного газу при виході з повітрянагрівача складає 75—90%.

Сушка борова і димової труби починається за 8—12 год до сушки повітрянагрівачів з основи (стакана) димової труби, де розпалюється вогнище з дров. Після нагріву стакана розпалюються вогнища в самому лежку. Технологія сушки може змінюватися залежно від пори року і способу споруди труби.

При будівництві труби в літній час сушка і розігрівання можуть бути безпосередньо перед пуском печі. Інакше процес сушки повинен бути початий завчасно, оскільки швидкий підйом температури може викликати вертикальні тріщини в трубі.

Тривалість сушки футерованих труб висотою від 40 до 100 м складає: влітку 4—10, взимку 7—15 діб, причому при сумісному нагріві повітронагрівачів і труби сушка останньої повинна бути продовжена до 2—3 діб для видалення вологи, що конденсується в трубі від повітронагрівачів. Температура продуктів спалювання, що поступають до труби, повинна підніматися поступово.

1.4.2. Задування доменної печі

Початок подачі в доменну піч гарячого дуття означає її задування.

Підготовчі операції по задування — розрахунок і завантаження печі спеціальною задувною шихтою, зводяться до наступних вимог:

- захист лешаді, кладки горна і заплечиків при завантаженні і задуванні печі;
- отримання заданого складу чавуну і шлаку;
- забезпечення нормального пускового періоду згідно наміченому графіку задування.

Правильний вибір складу задувної шихти повинен забезпечити не тільки отримання чавуну і шлаку заданого складу, але і компенсувати всі теплові втрати в задувний період, що пов'язані з остаточним прогріванням печі; термічною підготовкою завантажених в неї шихтових матеріалів і витратою тепла на подальше протікання відновних процесів в горні.

Сукупністю всіх цих умов і пояснюється велика сумарна витрата коксу в задувних шихтах, що становить від 2,5 до 4,0 т/т чавуну при співвідношенні кількостей руди і коксу (рудне навантаження) 0,40—0,75 т/т і що супроводжується великими коливаннями вмісту кремнію в перших чавунах.

Істотно зменшити витрату коксу можна зниженням температури горіння біля фурм, змінюючи при цьому технологічні параметри режиму роботи горна. Вдування в горн вуглеводнів (природного або коксового газів), в перші години після задування (з компенсацією тепла на їх розкладання) значно збільшує можливість підвищення температури дуття в межах потужності повітронагрівачів, зазвичай недовикористаної при задуванні. Відбувається перерозподіл тепла по висоті печі з перенесенням частини його у верхні горизонти шахти, особливо в центральній зоні, де недостатньо теплоти через малу кількість газів.

У першу добу роботи печі теплота, що генерується в горні, використовується в основному для нагріву холодних шихтових матеріалів і вогнетривкої кладки до робочих температур, причому шихтові матеріали встигають прогрітись до цього рівня значно раніше, ніж вогнетривка кладка печі, що вимагає особливого складання задувної шихти.

Для раціонального використання необхідного для задування коксу його слід ділити на дві частини, з яких перша призначена для компенсації всіх теплових втрат в період завершеного теплообміну і складає так звану «нульову» шихту; друга розраховується на отримання заданих складу чавуну і шлаку в припущенні, що тепло від неї витрачається тільки на потреби власне металургійного процесу.

При цьому для попередження завищеного проти розрахункового вмісту кремнію в перших випусках чавуну необхідно стежити за температурою кладки печі, яка поступово зростає і досягає максимуму після закінчення 40—60 годин з моменту задування. У частині шахти без охолодження акумуляція теплоти приблизно в 2 рази більше, ніж на нижніх охолоджуваних горизонтах. Тому початок підйому температури верхнього горизонту шахти свідчить про завершення першого етапу задування і можливості початку форсування задувного періоду.

Не менш важливим питанням при розрахунку задувної шихти є визначення складу і відносної кількості шлаку. Кількість шлаку повинна бути достатньою для ошлакування золи коксу. Основність шлаку по можливості повинна відповідати складу футерівки і залежно від змісту сірки в коксі мати відношення $\text{CaO} : \text{SiO}_2 = 1,0\text{--}1,2$ од.

Визначення кількостей коксу і шлаку в задувній шихті проводиться з використанням комплексного методу А. Н. Рамма. Для цього складають чотири рівняння, що враховують матеріальний і тепловий баланси плавки і теплові еквіваленти матеріалів, в задувний період [3].

При визначенні теплового еквівалента коксу в задувний період необхідно враховувати тепло, що йде на нагрів самого коксу до робочої температури (приблизно 1500°C), на нагрів кладки печі і втрати теплоти з водою, що охолоджує, через фурмені прилади. Теплові еквіваленти решти компонентів шихти визначаються по методиці А. Н. Рамма.

Краща газопроникність шихти і легкий схід її досягається завантаженням матеріалів, класифікованих по розміру. Для цього задування бажано проводити на

коксі розміром 25—60 або 40—60 мм (найміцніші фракції) з можливо меншим вмістом вологи, золи і сірки. Бажано мати залізну руду та агломерат з величиною шматків 10—25 і 15—20 мм, відповідно.

Число проміжних шихт в загальній задувній шихті буває різним. Для печей об'ємом 2000—5000 м³ воно складає 5—13 залежно від числа компонентів шихти і способу завантаження її в піч. На печах з моношихтою (агломерат — кокс) може бути не більше 5—6. Це забезпечує достатньо плавні переходи в тепловому режимі по висоті печі.

У задувний період планують отримання ливарного чавуну, що містить 3—4% Si. Разом з тепловим резервом в печі цим передбачається створення захисного прошарку графіту на поверхні лещаді і стінах металоприймача. Тривалість роботи печі з отриманням ливарного чавуну зазвичай не перевищує 10—15 діб, після чого піч переводять на виплавку переробного чавуну.

Найбільш поширеними способами завантаження печі прийняті наступні:

- заповнення горна коксом через фурми (до рівня останніх) транспортерами з попереднім відсівом коксової дрібниці (<25 мм) на ливарному дворі. Фурми захищають клітками з дров з метою захисту їх від роздавлювання вище розміщеними матеріалами і полегшення розпалу коксу. Частина фурменної зони, що залишилася, і запличики заповнюють дровами. Завантаження ведуть через дві-три повітряні фурми. Іноді запличики заповнюють коксом через колошник, заздалегідь уклавши дрова у фурменній зоні. Решту об'єму печі завантажують задувними шихтами через засипний апарат. При цьому стінки запличиків повинні бути обшиті шпалами для захисту від пошкодження;

- встановлення на рівні фурм дерев'яного помосту на стовпах, на який завантажуються деревина, що заповнює об'єм запличиків і фурменної зони. Нижня частина горна під помостом — металоприймач — залишається вільною, за винятком зумпфа (мертвий простір горна), заповненого доменним, іноді мартенівським шлаком або чавунною стружкою;

- завантаження всієї задувної шихти через колошник.

Задування печі. Запалення коксу у момент задування проводиться дуттям, нагрітим до температури його займання (650-670⁰С) або дещо до вищої температури (750— 800⁰С) з тиском 0,07– 0,08 МПа (0,7—0,8ат).

При задуванні в піч подається від 1/4 до 1/2 від нормальної кількості дуття. Для попередження сильно розвиненого периферійного потоку газів перетин фурм повинен бути відповідно зменшено. Необхідно, щоб швидкість дуття з фурм

наближалася до її значення для нормально працюючої печі (170—180 м/с). Це досягається шляхом або закриття половини фурм, тобто дуття подають через кожну другу фурму, або установки керамічних кілець на всіх фурмах.

Після встановлення нормального процесу горіння коксу на фурмах і продування всієї газової мережі, тиск дуття поступово знижують до 0,25—0,30 ат (надмірних).

Надалі поступово збільшують витрату дуття. Темп роздування печі залежить від ступеня прогрівання горна і дренажу рідких продуктів плавки.

Перше збільшення кількості дуття проводять через 8—10 годин. При цьому кількість дуття збільшують на величину, відповідну підвищенню тиску гарячого дуття не більше ніж на 0,01 МПа. При задовільному нагріві печі кількість дуття поступово збільшують, а керамічні кільця на повітряних фурмах прибирають.

Подачу дуття необхідно збільшувати обережно, щоб уникнути похолодання печі і припинення опускання шихтових матеріалів. Протягом перших чотирьох діб збільшення витрати дуття здійснюють по 50, максимум, по 100 м³ дуття через кожних 3—5 годин. подача нормальної кількості дуття зазвичай можлива на четверту-п'яту добу після задування печі.

У момент задування температура дуття підтримується на рівні 700—800°C. Після займання коксу температуру дуття знижують до 600—650°C і надалі підтримують відповідно до теплового стану і ходу печі.

При нормальному задуванні печі шлак з'являється через 12—15 год. після задування; випускають його з печі через чавунну лютку. Випуск шлаку через шлакові льотки при нормальному перебігу задувного періоду проводиться через добу після задування. Чавун з'являється через 20—24 год. після задування печі.

Нормальна продуктивність печі досягається, як правило, на шосту-сьому добу. Триваліший період задування викликається неполадками в роботі механізмів завантаження, перебоями в постачанні шихтовими матеріалами, дуттям, водою і так далі. Задувний період повинен бути по можливості, коротким. Необхідно швидко переходити до нормальної кількості дуття і нормальної питомої витрати коксу.

На роботу при підвищеному тиску газу в робочому просторі доменну піч переводять після того, як в піч починають подавати нормальну кількість дуття. Тиск поступово підвищують до досягнення заданого рівня. У задувний період всілякі добавки до дуття (природний газ, рідке паливо, кисень, пара і т. д.) не дають.

Задування доменної печі проводять при відкритих конусах засипного апарату і відкритих атмосферних клапанах або тільки при відкритих атмосферних клапанах з подачею пари в міжконусовий простір і під великий конус засипного апарату. Піч відключають від загальної газової мережі, у пиловловлювач подають пару. Все це необхідно для того, щоб запобігти можливості вибуху в результаті створення вибухової суміші повітря з газом. У загальний газопровід газ подають лише тоді, коли його тиск підвищиться до 1,5—2,0 кПа, а вміст кисню в двох наступних пробах газу не перевищує 1%.

2. Управління доменною піччю

Змінний майстер печі безпосередньо веде доменну піч в *оптимальному* режимі. Щоб зрозуміти, як вибирається оптимальний режим, необхідно визначитися з факторами (*фактор* – незалежна перемінна величина, що впливає на процес) і параметрами процесу (*параметр* – залежна від факторів величина, що найбільш повно відображає сутність процесу).

Узагальнених факторів доменного процесу – шість:

- *сировинні фактори* (компонентний, хімічний та гранулометричний склад залізородної шихти);
- *система завантаження* (порядок скіпів у подачі, рівень засипу, маса подачі, станції обертового розподільника – для конусних апаратів; система радіальних станцій для безконусного завантажувального пристрою з обертовим лотком);
- *дуття* (кількість, температура, тиск, добавки);
- *фурми* (кількість, діаметр, висув і нахил);
- *конструктивні умови* (розміри профілю, вид завантажувального пристрою та ін.);
- *випадкові* (аварії, неполадки обладнання, затримки з випусками та ін.).

Вихідними параметрами доменного процесу є: витрата коксу; продуктивність; сортамент продукції, її собівартість та ін.

Окрім вихідних, існують, так звані, *проміжні параметри*, які залежать від вищезгаданих факторів, відображають яку-небудь одну сторону доменного процесу і впливають на вихідні параметри доменного процесу. До них можна віднести: *газопроникність стовпа шихти*, характеристиками якої є перепади тиску газів у верхній та нижній зонах доменної печі; *ступінь використання газового потоку*,

яка визначається зі складу колошникового газу; **тепловий стан горна і верхньої зони**, який характеризується хімічним складом чавуну й температурою периферії на різних горизонтах по висоті печі; **використання сировини**, обумовлене виносом колошникового пилу і втратами заліза зі шлаком і скрапом при випуску та розливанні продуктів плавки; **швидкість руху шихти**, показниками якої є кількість подач за годину і якість руху з огляду на шомпольні діаграми.

У відповідності з факторами уся технологія доменної плавки реалізується за допомогою наступних **технологічних режимів** (сукупність параметрів технологічного процесу): **сировинний режим** (сировинні умови), **режим завантаження** (підбір найкращих значень факторів завантаження); **дутьовий режим** (підбір оптимальних значень факторів дуття і фурм); **шлаковий режим** (вибір і коректування шихти з метою одержання шлаку з кращими в'язкісними та сірчано-поглинальними параметрами); **тепловий режим** (вибір максимально можливого рудного навантаження для одержання чавуну необхідної марки та хімічного складу).

2.1. Технологічні режими доменної плавки

2.1.1. Сировинні умови

Сировинні умови доменної плавки повинні відповідати загальновизнаним стандартам, які забезпечують стійку роботу доменної печі.

Начальники змін та майстри печей зобов'язані стежити за показниками якості коксу, агломерату, обкотишів й інших шихтових матеріалів.

Якість коксу характеризується **технічним аналізом** (вміст вологи, золи, сірки, летучих); **міцністю** за результатами випробовування холодного коксу в стандартному барабані мікум (M_{25} та M_{10}) та після гарячих випробувань (CSR), **реакційною здатністю** (CRI) і **гранулометричним складом** (< 25 мм, 25 – 60 мм та > 80 мм).

Доменний кокс повинен відповідати вимогам діючих технічних умов ТУУ 322- 00190443 –114 –98.

У залежності від розмірів кусків доменний кокс ділять на два класи крупності: 25 – 60 мм та 25 мм і більше; у залежності від зольності - **на марки**, умовно позначені: КД, КД1, КД2, КД3.

За показниками якості доменний кокс повинен відповідати вимогам і нормам, зазначеним у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Кокс металургійний ТУУ 322- 00190443 –114 – 98

Найменування показника	Норма для класу і марки				Метод дослідження
	25-60 мм	25 мм і більше			
	КД	КД1	КД2	КД3	
1	2	3	4	5	6
1. Зольність А, % не більше	12.0	11.0	12.0	13.0	По ДСТУ 11022
2. Масова доля загальної сірки S _b , % небільше	2.0	2.0	1.6	1.6	По ДСТУ 8606 або <i>ДСТУ 4339</i>
3. Масова доля загальної вологи W _t , %	5.0	5.0	5.0	5.0	По ДСТУ 27588
4. Показник міцності, %:					
М25, не менше	86.0	86.0	84.0	82.0	
М10, не більше	7.8	7.5	8.0	9.0	
5. Масова доля кусків, %, розміром: більше 80 мм	-	11.0	15.0	20.0	По ДСТУ 5954
більше 60 мм	20.0	-	-	-	
менше 25 мм	4.0	3.5	4.0	4.5	

Технічні умови на залізорудні, флюсові та інші шихтові матеріали повинні бути узгоджені між постачальниками й споживачем за основними параметрами сировини. По агломерату й обкотишах контролюються наступні параметри: *хімічний склад; вміст фракції менше 5 мм (0-5мм); характеристики міцності* (опір удару й стиранню агломерату, обкотишів).

Для прикладу у табл. 2.2 - 2.5 наведені технічні умови на агломерат, обкотиші, руди й вапняки.

Таблиця 2.2
Агломерат залізорудний офлюсований ПівденГЗКу, ТУ 14-9-226-82

Показник якості агломерату	Вміст компонентів, %	Дозволені відхилення, %
1. Вміст заліза	53.6	- 0.8... +1.25
2. Основність CaO/SiO_2	1.25	± 0.08
3. Вміст кисню заліза, не менше	10.0	-
4. Вміст MgO	0.5	0.25
5. Вміст класу 0-5 мм, не більше	25.5	-
6. Міцність на удар (вихід класу +5 мм)	68.0	-
7. Міцність на стирання (вихід класу -0,5 мм)	6.0	-

Таблиця 2.3
Обкотиші залізорудні офлюсовані ПівнічГЗКу, ТУ 14-9-307-86.

Показник якості обкотишів	Марка А	Марка Б
1. Масова доля заліза, %	59.3	59.3
2. Основність $(\text{CaO} + \text{MgO})/\text{SiO}_2$	0.65	0.65
3. Масова доля оксиду магнію, не більше, %	0.9	0.9
4. Масова доля класу 0-5 мм, не більше, %	6.0	9.0
5. Міцність на стиск, не менше, кг/обкотиш	200	180
6. Показник міцності (фр.+5 мм), не менше, %	89.0	82.0
7. Показник стираності (фр.-0,5 мм), не більше, %	9.0	13.0

Таблиця 2.4
Руди залізнi Криворізького басейну, ТУ 14-9-268-83

Найменування	Вміст, %				Гранулометричний склад	
	Заліза, не менше	Двоокису кремнію, не більше	Нерозчин. залишку не більше	Вологи	Крупність мм	Вміст класу, %
Руда мартитова, кускова та змішана, 22 класу	57.5	16.3	16.5	3.0	10-250	Не менше 75
Те саме, 50 класу	51.0	17.8	18.0	3.0	10-250	Не менше 75
Руда мартитова, кускова та змішана, К (грохот)	46.0	32.0	23.0	3.0	10-100	Не менше 80
Магнетитова КМ	46.0	30.0	-	3.0	10 - 80	Не менше 85

Таблиця 2.5
Вапняк флюсовий Комсомольського рудоуправління, ТУ 14-5-47-77

Показники	Вапняк звичайний, розмір кусків 25-80 та 40-80 мм	Вапняк звичайний, розмір кусків 0-25, 3-10, 10-25 мм
Вміст CaO, % , не менше	51.5 – 53.5	50.5 – 52.5
Вміст MgO, % не більше	5.0	Ненормоване
Вміст нерозчинного залишку, %	2 - 4	2 - 4

Усі матеріали (кокс, агломерат, обкотиші, залізна руда, флюси), що надходять на бункери доменного цеху, повинні мати паспорт або сертифікати

постачальників, де вказано вагу у кожному вагоні або партії вагонів та якість їх у відповідності до затверджених технічних умов.

Відповідність фактичної якості сировини, зазначеній у паспорті або сертифікаті, перевіряється працівниками дільниці зовнішнього приймання сировини відділу технічного контролю (ВТК) шляхом вибору проб на станціях випробування сировини й проведення хімічних аналізів експрес-лабораторією. Результати випробування сировини, хімічних аналізів, кількість сировини та облік руху матеріалів у бункери бункерної естакади реєструються операторами шихтоподачі й газівниками доменних печей у змінних журналах.

При відсутності паспорта, невідповідності фактичної якості матеріалів зазначеній у паспорті (сертифікаті) або при одержанні некондиційної сировини, працівники дільниці зовнішнього приймання ВТК повинні робити контрольне випробування матеріалів та складати відповідні акти для пред'явлення претензії постачальникам. ***Розвантаження некондиційної сировини допускається тільки з дозволу помічника начальника цеху з шихти.***

Завантаження бункерів матеріалами повинно робитися рівномірно, а вивантаження сировини з них – у відповідності з порядком, встановленим для кожної печі. Це забезпечує додаткове усереднення матеріалів перед завантаженням їх у доменні печі. Заповнення бункерів повинно бути максимально можливим, але не менше 1/3 ємності. ***Повне спорожнення бункерів забороняється***, оскільки шихтові матеріали, які висипають у порожній бункер, піддаються надмірному дробленню.

Контрольні питання

1. Перерахуйте узагальнені фактори доменного процесу.
2. Що відноситься до сировинних факторів доменного процесу?
3. Назвіть загальні вимоги, що пред'являються до доменної сировини.
4. Перерахуйте марки доменного коксу і їх відмінності один від одного.
5. Дайте характеристику технічному аналізу коксу.
6. Які граничні значення зольності коксу, сірчистості, вологи?
7. Назвіть межі кускуватості коксу.
8. Які методи визначення міцності коксу застосовують в металургії?
9. Назвіть цифри міцності коксу, відповідні діючим технічним умовам.
10. Які вимоги пред'являються до доменного агломерату, обкотишів, сирої руди, флюсів?
11. Які межі вмісту фракції 0-5 мм в агломераті, обкотишах?
12. Як визначається міцність агломерату, обкотишів?

2.1.2. Режим завантаження

Режим завантаження шихтових матеріалів, який включає порядок завантаження, масу подачі, рівень засипу, роботу обертового розподільника, **повинен забезпечити максимальне використання теплової та хімічної енергії газового потоку при максимально можливій продуктивності доменної печі.**

Подача – це окремі порції періодично завантажуваних в піч шихтових матеріалів (коксу – К, руди – Р, агломерату – А, обкотишів – О, вапняку – В).

При завантаженні шихти у доменну піч конусним завантажувальним пристроєм існує наступний **порядок завантаження матеріалів.**

Спільна подача – при такому способі завантаження вся подача набирається на великий конус, а потім одночасно завантажується в піч. При цьому можуть бути **два різновиди такої подачі:**

- на великий конус набирається спочатку рудна частина подачі, а потім коксова, після чого подача завантажується у піч (ААКК↓). Така подача називається **нормальною, або прямою;**

- на великий конус набирається коксова частина подачі, зверху якої – рудна (ККАА↓), після чого виконується опускання матеріалів у піч. **Це зворотня подача.**

Застосовують також **проміжні порядки завантаження:** АККА↓, АКАК↓, КААК↓, КАКА↓.

При добре підготовленій шихті, яка має мінімальну кількість дріб'язку, **прямий порядок** завантаження є **найбільш раціональним**. Частіше за все, коли гранулометричний склад залізорудної шихти не дуже якісний, застосовують **циклічний порядок завантаження** – декілька подач нормальних і декілька проміжних (наприклад, *n* ААКК↓, *m* КААК↓ – де *n* і *m* – кількість прямих та зворотних подач у циклі).

Роздільна подача. При такому порядку завантаження рудна і коксова частини подачі окремо набираються на великий конус й опускаються у піч (АА↓КК↓, КК↓АА↓).

Розшпелена подача. При такому порядку завантаження матеріали завантажуються двома напівподачами, у кожену з яких входять залізорудний матеріал і кокс (АК↓АК↓, АК↓КА↓, КА↓КА↓, КА↓АК↓).

Усіляких комбінацій порядку завантаження матеріалів при чотирьох скіпових подачах є 24 варіанта. Оскільки усі види порядку завантаження призначені для створення визначеної нерівномірності розподілу шихти по радіусу колошника, то **важливо знати їх ранжування** по ступеню завантаження периферії залізорудною

складовою шихти. **Ступінь завантаження** можна визначити показником радіального розподілу шихти $S_{ш}$, який представляє співвідношення товщин шарів залізородного матеріалу на периферії ($H_{П}$) у середині (H_C) і центрі ($H_{Ц}$) колошника $S_{ш} = (H_{П} + H_C) / (H_C + H_{Ц})$.

Дослідження, розподілу матеріалів на моделі завантажувального пристрою [4], дозволили одержати **ранжувальну криву** (мал. 2.1) за усіма 24 видами порядку завантаження шихти.



Мал. 2.1. Залежність показника радіального розподілу шихти $S_{ш}$ від порядку завантаження

З графіка малюнка видно, що **мінімальним завантаженням периферії** виділяється система К↓ААК↓ ($S_{ш} = 0.6$); **мало відрізняються** варіанти К↓КАА↓, КААК↓, КК↓АА↓ ($S_{ш} = 0.65 - 0.7$). **Максимальне завантаження** периферії колошника досягається при варіантах А↓АКК↓, АА↓КК↓, АК↓АК↓ ($S_{ш} = 1.75 - 1.81$); **найбільш рівномірно** по радіусу залізородну частину розподіляє порядок завантаження КА↓КА↓ ($S_{ш} = 0.98$). **Нормальна подача** ААКК↓ має показник радіального розподілу 1,45, а **зворотня** ККАА↓ – 0,75.

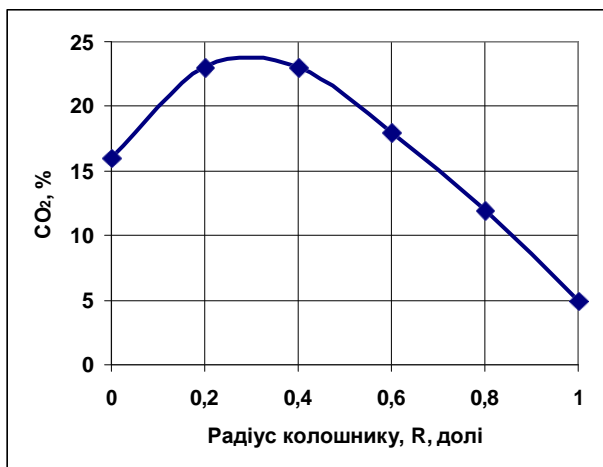
Маса подачі вибирається для кожної доменної печі дослідним шляхом і залежить в основному від об'єму печі, якості шихтових матеріалів і виду завантажувального пристрою. Масу подачі $M_{п}$ у тонах можна одержати за

емпіричною формулою, визначеною статистичним шляхом у залежності від корисного об'єму доменної печі $V_{\text{п}}, \text{м}^3$:

$$M_n = (0,015 \dots 0,25) \cdot V_n, \text{т}$$

Маса подачі залежно від умов плавки може коливатися в межах 10 – 15%. При необхідності підвантажити периферію колошника застосовують малу подачу. Велика подача розподіляє залізородну шихту більш рівномірно по радіусу колошника і показана при поліпшенні її гранулометричного складу.

Рівень засипу матеріалів, що вимірюється від основи великого конуса у відкритому положенні до поверхні шихтових матеріалів, може змінюватися при регулюванні розподілу шихти на колошнику від 1м до 2,5м через кожні 0,25м. Частіше застосовують рівень засипу 1,5 – 1,75 м, оскільки при цих значеннях гребінь шихтових матеріалів розташовується максимально близько до стінок колошника. При необхідності розвантаження периферії рівень засипу повинен бути менше, наприклад 1,0 – 1,25м.



Мал. 2.2. Діаграма розподілу CO₂ газу по радіусу колошника.

Формування раціонального розподілу матеріалів по радіусу колошника доменної печі здійснюється шляхом вибору оптимальних для конкретних умов порядку скіпів, маси подачі і рівня засипу. Контроль розподілу шихти в печі здійснюється заміром температур газу або вмісту в ньому CO₂ по радіусу верха шахти. Так на мал. 2.2 приведена діаграма CO₂ = f (R_k), з якої видно, що для

забезпечення високих показників роботи печі газу повинні розподілятися наступним чином:

- на периферії у стінки колошника вміст CO_2 повинен бути 17-19%;
- максимум вмісту CO_2 – 20–22% повинен розташовуватися на відстані біля $1/3$ радіусу колошника від стінки;
- в центрі колошника (у осевій зоні) CO_2 – 6–8%.

Окружний розподіл. Одностороннє завантаження шихти в приймальну воронку обумовлює нерівномірний розподіл матеріалів по колу на великому конусі і на колошнику доменної печі.

Для усунення нерівномірності розподілу матеріалів по колу використовується обертний розподільник завантажувального пристрою, який дозволяє укласти матеріали на великому конусі таким чином. Перша подача шихти завантажується на великий конус без обертання розподільника шихти, тому гребінь матеріалів (місто максимального скупчення матеріалів) розташовується в печі з боку підйомника, а найбільш крупний матеріал і в меншій кількості – з протилежної підйомнику сторони (впадина). При наборі на великий конус другої подачі матеріал кожного скіпа разом з малим конусом і воронкою, що обертається, повертається на 60 град. при роботі розподільника на шість станцій (при роботі його на 8 або 12 станцій кут повороту рівний відповідно 45 або 30 град. Подальша подача зміщується щодо попередньої на такий же кут, в результаті в кожному з шести (8-и, 12-и) секторів буде завантажено матеріал, як гребня, так і впадини. Таким чином, застосування розподільника шихти розподіляє її рівномірно по колу печі за один цикл завантаження. Контроль ступеня рівномірності окружного розподілу проводиться по температурі периферійних та колошникових газів – при рівномірному окружному розподілі шихти різниця поміж максимальною і мінімальною температурами повинна складати 50 – 70⁰С.

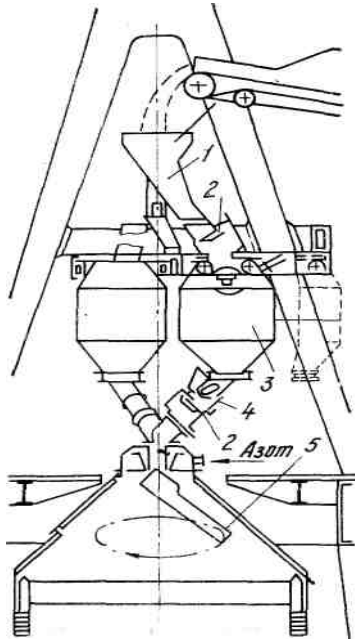
При необхідності спеціального регулювання окружного розподілу, наприклад, при каналному ході, існує можливість повертати воронку розподільника на будь-який кут.

Якщо на доменній печі встановлено безконусний завантажувальний пристрій (БЗП) з лотком, що обертається, то управління завантаженням і розподілом шихти на колошнику проводиться наступним чином.

Безконусний завантажувальний пристрій лоткового типу призначений для завантаження шихтових матеріалів в доменну піч і розподілу їх на колошнику в

основному за допомогою лотка, який в процесі завантаження обертається навколо вертикальної осі і може змінювати свій кут нахилу (α_d). У зв'язку з цим БЗП лоткового типу (мал. 2.3) має можливість здійснювати завантаження матеріалів у піч при таких режимах:

- **кільцевий** ($\alpha_d = \text{const}$, $n_{об} = 8 \text{ об/хв}$);
- **спіральний** (α_d – змінюється на протязі вивантаження матеріалів по заданій програмі, $n_{об} = 8 \text{ об/хв}$);
- **по станціях** (α_d – заданий, $n_{об} = 0$, номер станції по колу);
- **секторний** (α_d – змінюється по заданій програмі, лоток здійснює кивний рух в заданому секторі колошника зі швидкістю обертання 8, 2, 7 об/хв тощо).



Мал. 2.3. Схема пристрою БЗП: 1 – приймальна воронка; 2 – клапан газо-ущільнювача; 3 – бункер; 4 – шихтовий затвор; 5 – лоток, що обертається.

У автоматичному і дистанційному режимі роботи зміна кута нахилу лотка здійснюється від 16 до 51° в 11 робочих положеннях. Кути нахилу лотка за технологічними причинами в процесі роботи печі можуть бути змінені.

Кути нахилу лотка, відповідні кутовим положенням, представлені в таблиці 2.6.

Для регулювання розподілу по колу передбачено шість гаражних положень лотка розташованих через 60°.

Таблиця 2.6 – Кути нахилу лотка (від вертикалі)

Номер кутового положення	Вихідний	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Кут нахилу лотка, град	51	49	45,6	42,6	40,6	38,7	36,6	34	31,4	27,6	22	16
Крок кутових положень			3,4	3,0	2,0	2,0	2,0	2,6	2,6	3,8	5,6	6,0

Завантаження шихти за допомогою БЗП принципово відрізняється від конусних завантажувальних пристроїв. Кокс і залізорудні матеріали з добавками завантажуються в піч в основному роздільно. Інколи ці матеріали можуть завантажуватися спільно.

Характер розподілу газів і матеріалів в печі визначається на підставі даних про зміну складу і температури газів по радіусу і колу печі. Регулювання газового потоку досягається вибором кутових положень лотка, рівня засипу і маси порції.

При змінах режимів і умов доменної плавки або відхиленнях від нормального ходу приймаються наступні заходи:

- при істотних змінах гранулометричного складу і характеристик міцності шихтових матеріалів потрібно частково розвантажити периферію шляхом зсипання двох-трьох порцій матеріалів в циклі на менших кутах нахилу лотка (на 1-2 кутових положень), ці ж заходи застосовуються і при тугому ході печі;
- при сильно розвиненому осьовому ході необхідно залізорудні матеріали зсипати на крутіших траєкторіях (станції 9, 8, 7) або ж частину коксу

завантажувати в піч по більш пологих траєкторіях (станції 11, 10);

- у всіх випадках при коректуванні циклу завантаження змінювати кутові положення лотка не більше 2–3 порцій матеріалів в циклі.

В цілях запобігання розладу ходу печі необхідно змінювати значення окремих параметрів режиму завантаження (масу порції шихти, рівень засипу). Зміна режиму завантаження проводиться в тих випадках, коли має місце нераціональний розподіл газового потоку.

Розподіл матеріалів по радіусу колошника за допомогою лотка підбирається досвідченим шляхом. У основу методу підбору режиму укладання шихти повинна бути покладена діаграма розподілу CO_2 по радіусу печі:

- концентрація CO_2 на периферії повинна складати 17–19% (у 1-ій периферійній точці відбору газу);

- у 2-ій, 3-ій і 4-ій точках відбору газу концентрація CO_2 повинна досягати 21–23%;

- у 5-ій крапці повинне початися деяке зниження концентрації CO_2 в межах 12–14%;

- у 6-ій крапці (осьова зона) необхідно мати різке зниження CO_2 5–7% (дивись мал. 2.2).

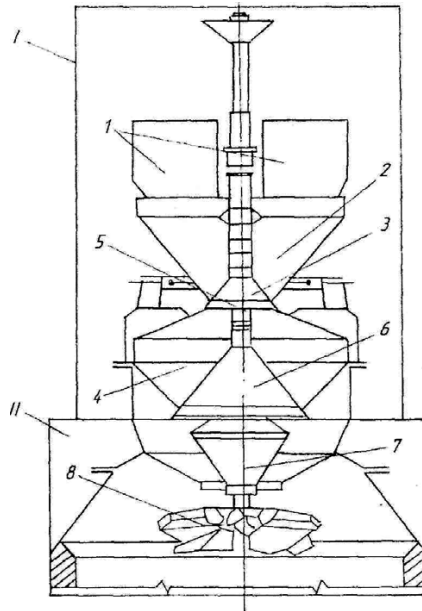
Окрім діаграми радіального розподілу газу оцінюється окружний розподіл матеріалів за показаннями периферійних термопар. При нормальній роботі доменної печі різниця між максимальною та мінімальною температурами окружного газу не повинна перевищувати 50 – 70°C.

В Росії, Індії ряд доменних печей обладнані завантажувальними пристроями з роторним лопатевим розподільним органом, що забезпечує можливість управління радіальним розподілом матеріалів на колошнику печі шляхом зміни швидкості і напрямку обертання ротора. Завантажувальний пристрій (мал. 2.4) включає приймальні бункери 1, розподільник шихти, що обертається, 2, верхній конус 3, контактне кільце 5 якого утворює газовий затвор проміжного бункера 4, що закривається нижнім конусом 6. Роторний розподільник 5 приводиться в рух за допомогою редуктора 7.

Установка роторного апарату замість двоконусного апарату не вимагає зміни існуючих конструкцій доменних печей (конструкції копра, моста скіпового підйомника, колошникового фланця, балансирів, конусних лебідок і ін.). Даний

пристрій має широкі можливості в управлінні розподілом шихтових матеріалів на колошнику.

При відхиленні від нормального режиму роботи доменної печі завантаження матеріалів необхідно змінити в наступних випадках: посилення потоку газів на периферії або в центральній зоні, розвиток одностороннього газового потоку, перекис рівня засипу, зміна шихтових умов і дуттьових параметрів плавки.



Мал. 2.4. Завантажувальний пристрій з роторним розподільником шихти: I, II – верхній і нижній монтажні вузли; 1 – приймальні бункери; 2 – розподільник, що обертається; 3 – верхній конус; 4 – проміжний бункер; 5 – контактне кільце; 6 – нижній конус; 7 – редуктор; 8 – роторний розподільник.

Тип завантаження, режим роботи ротора, масу порцій, рівень засипу встановлює начальник цеху або його заступник. Регулювання режиму роботи печі при відхиленнях від норми виконує майстер печі.

2.1.3. Дуттьовий режим

Дуттьовий режим визначається набором дуттьових факторів доменної плавки: *кількістю і тиском дуття, його температурою, вологістю, кількістю*

добавок до дуття (природний газ, пиловугільне паливо, кисень та ін.). До дуттьового режиму можна віднести й **параметри фурм** (діаметр фурм, їх висув і нахил та ін.).

Кількість дуття на доменну піч звичайно подається в обсязі **1,5 – 2 корисних об'ємів доменної печі за хвилину** й залежить від якості шихти і марки чавуну, що виплавляється. Чим краще шихта, тим більше дуття можна подати у доменну піч при збереженні рівного ходу, завдяки чому збільшується продуктивність печі.

Температуру дуття рекомендується тримати максимально високою, яку можуть витримати повітрянагрівачі і тракт гарячого дуття згідно з їх технічним станом. **Звичайно це $1000^{\circ}\text{C} - 1300^{\circ}\text{C}$.**

Кількість добавок до дуття визначається в основному вартістю й можливостями використовувати їх з максимальним коефіцієнтом заміни коксу.

Тиск під колошником може змінюватися у широких межах **від 0,1 до 0,25 МПа** у залежності від якості шихти, ступеню форсування плавки і технічного стану устаткування доменної печі.

Діаметр і висув фурм вибираються такими, щоб за рахунок **швидкості дуття 150-180 м/с** перед фурмами утворювався окислювальний простір (зона окислювання коксу) довжиною **приблизно 1,6 – 1,8 м**. Це сприятиме раціональному розподілу газів впродовж радіуса нижньої частини доменної печі.

Швидкість струменя дуття, що виходить з фурм, визначається за формулою

$$W_d = (Q_a + Q_{nz} + Q_{az}) T p_0 / n f * 60 * 273(1 + p), \text{ м/с}$$

де Q_a , Q_{nz} , Q_{az} – кількість атмосферного дуття, природного газу та інших заміників коксу, $\text{м}^3/\text{хв}$, T – температура, К, n – кількість фурм, f – площа перетину фурми, м^2 , p , p_0 – збитковий та нормальний тиск, ат.

2.1.4. Тепловий і шлаковий режими

Тепловий стан печі й шлаковий режим плавки повинні підтримуватися постійними і забезпечувати високу інтенсивність виплавки чавуну заданого складу з найменшими коливаннями хімічного складу на випусках при мінімальній питомій витраті коксу.

При контролі теплового стану й шлакового режиму печі необхідно враховувати наступні зміни:

- якості сирих матеріалів;
- характеру розподілу потоків газу і матеріалу;

- хімічного складу чавуну і шлаку;
- теоретичної температури горіння;
- температури і складу колошникового газу.

Тепловий стан доменної печі регулюється в основному зміною кількості коксу у подачі, рідше зміною вологості й температури дуття.

Теоретична температура горіння T_z є важливим показником початкової температури фурмених газів та теплового стану печі. Вона визначається розрахунком за формулою,

$$T_z = (9797 + m g_z + V_d((c_d + \varphi_c c_{H_2O})T_d - 10806 \varphi_c)) / V_z c_z$$

де 9797 – теплота згорання вуглецю коксу до CO, кДж/кг; m , V_d , V_z – витрати природного газу, сухого дуття і фурменого газу на 1 кг вуглецю, що згорає у фурм, m^3 ; g_z – сумарний тепловий ефект перетворень, що відбуваються в зоні горіння з компонентами природного газу, кДж/ m^3 газу; T_d – температура дуття, $^{\circ}C$; φ_c – кількість води, що міститься в 1 m^3 дуття, m^3 ; c_d , c_{H_2O} і c_z – теплоємність дуття, води і газу, кДж/(m^3 град); 10806 – витрата тепла на розкладання 1 m^3 води, кДж;

Для конкретних умов технологічного режиму доменної плавки теоретичну температуру можна підрахувати за допомогою емпіричної формули, яка розроблена Інститутом чорної металургії Академії наук України:

$$T_z = 2000 + 0.75(T_d - 1100) + 40(2 - \varphi) + 50(\omega - 25) + 53(9 - Q_{пг}) - 26 Q_{кг} - 4 M - 1.4 П,$$

де φ – вологість дуття, %;

ω – вміст кисню у дутті, %;

$Q_{пг}$ – витрата природного газу, % до дуття;

$Q_{кг}$ – витрата коксового газу, % до дуття;

M – витрата мазуту, г/ m^3 дуття;

$П$ – витрата пиловугільного палива, г/ m^3 дуття.

Шлаковий режим регулюється підбором певної кількості компонентів шихти: вапняку звичайного або магнезійного; шлаків інших виробництв (наприклад, сталеплавильних); інших компонентів, які містять необхідні оксиди для одержання стійких кінцевих шлаків у доменній печі з необхідними сіркопоглинальними характеристиками.

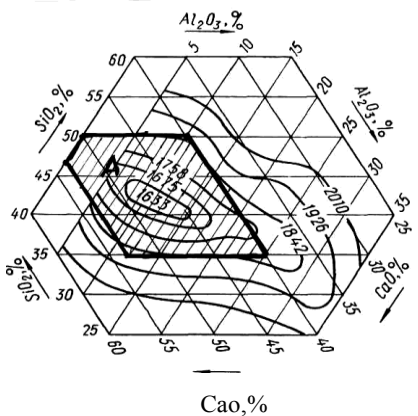
Під **шлаковим режимом** мається на увазі вибір хімічного складу шлаку в доменній печі для досягнення оптимальних його властивостей з метою

виробництва певного виду чавуну в необхідних кількостях з найменшими витратами.

Шлак підбирається за основними металургійними властивостями (плавкість, температура плавлення, в'язкість і сіркопоглинаюча здатність) з метою зниження витрати коксу і отримання кондиційного чавуну за вмістом сірки.

Під **ентальнією** (плавкістю) шлаку розуміється кількість тепла, яка необхідна для нагріву одиниці шлаку в інтервалі температур, включаючи теплоту хімічних реакцій і теплоту плавлення.

Оптимальному складу, з погляду плавкості, відповідає вміст в кінцевому шлаку $\text{SiO}_2 = 35 - 50\%$, $\text{Al}_2\text{O}_3 = 0 - 25\%$, $\text{CaO} = 40 - 53\%$ (мал. 2.5). За таких умов менш всього витрачається тепло на розплавлення 1 кг шлаку, отже, економно витрачається паливо доменної плавки.

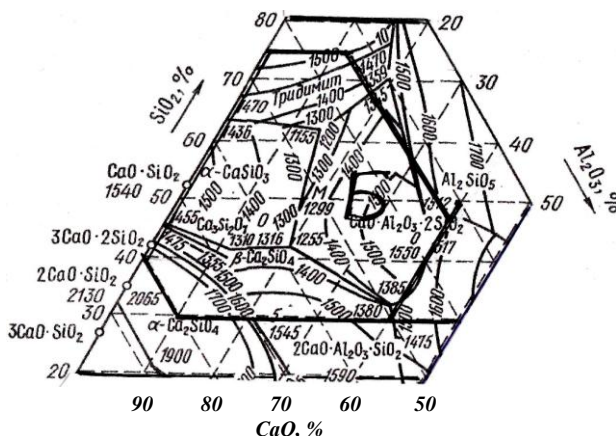


Мал. 2.5. Діаграма плавкості шлаків при в'язкості 0.5 Па·с (цифри у кривих – ентальпія шлаку, кДж/кг)

Для визначення температури плавлення шлаків користуються діаграмою, представленою на мал. 2.6. За **температуру плавлення** прийнята температура початку кристалізації при охолодженні розплавленого шлаку (точка ліквідус).

Згідно з даними мал. 2.6, оптимальними шлаками слід вважати (з погляду мінімальних температур $<1500\text{ }^{\circ}\text{C}$) шлаки наступного складу: $\text{SiO}_2 = 30 - 72\%$, $\text{Al}_2\text{O}_3 = 0 - 40\%$, $\text{CaO} = 12 - 50\%$ (заштрихована область).

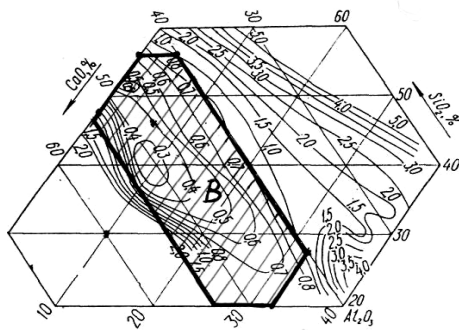
Проте слід зазначити, що температури плавлення шлаку не дозволяють ще судити про текучість (в'язкість) шлаку. Так, потрійна евтектика, що містить $62\% \text{SiO}_2$; $14,75\% \text{Al}_2\text{O}_3$ і $23,25\% \text{CaO}$ плавиться при температурі 1155°C , але стає практично текучою тільки при 1600°C . А шлак, що містить $33,1\% \text{SiO}_2$; $13,5\% \text{Al}_2\text{O}_3$ і $53,4\% \text{CaO}$, достатньо текучий при 1500°C , хоча його температура плавлення на діаграмі складає 1700°C . Це пояснюється тим, що при 1500°C частина шлаку знаходиться в твердій фазі, а частина в рідкій з хорошою текучістю всього шлаку.



Мал. 2.6. Діаграма температур плавлення (цифри біля ізотерм $^{\circ}\text{C}$) шлаків системи SiO_2 - Al_2O_3 - CaO

Таким чином, діаграми теплот і температур плавлення шлаків ще не можуть дати повного уявлення про оптимальний склад шлаку без визначення його в'язкості.

Під *в'язкістю* рідини розуміють внутрішнє тертя, що виникає між окремими її шарами нескінченно малої товщини, що переміщуються з різними швидкостями. Для нормальної роботи доменної печі в'язкість шлаку не повинна перевищувати 0,3 – 0,8 Па-с. В'язкість сильно залежить не тільки від складу шлаку, але і від температури, а оскільки температура шлаку при випуску з печі складає, як правило, біля 1500°C, то користуються діаграмою в'язкості шлаків, зображених на мал. 2.7. З діаграми видно, що зона в'язкості 0,3–0,8 Па-с (заштрихована ділянка) знаходиться при наступному складі шлаку: $\text{SiO}_2 = 20 - 57\%$, $\text{Al}_2\text{O}_3 = 0 - 33\%$ і $\text{CaO} = 40 - 53\%$.

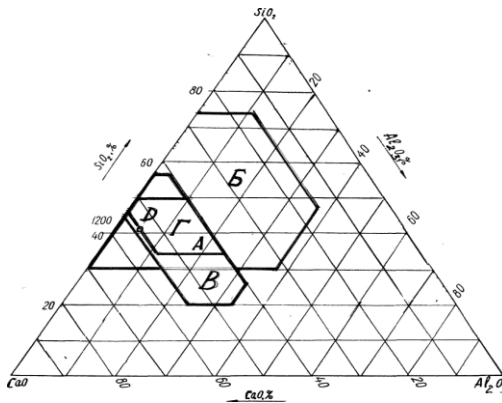


Мал.2.7. Діаграма в'язкості (цифри біля ізоком, Па-с) шлаків системи $\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{CaO}$ при температурі 1500°C

З іншого боку, при збільшенні CaO вище 50% шлак стає нестійким, тобто в'язкість росте ще вищими темпами: на кожен відсоток збільшення CaO в'язкість збільшується більш ніж на 0.3 Па-с.

Стійкість і нестійкість шлаку характеризується зміною його в'язкості і температури кристалізації при відхиленнях складу шлаку від його середньої величини.

З розгляду потрібної діаграми $\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{CaO}$ видно, що шлаки, що містять 42 – 50% SiO_2 і 0 % Al_2O_3 або 30 – 40% SiO_2 і 12 – 20% Al_2O_3 у край нестійкі за температурою кристалізації, оскільки останні різко змінюються при незначній зміні вмісту SiO_2 і CaO . При збільшенні вмісту Al_2O_3 ізотерми кристалізації розташовані більш рідко, отже, глиноземисті шлаки при тій же основності стійкіші.



Мал. 2.8. Накладення оптимальних зон на загальну діаграму складу кінцевого шлаку.

Оскільки основою всіх розглянутих діаграм є тривісна діаграма, то приведемо її на мал. 2.8, а заштриховані області діаграм на мал. 2.5-2.7 перенесемо на неї. З малюнка видно, що всі три оптимальні області: А – за плавкістю, Б – температурою плавлення і В – за в'язкістю, накладаючись одна на одну, утворюють загальну зону Г з наступним вмістом оксидів: $\text{SiO}_2 = 35 - 50\%$; $\text{Al}_2\text{O}_3 = 0 - 25\%$; і $\text{CaO} = 40 - 50\%$. Це і є оптимальний склад шлаку, що задовольняє всім трьом вибраним металургійним властивостям. Тобто плавкість їх мінімальна – 1600 – 1700 кДж на кілограм шлаку; температура плавлення помірна – 1310 – 1500°С; в'язкість мінімальна – 0,3 – 0,8 Па·с. Шлаки такого складу вимагають мінімальної витрати палива на розплавлення, добре течуть і віддаляються з горна, а також

достатньо стійкі, що дозволяє зробити висновок про оптимальність такого складу.

2.2. Хід печі (рух шихти)

Дотримання необхідного (оптимального) технологічного режиму доменної плавки здійснюється за допомогою *керування (ведення) доменної печі*, при якому під час роботи печі коректують значення управляючих факторів при спонтанній (мимовільній) зміні основних параметрів плавки (витрати коксу і продуктивності).

Рішення цієї задачі значною мірою залежить від ходу доменної печі. Хід доменної печі *визначається характером опускання (руху) шихтових матеріалів і її тепловим станом*. При плавному опусканні стовпа шихтових матеріалів (без підстоїв и обривів) хід печі називають *рівним*. Якщо рівний хід забезпечує задані показники плавки (продуктивність, витрату коксу, хімічний склад чавуну), то він вважається *нормальним*.

При русі шихти в доменній печі відбувається зміна профілю поверхні засипу від її первинного вигляду. Відомо, що рух шихти в печі відбувається під дією сили тяжіння в основному за рахунок звільнення простору в нижній частині печі: горіння і інших хімічних перетворень коксу – 50 – 52%, плавлення 30 – 40%, уминки 10 – 15%, випуску чавуну і шлаку близько 5% в середньому за добу (на випуску ця величина значно більше).

Згорілий кокс звільняє простір в центрі окислювальних зон, об'єм якого можна підрахувати за логічною формулою. Цей простір складається з об'єму, витраченого вуглецю коксу (C_K , кг/т) за одиницю часу за відрахуванням вуглецю, що йде на пряме відновлення заліза, марганцю, кремнію і фосфору (C_B), а також переходить в чавун ($C_{\text{ч}}$) і витрачається на утворення CH_4 колошникового газу (C_{CH_4}):

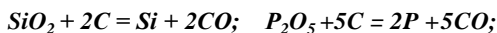
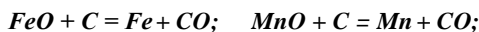
$$V_{\phi} = (K_{\text{уд}} C_K - C_{\text{ч}} - C_B - C_{\text{CH}_4}) \Pi / (86400 \gamma_k), \text{ м}^3/\text{с}$$

тут $K_{\text{уд}}$ – питома витрата коксу, кг/т чавуну; Π – продуктивність печі, т/добу; γ_k – насипна маса коксу, кг/м³.

Вуглець в чавуні $C_{\text{ч}} = 1000 * \%C_{\text{ч}} / 100$, кг/т,

де $\%C_{\text{ч}}$ – процент вуглецю в чавуні.

Вуглець, що йде на пряме відновлення елементів чавуну, розраховується за реакціями:



$$C_B = 1000 (Fe_q r_d 12/56 + Mn_q 12/55 + Si_q 24/28 + P_q 60/62) / 100, \text{ кг/т}$$

де r_d – ступінь прямого відновлення заліза; 12, 56, 55, 28, 31 – атомні маси відповідно вуглецю, заліза, марганцю, кремнію і фосфору; Mn_q , Si_q і P_q – відповідно процентний вміст марганцю, кремнію і фосфору в чавуні; Fe_q – вміст заліза в чавуні (%), що розраховується за хімічним складом останнього:

$$Fe_q = 100 - (Mn_q + Si_q + P_q + S_q + C_q).$$

Вуглець, що йде на створення CH_4 колошникового газу:

$$C_{CH_4} = K_{уд} C_K \%C_{CH_4} / 100, \text{ кг/т}$$

де $\%C_{CH_4}$ – витрата вуглецю на утворення метану, %; C_K – вміст вуглецю в коксі, долі одиниці.

Епюра швидкостей плавлення рудної частини шихти розташовується з певним ухилом до центру, яку приймаємо рівному середньому ступеню розподілу шихти по радіусу. Загальне зменшення об'єму підраховуємо за формулою:

$$V_{пл} = \Pi (\Sigma(M_i / \gamma) - \Pi_K / \rho_w) / 86400, \text{ м}^3/\text{с}$$

де M_i – витрата шихтових матеріалів, т/т чавуну, з насипною масою γ ; Π_K – вихід шлаку із золи коксу, т/т чавуну з щільністю ρ_w , т/м³.

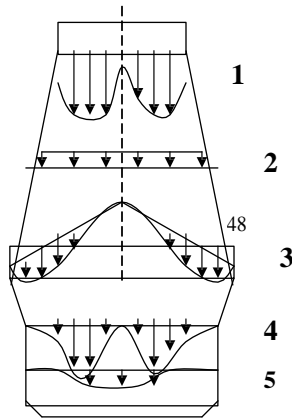
Епюра швидкостей руху за рахунок випусків чавуну має максимум в центрі печі. Звільнення загального середньодобового об'єму шихти за рахунок випусків чавуну та шлаку можна підрахувати за формулою:

$$V_B = \Pi (1000 / \rho_q + \Pi / \rho_w) / 86400, \text{ м}^3/\text{с}$$

Епюру швидкостей уминки шихти можна прийняти незмінною впродовж радіуса печі через її незначну величину (5–15%). Загальний об'єм, що звільняється в доменній печі за рахунок уминки, підраховується за формулою:

$$V_{ум} = \Pi \Sigma(M_i / \gamma) (0,05 \dots 0,15) / 86400, \text{ м}^3/\text{с}.$$

Таким чином, можна розрахувати і побудувати епюри швидкостей руху шихти в об'ємі печі і підсумувати їх для умов колошника, як показано на мал.2.9.



Мал. 2.9. Схема розташування епюр швидкостей руху шихти в доменній печі. 1 – сумарна епюра швидкостей руху шихти на колошнику, 2 – уменька, 3- плавлення, 4 – горіння коксу, 5 – випуск чавуну.

Необхідно відзначити, що епюра швидкостей може змінюватися за рахунок сипучості шихти. Крім того, шихта, зсипаючись з конуса на поверхню засипу, деформує останню, що впливає на швидкість руху матеріалів впродовж радіуса верхньої частини шахти. Слід зазначити, що **кокс в осьовій частині** нижньої зони доменної печі **витрачається** (спалюється) за рахунок **виштовхування** його знизу рідкими продуктами плавки в зони горіння, вирівнюючи швидкості опускання шихти по поперечному перетину печі.

Оскільки доменний процес багатофакторний і деякі фактори змінюються спонтанно, то хід доменної печі з бігом часу змінюється, відхиляється від нормального, тому задача технолога полягає у своєчасному розпізнаванні причин зміни ходу за відомими **технологічними ознаками** і попереджати ймовірні відхилення від нормального режиму застосуванням різних способів впливу на хід доменної печі.

3. Ознаки, за якими судять про хід доменної печі

Для ведення доменної печі у відповідності з нормальним ходом, необхідно знати технологічні ознаки роботи печі, за якими судять про стан ходу доменної плавки.

Ознаками ходу печі можна назвати характер зміни проміжних параметрів та

деяких факторів під час протікання доменного процесу, що відображають визначені його сторони. Вони умовно поділяються на *візуальні, аналітичні та приладові* (за показаннями контрольно – вимірювальних приладів).

3.1. Візуальні ознаки

До них відносяться: *зовнішній вигляд чавуну та шлаку у рідкому, а також і у твердому стані; яскравість світіння фурм.*

Оскільки вміст кремнію у чавуні є показником ступеня нагрівання печі, то його важливо визначати за зовнішнім виглядом гарячого чавуну, тому що марка чавуну визначається вмістом кремнію. Показником вмісту кремнію у чавуні є кількість і вигляд іскор над жолобом під час випуску чавуну.

При вмісті у чавуні кремнію *нижче 0.5%* над поверхнею чавуну виникає *сніп дрібних іскор*, які піднімаються на висоту 0.2–0.3 м, а витікання чавуну є бурхливе й супроводжується виділенням великої кількості *бурого диму*. Відбувається це тому, що при різкому охолодженні чавуну на випуску відбувається розпад силіцидів заліза (FeSi_2 , $T_{\text{пл}} = 1200^\circ\text{C}$ [5]), кремній окислюється й переходить у шлак у вигляді SiO_2 , а залізо, що звільнилося, з'єднується з киснем повітря – самозаймається на поверхні канави (пірофорність), виділяючи бурий дим. Газоподібні оксиди заліза, що з'явилися, розривають плівку чавуну з утворенням іскор.

Злам холодної проби такого чавуну має *білий колір* з чітко вираженими *великими променеподібними кристалами*. У такому чавуні більша частина вуглецю зв'язана із залізом у міцне з'єднання – карбід заліза Fe_3C .

При збільшенні вмісту кремнію у чавуні *понад 0.5%* кількість іскор над поверхнею чавуну зменшується, а самі іскри стають крупніші й піднімаються на велику висоту. При вмісті кремнію у чавуні *більше 1%* виділяються окремі великі іскри на висоту близько 1 – 1.5 м. Рух такого чавуну в жолобі супроводжується виділенням графіту у вигляді дрібних блискучих лусочок. Хімічно гарячий чавун із вмістом кремнію *понад 1.5%* не іскрить і виділяє велику кількість графіту («спелі»). Пояснюється це різким зниженням температури чавуну в жолобах, що викликає посилене виділення кристалічного вуглецю – графіту. Утворення графіту залежить від вмісту у чавуні кремнію, що обумовлює не тільки зменшення міцності карбідів, але й одержання силіцидів заліза (Fe_3Si , $T_{\text{пл}} = 1300^\circ\text{C}$), які руйнують ці карбіди [3].

Злам холодної проби чавуну *з високим вмістом кремнію* характеризується

дрібнозернистою структурою темно-сірого кольору з явно вираженими включеннями графіту.

За зовнішнім виглядом рідкого чавуну у жолобі **визначають і вміст сірки**. Поява на поверхні чавуну характерних «маслянистих» плям вказує на високий вміст сірки.

Присутність марганцю у чавуні виявляється також по іскрінню. Воно буває дрібне на поверхні чавуну і дуже часте. Чим вище вміст марганцю, тим більше іскріння і більше язиків жовтого полум'я від окислювання його на поверхні чавуну [3].

По зовнішньому вигляду шлаку визначають його **основність та тепловий стан печі**. Якщо яскраво світиться шлак, який вільно витікає з льотки, то **це свідчить про задовільне нагрівання печі**. Такий шлак виділяє велику кількість газу із сильним запахом палаючої сірки. **Злам проби застиглого шлаку** при нормальному і підвищеному нагріванні завжди має чистий тон, а колір залежить від основності. **Надто основний шлак** (CaO/SiO_2 більше 1.25) **швидко твердіє**, перетворюючись у білу з блакитнуватим відтінком щільну каменеподібну масу. При повному остиганні цей шлак іноді розсипається у тонку пудру білого кольору через те, що моносилікат кальцію $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ при температурі 675°C переходить з бета-фази у гамма-фазу зі збільшенням об'єму у 10 разів, та призводить до руйнування шлаку. **Кислий шлак застигає повільно** і може витягатися в довгі нитки. **Злам кислого шлаку** – блискучий, склоподібний, темнуватого кольору. **Нормальний по основності й нагріванню шлак переробного чавуну у зламі** приблизно наполовину склоподібний, а наполовину каменеподібний з матовою поверхнею білого кольору. Такий шлак називають **половинчастим**.

При зниженні нагрівання печі яскравість світіння й рухливість шлаку, який витікає з льотки, зменшуються. Виділення газу майже цілком припиняється. Колір застиглого шлаку завжди брудних тонів – від ясно брунатного до чорного, внаслідок підвищеного вмісту закису заліза. При похолоданні зникає блиск зламу кислого шлаку. Структура застиглого шлаку у більшості випадків пориста.

Яскравість світіння фурм дозволяє судити **про нагрівання печі і про рівномірність роботи печі по окружності**. Яскраве світіння усіх фурм і відсутність темних кусків перед ними **є ознакою рівного ходу і нормального чи підвищеного нагріву печі**. Тьмяніння фурм чи поява перед ними темних кусків свідчить **про порушення рівного ходу і зниження нагрівання печі**. Іноді перед

фурмами з'являється рідкий шлак чи тістоподібний матеріал. Це вже *ознака серйозного розладу ходу доменної печі*.

При значному зменшенні швидкості сходу шихти куски коксу перед фурмами рухаються повільніше, ніж при нормальній роботі, а *при підвисанні шихти кокс лежить перед фурмами майже нерухомо*.

3.2. Аналітичні ознаки

До них відносяться: *хімічний склад та температура чавуну і шлаку; швидкість сходу подач шихтових матеріалів; винос колошникового пилу*.

Аналіз хімічного складу рідких продуктів плавки показує, що вміст кремнію і сірки в чавуні, а також оксиду заліза в шлаці і його основність, як правило, залежать від теплового стану печі. *Чим вище нагрівання печі, тим сприятливіші умови для переходу кремнію у чавун, а сірки у шлак*. Тому збільшення вмісту кремнію і зменшення сірки у чавуні при незмінній основності шихти *свідчать про підвищення нагрівання доменної печі* і, навпаки, зменшення кількості кремнію і зростання вмісту сірки у чавуні *вказує на похолодання доменної печі*.

Показником теплового стану печі є також вміст оксиду заліза у шлаці. Чим вище нагрівання печі, тим менше заліза переходить у шлак у виді оксиду заліза. При нормальному нагріванні печі вміст оксиду заліза у шлаці переробного чавуну не перевищує 0.5%. Збільшення цієї цифри вказує на зниження нагрівання печі.

Основність шлаку при незмінній основності шихти *також залежить від нагрівання печі*. Чим вище нагрівання печі, тим більше оксиду кремнію витрачається на відновлення кремнію і тим вище повинна бути основність шлаку. Похолодання печі супроводжується зниженням основності шлаку тому, що при зменшенні вмісту кремнію у чавуні зменшується і витрата оксиду кремнію на його відновлення. Однак основність шлаку в значно більшій мірі залежить від коливань хімічного складу шихтових матеріалів, які завантажуються у доменну піч, ніж від нагрівання печі.

Фізичне нагрівання рідких чавуну і шлаку також відображає тепловий стан печі. Чим вище температура чавуну і шлаку, тим вище нагрівання печі. Вимірюють температуру чавуну і шлаку під час випуску їх з печі спеціальними термopами занурення або пірометрами.

Взаємозв'язок температури чавуну і вмісту в ньому кремнію може бути виражений емпіричною формулою $T_q = 1462.9 + 57.704 \ln(\text{Si})$, або з урахуванням основності шлаку $T_q = 1380.55 + 28 \ln(\text{Si}) + 65.44 (\text{CaO}/\text{SiO}_2)$.

Швидкість сходу шихтових матеріалів визначається числом подач, що завантажуються у піч впродовж години, а рівномірність руху шихти – інтервалами часу між завантаженнями подач. Для кожної доменної печі кількість подач, які завантажуються у піч за одну годину, встановлюється досвідом, виходячи з режиму роботи печі. Ця кількість має бути постійною, а проміжки часу між завантаженням подач – рівномірними. Збільшення швидкості сходу подач є, за звичай, ознакою початку похолодання печі і, навпаки, зменшення швидкості сходу подач говорить про збільшення нагрівання печі. **Порушення рівномірності інтервалів між опусканням подач – ознака нерівного ходу печі.**

Винос колошникового пилу газовим потоком залежить від якості шихтових матеріалів і рівності ходу печі. Звичайно, зі збільшенням кількості дрібних фракцій у шихті порушується розподіл газового потоку в печі, хід печі стає нерівним і велика кількість пилу виноситься у пиловловлювачі. Тому **винос пилу за визначений проміжок часу характеризує якість шихти і рівність ходу печі.** Великий винос матеріалів може призвести до гарячого ходу, що супроводжується зниженням продуктивності і збільшенням витрати коксу. Винос пилу, випущеного з пиловловлювача, визначають шляхом зважування.

У зв'язку з тим, що пил з пиловловлювачів випускають звичайно один раз на добу, ця ознака не може бути використана при поточному регулюванні. Тому на сьогодні розробляються автоматичні пристрої для безупинного контролю виносу колошникового пилу.

3.3. Приладові ознаки

Ознаки, які відображені у показаннях контрольно-вимірювальних приладів (КВП), умовно називаються **приладовими**.

Розглянуті раніше ознаки здебільшого свідчать про те, що зміни у протіканні доменного процесу вже відбулися, і тому **недостатні для керування доменною піччю**. Аналіз же показань приладів дозволяє встановити зміни до їх появи і вчасно вжити відповідних заходів.

Контрольно-вимірвальна апаратура по своєму призначенню поділяється на наступні групи: яка вказує (1), яка реєструє (2), яка регулює (3) і яка сигналізує (4).

До 1-ої групи відносяться: прилади, що вказують швидкість сходу шихти, лічильники подач та подібні їм вимірники.

Прилади 2-ої групи вимірюють наступні параметри: температуру; тиск; витрату різного виду енергії; рівень засипу; масу коксу; кути повороту обертового розподільника; перепади тисків по висоті шахти печі.

До 3-ої групи відносяться прилади локального автоматичного регулювання: тиску колошникового газу; температури гарячого дуття, вологості дуття й ін.

Група 4 поєднує прилади світлової і звукової сигналізації: падіння тиску чистого газу; відсутність пари у міжконусному просторі; падіння тиску води в системі охолодження печі або на повітронагрівачах; сигналізація зв'язку з повітродувними чи іншими найбільш важливими ділянками виробництва.

Із загального числа контрольно-вимірвальних приладів частина їх є технологічними. Їхніми показаннями керуються при спостереженні за ходом печі і коректуванні її режиму. До них відносяться прилади, що вимірюють наступні параметри доменної плавки:

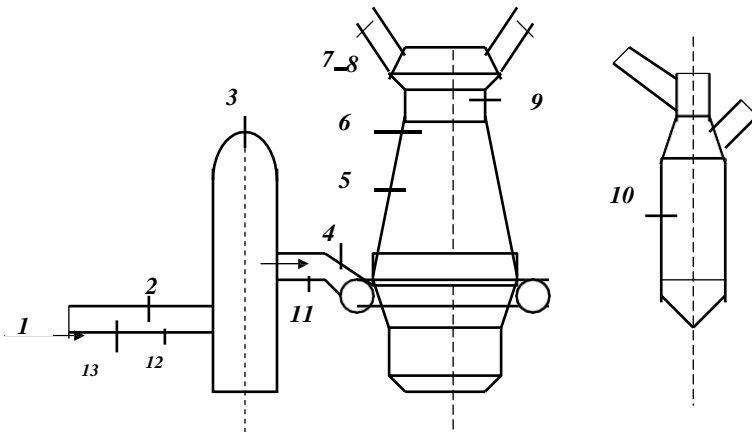
- 1 - тиск гарячого і холодного дуття;
- 2 - кількість (витрата) гарячого і холодного дуття;
- 3 - тиск колошникового газу;
- 4 - температуру колошникового газу при виході його з печі;
- 5 - склад загального колошникового газу;
- 6 - величини загальних і дільничних перепадів статичного тиску по висоті доменної печі;
- 7 - рівень засипу;
- 8 - температуру периферійних газів або кладки печі у верхній частині шахти;
- 9 - температура газу і вміст CO_2 в ньому впродовж радіусу верхньої частині шахти доменної печі;

10 – розподіл кількості дуття і природного газу, що подаються у піч до окремих фурм.

Дані зазначених приладів у свою чергу відображають не тільки кількісні значення параметрів плавки, але і характер їх, стан теплового й газодинамічного режимів та характеристику розподілу шихтових матеріалів.

3.3.1. Розташування та устрій датчиків КВП на доменній печі.

Для більш повного розуміння ролі і механізму зміни тих чи інших показників, необхідно знати розташування датчиків технологічної контрольно-вимірювальної апаратури на доменній печі і принцип їхнього устрою.



Мал. 3.1. Схема розташування датчиків для контролю технологічних параметрів на доменній печі: 1 – холодне дуття; 2 - витрата і тиск холодного дуття; 3 - температура купола повітрянагрівача; 4 – температура і тиск гарячого дуття; 5 – температура по окружності шахти; 6 – температура і аналіз колошникового газу по радіусу; 7 – температура колошникового газу; 8 – тиск колошникового газу; 9 – рівень засипу; 10 – аналіз загального колошникового газу; 11 – датчик вологості дуття; 12 – підведення вологи (пари) у дуття; 13 – датчик температури холодного дуття.

На мал. 3.1 зображена схема доменної печі з розташованими на ній датчиками основних технологічних параметрів, які застосовують для визначення стану ходу і теплового режиму роботи доменної печі. Вторинні (вказівні) прилади встановлені в приміщенні контрольно-вимірювальних приладів, де звичайно знаходиться майстер печі і газівник.

Датчик кількості холодного дуття встановлюється на трубопроводі холодного дуття після повітряно-розвантажувального клапана («Снорт») перед повітрянагрівачами на відстані не менш 10 діаметрів трубопроводу і являє собою діафрагму, перепад статичного тиску на якій визначає кількість холодного дуття. **Тиск холодного дуття** вимірюється перед діафрагмою за допомогою сильфонних манометрів.

Кількість гарячого дуття визначається аналітично – перерахуванням кількості холодного дуття з урахуванням по температурі і тиску гарячого дуття, датчики яких розташовані на прямому відрізку трубопроводу гарячого дуття на відстані 0.5-1.0 м перед кільцевим повітропроводом. **Температура гарячого дуття** вимірюється платино-платинородієвою термопарою, а тиск сильфонним манометром.

Температура холодного дуття вимірюється хромель-копелевою термопарою, а іноді мідним термометром опору. **Термопара встановлюється** у повітропроводі холодного дуття до діафрагми.

Датчики тиску колошникового газу встановлені у вертикальних газовідводах доменної печі і являють собою газодобірні трубки статичного тиску, що з'єднані з поплавковим манометром. Регулюється тиск колошникового газу за допомогою дросельного пристрою, розташованого на газопроводі чистого газу після скрубера.

Температура колошникового газу реєструється хромель-алюмелевими термопарами, встановленими теж у газовідводах на рівні 1.2 - 1.5 м вище колошникової площадки.

Склад загального колошникового газу визначається за допомогою оптико-акустичних газоаналізаторів, хроматографів чи мас-спектрометрів. Газодобірна трубка встановлена у первинному пиловловлювачі.

Величина загального перепаду тиску визначається з різниці тиску гарячого дуття і тиску колошникового газу. **Часткові перепади** (верхній і нижній) **визначаються** з різниці вищезгаданих тисків і тиску, що вимірюється у верхній частині шахти (у сухій зоні) за допомогою похилих добірних трубок.

Рівень засипу вимірюється за допомогою ланцюгових зондів, шомполів, встановлених у купольній частині доменної печі, які вимірюють положення шихти у 2-х або 4-х точках на периферії печі (на відстані 400-500мм від стін) по одному або

двох перпендикулярних діаметрах. *Іноді застосовують радіометричний метод контролю*, заснований на просвічуванні колошникового простору доменної печі радіонуклідами.

Температура кладки верхньої частини шахти (у районі захисних колошникових плит) вимірюється шістьма - дванадцятьма (на одному горизонті по окружності печі) хромель-алюмелевими термопарами, вставленими у спеціальні глухоні стакани.

Розподіл температури або складу газу по радіусах печі під захисними плитами колошника контролюються за допомогою лебідок, що проштовхують горизонтальні зонди через спеціальні отвори крізь шихту й відбирають газ на аналіз чи вимірюють температуру у 5–10 точках радіуса печі. Таких зондів на печі встановлюють два або чотири.

Розподіл гарячого дуття по фурмах визначається не завжди, тому що складно виміряти витрату дуття в умовах дуже високих температур. Однак існують *непрямі методи визначення* цього розподілу, наприклад, на основі контролю перепаду температур води, на вході та на виході з фурм.

Розподіл природного газу по фурмах здійснюється за допомогою метеликових клапанів на газопроводах, а *вимір кількості його по фурмах* - на колекторіза допомогою вимірювальних шайб.

3.3.2. Аналіз показників

Тиск гарячого дуття реєструється у вигляді безперервної кривої на діаграмі приладу. Чисельна величина його залежить: від кількості, температури і вологості дуття; тиску газу на колошнику; газопроникності стовпа шихтових матеріалів та теплового стану печі. Оскільки 4 перших фактори встановлюються на постійному рівні, то *тиск гарячого дуття залежить*, в основному, від зміни *газопроникності шару шихти і теплового стану печі*.

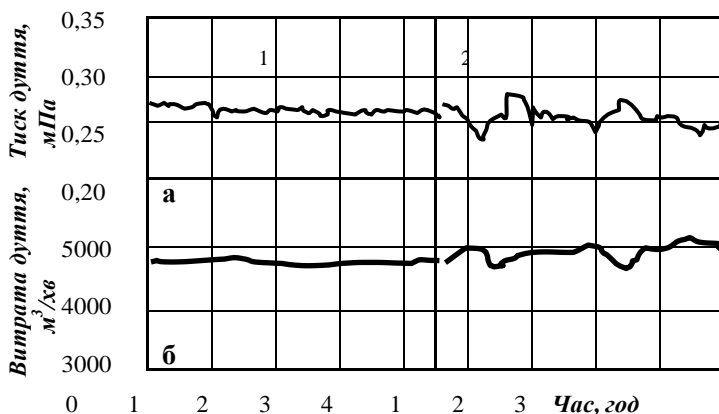
Газопроникність стовпа шихти залежить від гранулометричного складу і міцності залізорудної частини шихти й коксу, розподілу матеріалів на колошнику, величини рудного навантаження, кількості і властивостей шлаку.

Тепловий стан визначає нагрівання печі. Як правило, зі збільшенням нагрівання тиск гарячого дуття зростає, а при зменшенні нагрівання – знижується.

На мал. 3.2а показаний характер зміни тиску гарячого дуття в залежності від рівності ходу печі. При рівному ході лінія тиску гарячого дуття має вид пульсуючої кривої з плавними відхиленнями від середнього значення (1), приблизно 0.02 ат (2 кПа). При порушенні рівності ходу лінія тиску гарячого дуття має вид пилкоподібної кривої з різко вираженою пульсацією, причому відхилення від середнього значення тиску зростають у кілька разів.

Відповідно зміні гарячого дуття змінюється і витрата (кількість) дуття, але в протилежному напрямку (мал. 3.2,(б)). При збільшенні тиску дуття його витрата зменшується і навпаки.

Тиск колошникового газу підтримується автоматично на заданому рівні за допомогою дросельного пристрою. Однак інерційність регулятора така, що він не встигає реагувати на миттєві зміни тиску колошникового газу і вони фіксуються на діаграмі приладу.



Мал. 3.2. Характер зміни тиску (а) та витрати (б) гарячого дуття при рівному (1) і нерівному (2) ході печі

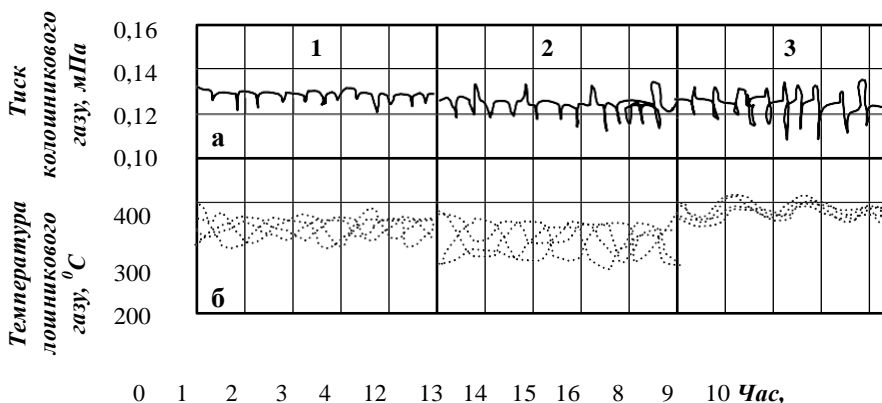
Миттєві зміни тиску колошникового газу виникають при завантаженні матеріалів у доменну піч і при мимовільних обривах шихти та каналному ході газів. **При рівному ході доменної печі** крива тиску колошникового газу має вид рівної лінії шириною 1.5 – 2 мм (рис. 3.3,(а)). Миттєве зниження тиску (нижні піки) спостерігається при опусканні у піч подачі з великого конуса. Відбувається це з 2-х причин: внаслідок заповнення газом з печі міжконусного простору, оскільки тиск

газу в ньому завжди менший, ніж у печі на величину втрат тиску у зрівняльному газопроводі, і внаслідок короткочасного забивання шихтою, що зсипається в піч, каналів, якими рухається газ.

При нерівному ході печі на кривій тиску колошникового газу виникає миттєве підвищення тиску (верхні піки), яке утворюється при обриві шихти. **При каналному ході печі** (сильно розвитий потік газів у якому-небудь місті перетину печі) верхні піки виникають слідом за кожним опусканням подачі: матеріали, що зсипаються, спочатку забивають канал, а потім газ проривається, збільшуючи тиск.

Температура колошникового газу залежить від витрати коксу, вологості шихти, ступеня збагачення дуття киснем, рівня засипу, ступеня використання теплової енергії газу та ін. факторів. При сталих умовах плавки температура колошникового газу більш-менш постійна і має періодичні коливання в залежності від періодичності завантаження шихтових матеріалів. Відразу після опускання подачі холодних матеріалів температура газу знижується за рахунок передачі тепла матеріалам, а потім поступово зростає до моменту завантаження нової подачі.

По характеру розташування смуги точок колошникового газу судять про рівномірність розподілу газового потоку в доменній печі. На мал.3.3,(б) показана діаграма температури колошникового газу, яка характеризує рівномірне завантаження доменної печі і нормальний розподіл газового потоку. Ширина смуги точок (розкид точок) відповідає приблизно 50-70⁰С.



Мал. 3.3. Діаграми тиску (а) та температури (б) колошникового газу при нормальному (1), нерівномірному (2) і каналному (3) русі газу

При нерівномірному розподілі газового потоку по окружності печі смуга точок розширюється до 100-150⁰С, а при сильно розвинутому потоці газів або каналному ході смуга точок стає вузькою (15-25⁰С) і звивистою.

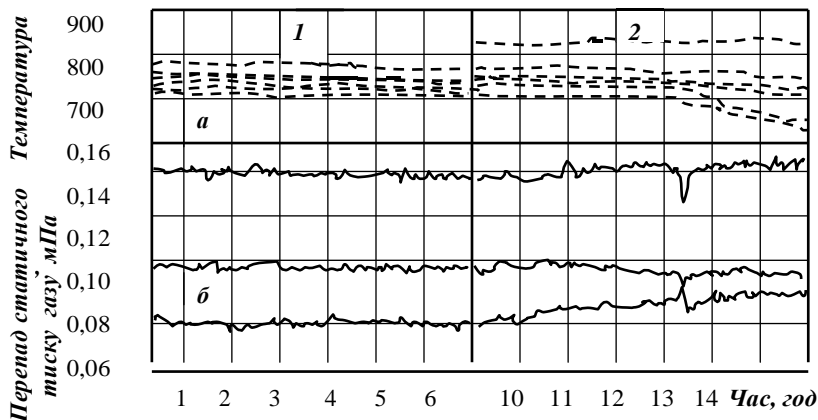
Склад загального колошникового газу і в першу чергу компонентів СО (оксид вуглецю) і СО₂ (двооксид вуглецю), характеризує ступінь використання теплової та хімічної енергії газу і хід відновлювального процесу. Чим більше в колошниковому газі СО₂ і менше СО (при незмінних параметрах плавки), тим краще використовується енергія газового потоку, тим економічніше працює піч. Вміст двоокису вуглецю у колошниковому газі доменних печей, які працюють з низькою витратою коксу, досягає 19-21%, а на печах з високою витратою тільки 13-15%. Таким чином, ***зміни у ході відновлювальних процесів, а отже й у тепловому стані печі, виявляють по зміні складу колошникового газу.*** Тому, що двоокис вуглецю є продуктом непрямого відновлення, а оксид вуглецю – прямого, отже всяке збільшення вмісту у газі СО₂ і відповідне йому зменшення вмісту СО сигналізує про збільшення непрямого відновлення, розвиток якого призведе до розігріву печі, якщо вчасно не вжити заходів впливу. Коливання суми СО+СО₂ в газі свідчить про зміну прямого відновлення в печі, що враховується при управлінні тепловим станом печі.

Величина загальних і часткових перепадів тиску (між горном і колошником) ***характеризує*** опір усього стовпа шихти проходу газів. Часткові перепади (верхній і нижній) у сумі завжди рівні загальному перепаду і характеризують опір проходу газів у верхній і нижній частинах печі, дозволяючи судити про те, на якій ділянці печі виявляється максимальний опір проходу газів.

Газопроникність шихти у верхній частині печі, а отже, і величина верхнього перепаду, залежать в основному від гранулометричного складу шихти і її розподілу по перетину печі. ***Газопроникність нижньої частини*** (і величина нижнього перепаду) залежать від теплового стану низу печі, якості коксу і властивостей шлаку.

Характер зміни перепадів тиску, які фіксуються на діаграмі приладу, дозволяє знайти відхилення від нормального сходу шихтових матеріалів на самому початку їх виникнення. На мал. 3.46 показано спільну діаграму перепадів статичного тиску

по висоті печі. *Рівному ходу відповідає рівномірна зміна як загального, так і часткових перепадів.* Короткочасні піки на кривих виникають при опусканнях подач. При змінах газопроникності шихти відбувається відповідна зміна загального перепаду, а часткові перепади вказують зону, де відбулася зміна газопроникності.



Мал. 3.4. Спільна діаграма температури кладки шахти (а) та перепадів статичного тиску газу (б) при рівному (1) і нерівному (2) ході доменної печі

Інформація про рівень температур кладки шахти дозволяє також судити про завантаженість периферії і використання енергії газового потоку. Висока температура ($800-900^{\circ}\text{C}$) вказує на недостатнє завантаження периферії залізородними матеріалами шихти і на погане використання газу. Низька температура ($500-600^{\circ}\text{C}$) говорить про надмірну завантаженість периферії.

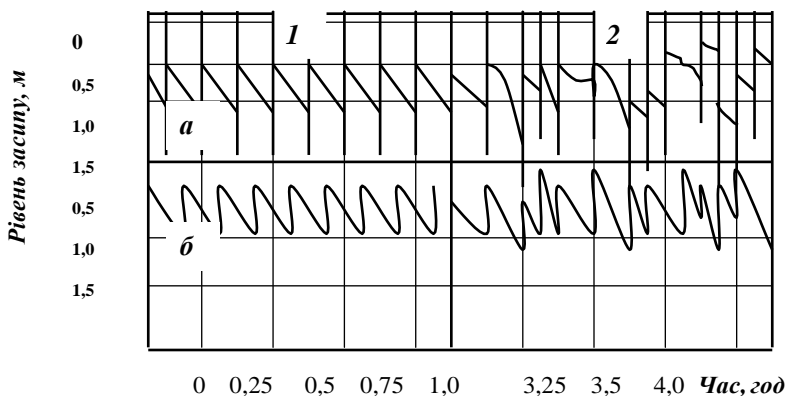
Показання термопар кладки поблизу колошника (під захисними плитами) піддані сильному впливу рельєфу поверхні матеріалів по окружності колошника. Чим ближче відстань від термопар до поверхні матеріалів, тим нижча температура, яку вона фіксує, за інших рівних умов. Тому *при оцінці розподілу газового потоку по окружності печі показання термопар необхідно погоджувати з рівнем матеріалів над кожною з термопар або іншими ознаками, які характеризують розподіл газового потоку.*

Рівень засипу матеріалів у доменних печах контролюють за допомогою зондових або радіометричних рівнемірів, фіксуючи зміну поверхні стовпа

шихтових матеріалів на діаграмах приладів.

При рівному ході печі (мал. 3.5,(1)) на діаграмі мають місце плавні похилі криві; відстані між суміжними вертикальними лініями, які відповідають опусканню подач, постійні; встановлений рівень засипу чітко дотримується. **При порушенні плавності сходу шихти** сувора послідовність розташування ліній на діаграмі зникає.

Уповільнений схід шихти характеризується положистою кривою і збільшеною відстанню між суміжними вертикальними лініями. **При швидкому сході шихти** похила крива стає крутою, а відстань між суміжними вертикальними лініями зменшується. **При підвисанні чи затримці руху шихти** на діаграмі має горизонтальну лінію, а при обриві шихти – вертикальну пряму. **Нерівний хід печі з затримками в русі й обривами шихти характеризується** різким коливанням рівня засипу, що показано на мал. 3.5,(2).



Мал. 3.5. Діаграма рівня засипу шихти при вимірі зондовим (а) та радіометричним (б) рівнемірами; 1 – нормальний схід шихти, 2 – схід з підстоями і обривами

Розподіл температури і вмісту двооксиду вуглецю у радіальному газі під рівнем засипу характеризує ступінь рівномірності взаємного розподілу шихти та газового потоку по перетину доменної печі. Еталоном газорозподілу при рівному ході печі служить діаграма розподілу CO_2 у газі впродовж радіуса верхньої частини шахти: на периферії повинно бути 17-19% CO_2 , максимум кривої повинен відстояти від периферії на $1/3$ радіуса і мати 20-22% CO_2 ; у центрі печі повинно

бути 4-8% CO₂.

Дані про радіальний розподіл газу використовуються для поточного регулювання ходу доменної печі шляхом зміни системи завантаження, що впливає на ступінь використання газу і газопроникність стовпа шихти.

Інформація про розподіл дуття і природного газу по фурмах також дозволяє судити про рівність ходу печі. Кількість дуття та природного газу, що надходять на окремі фурми, розподіляються зворотно пропорційно опорам шихтових матеріалів і продуктів плавки над вогнищами горіння. *При рівному ході і рівномірному розподілі матеріалів по окружності печі* опір проходу горнового газу із зон горіння над усіма фурмами приблизно однаковий. Дуття і природний газ розподіляються по фурмах рівномірно. *При нерівному ході* - газопроникність і опір проходу горнового газу в зонах над окремими фурмами стають різними, у результаті чого відбувається перерозподіл кількостей дуття і природного газу по фурмах.

Розподіл матеріалів по окружності печі вважається нормальним, якщо витрати дуття і природного газу на окремі фурми відрізняються не більше, ніж на 5-10%.

Контрольні питання

1. Назвіть ознаки за якими судять про якість ходу доменної печі.
2. Перерахуйте ознаки якості ходу доменної печі, що відносяться до візуальних.
3. Які компоненти складу чавуну свідчать про тепловий стан доменної печі?
4. Перерахуйте ознаки, за якими визначають вміст кремнію в чавуні під час випуску останнього з печі.
5. Які ознаки відповідають низькому (високому) вмісту кремнію в чавуні?
6. Чим пояснюється виділення бурого диму під час випуску чавуну?
7. Назвіть причину виділення графіту («спелі») з чавуну на випуску.
8. Як визначається візуально кількість сірки в чавуні по його вигляду на випуску?
9. Яке явище на випуску чавуну свідчить про вміст в ньому марганцю?
10. Яка структура зламу проби холодного чавуну?
11. Що є ознакою гарячого (холодного) шлаку на його випуску?
12. Про який тепловий стан печі свідчить світлий кам'янистий (темний склоподібний) вид зламу холодної проби шлаку?
13. Що таке половинчастий шлак?
14. Назвіть причину розпаду в порошок холодної проби основного шлаку.
15. Який тепловий стан характеризує яскраве (тьмане) свічення фурм?
16. Про що сигналізує поява шлаку або тістоподібних мас на фурмах? ходу печі?

17. Які параметри доменної плавки відносяться до аналітичних ознак якості
18. Які компоненти при аналізі рідких продуктів плавки свідчать про тепловий стан доменної печі?
19. Назвіть причину підвищення основності шлаку при розігріванні доменної печі.
20. Про що свідчить підвищений вміст закису заліза в кінцевому шлаку?
21. Чи існує залежність між фізичним нагрівом чавуну і тепловим станом доменної печі?
22. Приведіть формулу зв'язку температури чавуну і вмісту кремнію в ньому.
23. Яким показником визначається швидкість сходу шихти?
24. Назвіть основну причину збільшення швидкості сходу (руху) подач.
25. Який вид руху шихти характеризує нерівний хід печі?
26. Поясніть залежність виносу колошникового пилу від якості шихтових матеріалів.
27. Як впливає величина винесення пилу на якість ходу доменної печі?
28. Скільки разів на добу випускають пил з первинного пиловловлювача доменної печі?
29. Перерахуйте групи, на які діляться контрольно-вимірювальні прилади (КВП) доменної печі за своїм призначенням.
30. Назвіть КВП, що реєструють параметри технологічного процесу доменної плавки.
31. Які характеристики ходу печі відображають технологічні контрольно-вимірювальні прилади?

4. Керування ходом доменної печі

Для успішного ведення доменної печі необхідно вчасно знайти виникаючі відхилення від нормального ходу, правильно оцінити і грамотно впливати на хід печі. *Способи впливу наведені нижче у порядку найбільш частого їх використання:*

- зміна рудного навантаження;
- зміна режиму завантаження шихтових матеріалів;
- зміна температури і вологості дуття;
- завантаження у піч холостих подач;
- штучні осадки шихти;
- зміна кількості і складу шлаку;
- зміна кількості дуття і природного газу по фурмах;
- зміна довжини і діаметра фурм.

4.1. Керування способами впливу на хід доменної печі

Електроустаткування системи завантаження і пости керування доменною піччю розміщені в таких місцях.

Лебідки головного підйомника, конусів, зондів і зрівняльних клапанів встановлені у машинному приміщенні доменної печі. Машинний зал знаходиться під похилим мостом між доменною піччю і бункерною естакадою, як показано на рис. 4.1(4).

У тому ж приміщенні розміщені також *пост А*, панелі керування змашенням і групові пункти живлення – освітлення та силових споживачів перемінного і постійного току. Пост А служить для ручного керування головним підйомником (скіповий підйомник) при його відлагодженні та настройці після монтажу і ремонтів.

Контактні панелі, станції керування і вагорегулюючі опори знаходяться також у машинному приміщенні за скляною перегородкою (рис. 4.1(6)), який називають *контакторним залом*.

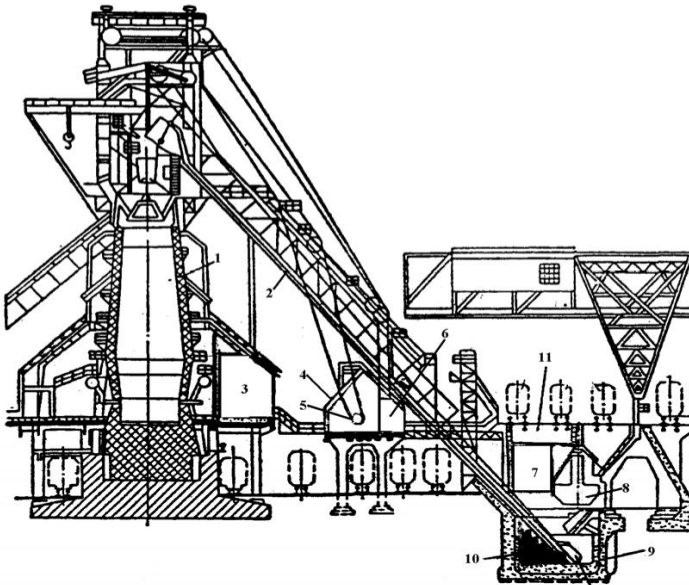
Площадка керування над скіповою ямою – пост Б, розташована між двома головними коксовими бункерами на рівні площадки шихтоподачі (вагон-вагів) (мал. 4.1(7)). На посту Б передбачене ручне керування головним підйомником, грохотами і затворами коксових ваг.

Пост В знаходиться у приміщенні підйомника коксового дріб'язку і призначений для налагоджувального та ручного керування цим приводом.

Пост Г розташований у пункті керування піччю (мал. 4.1(3)) і підпорядкований майстру доменної печі. На посту Г встановлені апарати для ручного керування, пов'язаного зі зміною програми системи завантаження: наприклад, замовлення позапрограмих скіпів з коксом або рудою; заборони опускання великого конуса; подачі сигналу «осадка» доменної печі й ін. В цьому приміщенні знаходиться система централізованого контролю всієї інформації, що надходить з датчиків, встановлених на доменній печі та її обладнанні яка використовується при керуванні роботою доменної печі. Сучасні доменні печі оснащені комп'ютерними системами контролю та обробки інформації.

Для сигналізації положення механізмів системи завантаження передбачений *сигнальний світлофор*, що представляє собою світлове табло, автоматично зв'язане із системою завантаження. Таке ж табло встановлено і на посту Б.

Зміна рудного навантаження проводиться шляхом зміни маси подачі на коксових вагах, розташованих на посту Б. Змінює кількість коксу машиніст вагон-вагів або шихтоподачі за вказівкою майстра печі або безпосередньо сам майстер печі.



Мал. 4.1. Схема розташування приміщень, у яких знаходяться механізми та апарати керування роботою доменної печі: 1 – доменна піч; 2 – похилий міст; 3 – пірометричне приміщення (пост Г); 4 – машинний зал; 5 – скіпова лебідка (пост А); 6 – контакторне приміщення (станції керування – панелі з апаратурою); 7 – площадка керування біля скіпової ями (пост Б); 8 – вагон-ваги; 9 – скіпова яма; 10 – керування підйомником коксового дріб'язку (пост В); 11 – бункерна естакада

Режим завантаження шихтових матеріалів здійснюється шляхом переналаштування системи автоматики завантаження печі, розташованої у приміщенні машинного залу майстром печі або черговим електриком за вимогою майстра.

Зміну кількості дуття робить майстер або газівник печі по телефону прямого зв'язку, що зв'язує пірометричне приміщення доменної печі з начальником зміни повітродувки. Начальник зміни, шляхом відкриття чи закриття байпасів, встановлює необхідну кількість дуття за вказівкою майстра. Крім того, для зменшення кількості дуття майстер (газівник) може скористатися повітряно-розвантажувальним клапаном (клапаном «снорт»), керуючи ним безпосередньо з пірометричного приміщення.

Інші параметри дуття: температуру, його вологість і кількість природного газу змінюють на пультах керування в пірометричному приміщенні.

Зміна шихтових умов (перешихтовка) виконується машиністом шихтоподачі (вагон-вагів) на посту **Б** за наказом майстра безпосередньо або телефоном.

4.2. Аналіз способів впливу на роботу доменної печі

Розглянемо вплив на хід доменної печі перерахованих вище способів.

Рудним навантаженням називається *відношення кількості залізорудних матеріалів, які плавляться у доменній печі, без врахування виносу пилу, до кількості коксу*. Її визначають діленням маси залізорудних матеріалів (за винятком виносу колошникового пилу) на масу коксу в подачі.

При виплавці переробного чавуну, із застосуванням природного газу, цілком офлюсованого агломерату і високо нагрітого дуття, рудне навантаження коливається у межах 3,5-4,5 одиниці. **Величина рудного навантаження залежить від наступних факторів:**

- вмісту заліза у залізовмісних матеріалах та їх фізичних і фізико-хімічних властивостей;
- ступеня офлюсування агломерату або обкотишів;
- розподілу газового потоку;
- якості палива;
- ступеня нагрівання дуття і його складу;
- виду чавуну, який виплавляється, та ін.

Величину рудного навантаження змінюють з появою ознак зміни теплового стану печі або при зміні умов плавки (зміна якості шихти і параметрів технологічного режиму).

При збільшенні вмісту заліза в шихті рудне навантаження знижують (збільшують масу коксу в подачу), оскільки збільшуються витрати тепла на відновлення оксидів заліза. Однак витрати коксу на одиницю чавуну (питома витрата коксу) у цьому випадку суттєво зменшується, тому що росте добова продуктивність (при однаковій кількості подач збільшується кількість чавуну).

При зменшенні вмісту заліза і збільшенні вмісту порожньої породи рудне

навантаження збільшують, тому що при цьому витрата теплоти на відновлення оксидів заліза зменшується в більшій мірі, ніж додаткова витрата тепла на плавлення порожньої породи.

Збільшення основності агломерату вимагає збільшення рудного навантаження (зменшення кількості коксу в подачу) як внаслідок зменшення вмісту заліза, так і внаслідок зменшення витрат теплоти на розкладання сирого вапняку.

При підвищенні вмісту сірки і золи у коксі рудне навантаження зменшують, тому що зменшується вміст вуглецю у коксі й зростає витрата теплоти на ошлакування додаткової кількості золи і на перехід сірки у шлак.

Зниження міцності шихтових матеріалів вимагає зниження рудного навантаження, тому що погіршується розподіл газового потоку і використання його енергії. При цьому знижується ступінь непрямого відновлення і збільшується - прямого, на яке потрібно додатково витрачати теплоту. Коректування рудного навантаження в цьому випадку роблять відповідно до зміни складу колошникового газу.

Змінюють рудне навантаження або зменшенням маси залізрудних матеріалів, або, що найчастіше, зміною маси коксу в подачу. У поточному регулюванні теплового стану печі величина корекції в подачі складає 300-500 кг залізрудного матеріалу і 100-200 кг коксу.

Завантаження шихтових матеріалів. Розподіл шихтових матеріалів по поперечному перерізу колошника впливає на використання газового потоку – тепловий стан (економічність доменної плавки) і газопроникність стовпа шихти – хід печі(продуктивність).

Регулювання ходу печі зміною режиму завантаження **зводиться до зміни наступних факторів впливу:**

- порядку завантаження матеріалів;
- величини рівня засипу;
- маси подачі;
- програми роботи обертового розподільника;
- режиму роботи лотка (БЗУ) або ротора (РЗП).

Зміна режиму завантаження робиться з появою ознак неправильного

розподілу газового потоку по радіусу доменної печі, яка контролюється розподілом CO_2 або температури по радіусу колошника, чи погіршенням газопроникності шихти.

При надмірно розвитку периферійному потоці газів застосовують прямий (нормальний) порядок скіпів, збільшений рівень засипу і зменшену масу подачі. **При осьовому газовому потоці** – навпаки.

При порушенні окружного газорозподілу користуються зміною програми обертowego розподільника з метою завантаження у будь-який сектор колошника збільшеної кількості рудних матеріалів або коксу.

Зменшення газопроникності шихти спричиняє застосування проміжного порядку завантаження і малої подачі. Збільшення газопроникності шихти (поліпшення її якості) вимагає збільшення маси подачі з метою поліпшення використання газового потоку.

Температура і вологість дуття. Тепло нагрітого дуття відіграє велику роль у тепловому балансі плавки, складаючи 17–20% у приході тепла. Сучасні доменні печі мають температуру дуття 1100-1200⁰С, що обмежується потужністю і стійкістю повітрянагрівальних пристроїв та пристроїв, які підводять повітря.

Температура дуття у кожному конкретному випадку **визначається наступними факторами:**

- потребою тепла нижньої зони печі;
- газопроникністю шихти;
- кількістю дуття;
- розподілом газового потоку.

При надмірному розігріві печі температуру дуття зменшують, зменшуючи відповідно рудне навантаження, однак при похолоданні печі збільшення температури дуття в більшості випадків неможливе або через порушення рівності ходу, або внаслідок недостатньої потужності повітрянагрівачів.

При роботі доменної печі на зволоженому дутті тепловий режим в більшості випадків регулюють зміною вологості дуття. **Зміна вологості дуття**, за своєю дією на тепловий стан печі, протилежна дії температури дуття.

При перших ознаках похолодання печі зменшують вологість дуття, скорочуючи витрати тепла на розкладання пари. При підвищенні нагрівання печі

понад нормальне, вміст вологи у дутті збільшують - надлишкове тепло у горні витрачається на розкладання вологи, а кисень і водень, що утворюються з вологи, інтенсифікують процес плавки.

Кількість дуття. Кількість дуття дуже впливає на хід доменної печі і за абсолютною величиною дорівнює приблизно $1.5 - 2.0 \text{ м}^3/\text{хв}$ на 1 м^3 корисного об'єму доменної печі. **Витратою дуття визначаються наступні важливі параметри роботи печі:**

- кількість коксу, що спалюється у горні, та газів, які утворюються;
- розміри вогнищ горіння та температура газів на виході з них;
- швидкість опускання шихтових матеріалів та їх розподіл по перетину печі;
- розподіл температури та газового потоку по висоті і перетину печі.

Кількістю дуття визначається найважливіший показник роботи доменної печі – **продуктивність**, тому воно повинно бути доведене до максимально можливої величини, що забезпечує високу швидкість руху і мінімальний час перебування шихти у доменній печі без порушення рівного ходу. Максимальна ж кількість дуття обмежується газодинамічними факторами, з яких визначальне значення має газопроникність шихтових матеріалів. Регулювання ходу печі зміною кількості дуття застосовується лише тоді, коли інші способи не дають бажаних результатів.

При похолоданні печі, при різкому порушенні плавності сходу шихти аж до її зупинки кількість дуття зменшують на 5 –15% у залежності від обставин. **Збільшують кількість дуття після усунення розладу ходу печі** невеликими порціями по $50 - 100 \text{ м}^3$ на один прийом впродовж 1 –1.5 годин.

Завантаження у піч **холостих подач**. **Холостою називається подача, що містить тільки кокс.** Маса коксу холостої подачі дорівнює масі коксу нормальної подачі. **Холості подачі завантажують для розпушування стовпа шихти з метою виправлення розподілу газового потоку.** Якщо холості подачі завантажують для виправлення розподілу газового потоку при нормальному нагріванні печі, то рудну частину холостих подач компенсують у наступних подачах, які можуть бути без коксу.

Для розігріву печі холості подачі застосовують або при значному похолоданні, або при дуже нерівному ході для попередження сильного похолодання.

Штучні осадки шихти. Їх виконують шляхом різкого зниження тиску дуття за допомогою відкриття повітряно-розвантажувального клапана (клапан «снорт»). У результаті зменшення протитиску газів шихта під впливом сили тяжіння осідає у печі. Цей спосіб застосовується для усунення підвисання матеріалів або інтенсивного розвитку газового потоку в якій-небудь одній ділянці перетину печі. Після осідання печі колишню кількість дуття відновлюють поступово, щоб не допустити повторного підвисання.

Кількість та склад шлаку. Зміна кількості та складу шлаку виконується шляхом добавки у шихту або видалення з неї необхідних матеріалів. **Питома кількість шлаку і його хімічний склад визначаються:**

- хімічним складом вихідних шихтових матеріалів;
- видом чавуну, який виплавляється.

Для незмінних умов плавки ці показники повинні зберігатися постійними. Однак для усунення захаращення горна неплавкими масами чи коксовим сміттям та при утворенні на стінах заплечиків, розпару, нижньої частини шахти товстого шару гарнісажу або настилів, вдаються до тимчасової зміни складу або кількості шлаку.

Для приведення горна в нормальний стан наводять в печі шлаки з пониженою в'язкістю та збільшеним вмістом кисню заліза та марганцю. Для цього в шихту тимчасово дають певну кількість зварювального шлаку чи марганцевої руди. Іноді тимчасово переходять на виплавку іншого виду чавуну. **Ця операція називається «промиванням» горна.**

Для усунення надмірного заростання стін заплечиків, розпару та нижньої частини шахти гарнісажем переходять на більш кислі шлаки. При цьому змінюють режим завантаження матеріалів так, щоб забезпечити деяке посилення периферійного потоку газів для більш високої температури біля стін печі.

Розподіл дуття і природного газу по фурмах. Розподіл дуття і природного газу по фурмах повинен бути рівномірним по кількості та співвідношенню «дуття – газ». **Порушення рівномірності викликається порушенням розподілу шихтових матеріалів по окружності печі.**

При зменшенні (збільшенні) витрати повітря на одній чи групі фурм автоматично зменшується (збільшується) кількість природного газу на них до однакового співвідношення, що дозволяє поліпшити використання природного газу

в печі і підвищити коефіцієнт заміни коксу природним газом.

Довжина і діаметр фурм. Ці розміри фурм є технологічними факторами впливу на хід доменної печі.

При недостатній газопроникності осьової зони печі, при надмірно розвинутому периферійному ході газів або при сильному розпалі кладки печі збільшують довжину фурм («висув») чи зменшують їх діаметр.

Розмір фурм змінюють тільки в тих випадках, коли не вдається досягти бажаних змін іншими заходами.

Контрольні питання

1. Чим характеризується сповільнений і прискорений схід шихти на діаграмі рівня засипу?
2. Про який хід доменної печі свідчать різкі коливання рівня засипу?
3. Яка величина температури периферійних газів при нормальній роботі доменної печі?
4. Про що свідчить висока і низька температура периферійних газів (кладки печі)?
5. Як відбивається на температурі периферійних газів порушення рівномірного розподілу газів по колу печі?
6. Що характеризує розподіл температури і складу доменного газу по радіусу?
7. Для яких цілей використовуються дані про радіальний розподіл параметрів доменного газу?
8. Про що свідчить інформація про розподіл дуття і природного газу по фурмам?
9. Назвіть величину коливання витрати дуття і природного газу по фурмам при нормальному ході печі.

4.3. Керування роботою доменної печі із застосуванням

методів оптимізації

Відомо, що доменний процес це сукупність фізичних, хімічних і фізико-хімічних процесів, що протікають в печі у взаємозв'язку один з одним. Взаємовплив і одночасність протікання цих процесів ускладнюють аналіз плавки, ускладнюють прогнозування і керування доменним процесом.

Таким чином, майстер, який керує доменним процесом, повинен в умовах великої кількості інформації контролювати й аналізувати показання десятків приладів, вчасно розпізнавати поточні технологічні ситуації й у підсумку виробляти і реалізовувати раціональні регулюючі впливи. Якісно виконувати ці

функції не завжди можливо, оскільки до об'єктивних ускладнень домішуються і суб'єктивні, залежні від характеру та рівня підготовки майстра, його спостережливості і реакції.

Більш реально в такому випадку застосовувати відомі методи оптимізації, які гарантують при веденні печі досягнення найкращих результатів у найбільш скорочений термін. Це зменшить час роботи доменної печі у несприятливих умовах і позитивно позначиться на економічності процесу та якості чавуну.

На сьогодні існує досить велика кількість методів оптимізації технологічних процесів, які з успіхом можна застосовувати для ведення доменної печі. Існують **експериментальні** (крокові) методи, коли немає однозначного зв'язку регулюючих факторів з кінцевими параметрами процесу, і **теоретичні**, коли є математична модель процесу. У нашому випадку більш придатними методами можуть бути експериментальні, хоча не виключається можливість застосування і теоретичних методів на базі створених стохастичних моделей.

За способом реалізації спробних впливів методи пошуку екстремуму поділяються на **детерміновані і випадкові**. При детермінованому пошуку критерія оптимізації спробні рухи здійснюються за визначеним алгоритмом, а напрямки і знаки збільшень залежать від попереднього руху. До детермінованих відносяться наступні методи пошуку оптимуму: **градієнта, найшвидшого спуску, Гаусса-Зейделя, послідовного симплексного (ПСМ) з різновидами** й ін. У випадкових стратегіях пошуку напрямку збільшень керуючих впливів задаються випадковим чином, причому всі напрямки рівно ймовірні, а рух до екстремуму робиться в тому випадку, коли результат призводить до поліпшення параметра оптимізації. До випадкових методів відносяться: **випадковий перебір усіх можливих значень** (чисто випадковий пошук), **гомеостатичний** (що сам організується), **статистичний градієнт** та ін.

В даний час майстри ведуть піч чисто випадковим методом, ефективність якого невелика. Найбільш прийнятний метод, як показала практика, це застосування **послідовного симплексного методу**.

Пошук оптимуму за допомогою ПСМ має переваги у порівнянні з іншими методами: мінімум випробувань, проста формула розрахунку координат наступних експериментів, гнучкість руху (можливість руху по складних поверхнях факторного простору), можливість зміни величини кроку в процесі пошуку (методи Нелдера-Міда, Умеда-Ічікава й ін.), а останній оптимальний симплекс можна

використовувати для математичного опису області оптимуму (симплексно-підсумовуючий план).

Суть пошуку за допомогою ПСМ зводиться до того, що первісний план задається у виді симплекса – найпростішою правильною фігурою у факторному просторі. Плани стандартні, кодовані, придатні для будь-яких процесів наведені в спеціальній літературі [7]. *Кодування факторів робиться за формулою*

$$x_j = (H_j - H_0) / I_j \quad (4.1)$$

де x_j – кодоване значення j -го фактора, H_j , H_0 – натуральне значення фактора на якому-небудь і нульовому рівні відповідно, I_j – інтервал варіювання фактора в натуральному вигляді.

Реалізується початковий план, що складається з $k + 1$ випробування (k – кількість факторів), шукають гіршу точку $x_{ji,x}$ з усіх випробувань реалізованого плану і розраховуються координати наступного кроку (випробування) за формулою

$$x_{ji,n+1} = (2/k)((\sum x_{ji}) - x_{ji,x}), \quad (4.2)$$

⁺¹

де $x_{ji,n+1}$ – значення j -го фактора в новому i -тому випробуванні;

ⁿ⁺¹

$\sum x_{ji}$ – сума колишніх значень факторів;

$x_{ji,x}$ – значення j -го фактора в гіршому (по параметру оптимізації) випробуванні.

За новими значеннями факторів робиться випробування і процедура повторюється до досягнення оптимуму.

У процесі ведення доменної печі може відбуватися коливання симплекса (повернення у стару точку). У цьому випадку необхідно відмічати не найгіршу, а гіршу точку.

Далі симплекс починає обертатися навколо оптимальної точки (зациклення), поки спонтанно не зміняться фактори і параметри оптимізації. У цьому випадку симплекс починає знову рухатися у бік дрейфуючого (який рухається спонтанно) оптимуму.

Приклад. На доменній печі №8 «Криворіжсталі», у зв'язку з шихтовими умовами, які спонтанно змінюються, були проведені експериментальні плавки по програмі ПСМ з метою визначення оптимальних параметрів завантаження. Тривалість періодів складала від 3-х до 8 годин. Для визначення початкового кроку використовували стандартний план і на основі його склали статистичну матрицю з

5-и кроків. Ефективність зазначених у вихідній матриці параметрів завантаження оцінювалася за наступними параметрами: показником газопроникності; ступенем використання газового потоку; продуктивністю і витратою коксу. Величину кроку варіювання вибирали, виходячи з можливостей оперативного керування параметрами завантаження.

Були досягнуті досить хороші наслідки в керуванні ходом доменної печі.

4.4. Вибір і оптимізація режимів роботи доменних печей

Доменний процес – сукупність процесів, що протікають у працюючій доменній печі. В об'ємі доменної печі *до них відносяться*: процеси відновлення оксидів; розкладання солей і гідратів; окислювання палива й інших складових шихти; теплообмін; рух твердих, рідких і газоподібних компонентів доменної плавки й ін. Для найбільш економічного протікання доменного процесу, у цілому, необхідно створювати оптимальні умови для розвитку і протікання кожного з його складових.

Увесь доменний процес поки що неможливо оптимізувати через його складність. Звичайно йдуть по шляху виділених умовно автономних процесів, що визначають той чи інший режим: завантаження, дуттьовий, шлаковий та ін.

Порядок оптимізації наступний:

- визначають коло факторів і параметрів оптимізації даного режиму;
- формалізують їх з метою використання в регресійному аналізі;
- вибирають масив даних і технологічно відсівають його;
- одержують математичні моделі (як правило, стохастичні) впливу факторів на параметри процесу;
- оцінюють надійність та тісноту зв'язку отриманих моделей;
- вибирають метод і виконують процедуру оптимізації;
- перевіряють оптимальні значення факторів на доменній печі;
- оцінюють ефективність.

Оптимізація режиму завантаження шихти в доменній печі. Розподіл шихти на колошнику доменної печі виконується за допомогою завантажувальних пристроїв. Оптимізація завантаження конусними завантажувальними пристроями виконувалася на доменних печах «Криворіжсталі», «Запоріжсталі» і заводу ім. Петровського. Робота доменних печей на оптимальних параметрах завантаження показала зниження витрати коксу на 3-5% і підвищення продуктивності на 5-7%.

Близькі результати були отримані і на доменних печах, обладнаних безконусними завантажувальними пристроями [7].

Таким чином, *вибір оптимальних систем завантаження може знизити витрату коксу до 3%*, що приблизно дорівнює $15 \text{ кг коксу або } 15 \cdot 0,85 \cdot 33,356 = 425 \text{ МДж/т чавуну}$ ($0,85$ – частка вуглецю в коксі, д. од.; $33,356$ – теплотворна спроможність 1 кг вуглецю , МДж/кг).

Оптимізація дуттьового режиму доменної плавки. Дуттьовий режим складається з кількості дуття, паливних і окисних добавок, температури і тиску дуття. Ці фактори впливають на параметри зон горіння, розподіл газу по перетину печі, а також на їх відновлювальну роботу. Тому *вибір оптимального співвідношення дуттьових факторів дозволить значно поліпити техніко-економічні показники доменної плавки.*

Визначення оптимальних параметрів дуттьового режиму виконувалося на доменних печах «Запоріжсталі» і заводу ім. Петровського [7]. Комплексним фактором було обрано кінетичну енергію дуття, оскільки у формулу останньої входять усі параметри дуття. Параметрами оптимізації служили газопроникність, розрахована на основі перепаду тисків, та використання енергії газового потоку. Отримані регресійні рівняння за даними дворічної роботи печей оптимізувалися з використанням методів Лагранжа і суперпозиції, що дозволило визначити оптимальні співвідношення дуттьових факторів. Випробування рекомендацій на доменних печах виявило зниження витрати коксу на 4-5% та підвищення продуктивності на 3-4%.

Оптимізація шлакового режиму доменної печі виконувалася на доменних печах «Криворіжсталі» та заводу ім. Петровського [7, 12, 14].

Шлаковий режим оптимізували в наступних напрямках: вибір хімічного складу кінцевого шлаку в різних шихтових умовах; прогнозування й оптимізація нагромадження і випуску рідких продуктів плавки; оптимізація параметрів промивання горна.

Впровадження оптимальних рекомендацій показало досить високу ефективність методики, у результаті якої отримано зниження витрати коксу на 5 - 10% та підвищення продуктивності на 3 -7%.

5. Розлади ходу доменних печей, їх попередження та усунення

Розлади ходу доменної печі виникають внаслідок зміни умов роботи доменної печі з якихось причин і несвоєчасного вживання заходів, які запобігають відхиленню від нормального режиму плавки.

До основних розладів ходу доменної печі відносяться наступні види: периферійний, центральний, канальний, тугий, холодний, гарячий, перекіс поверхні засипу, підвисання шихти, захаращення горна й утворення настилів.

Ознаки, по яких визначають вид розладу, умовно можна поділити на *характерні* для даного виду розладу і *загальні* - однакові для більшості розладів.

5.1. Периферійний хід

Визначення. Периферійний хід доменної печі являє собою інтенсивний рух газового потоку у вузькому кільці біля стін печі.

Причини. Причиною інтенсивного розвитку потоку газів у периферійній зоні є порушення розподілу шихтових матеріалів при завантаженні їх у піч. Це може відбутися в результаті зміни гранулометричного складу залізорудної частини шихти, неправильної роботи рівнемірів, тривалого завантаження доменної печі з великою неповнотою або з великим перевищенням рівня засипу.

Наслідки. Робота доменної печі з надмірно розвинутим периферійним газовим потоком призводить до погіршення використання теплової і хімічної енергії газу, у результаті чого зростає питома витрата коксу, захаращується осьова зона печі, знижується нагрівання горна, погіршується якість чавуну. Тривала робота печі в такому режимі призводить до передчасного зносу футерівки, продувам кожуха і до масового горіння фурм у результаті сповзання гарнісажу.

Ознаки (діагностика). Периферійний хід характеризується наступними показниками.

Характерні ознаки:

- вміст CO_2 у периферійному газі знижується на 3-5%;
- температура кладки шахти і колошникового газу зростає;
- ширина поля точок температури газу в газовідводах збільшується.

Загальні ознаки:

- тиск дуття трохи зменшується при незмінній його кількості;
- тиск колошникового газу періодично різко зростає з утворенням верхніх піків;
- схід шихти за показанням рівнемірів стає нерівним.

Заходи впливу. Для зменшення розвитку периферійного потоку газів застосовують наступні заходи:

- змінюють порядок завантаження матеріалів так, щоб до стін печі подати більшу кількість залізорудного матеріалу;
- змінюють рівень засипу так, щоб наблизити траєкторію матеріалів, що зсипаються, до стінок печі;
- зменшують масу подачі, зберігаючи незмінним рудне навантаження.

При заха́ращенні осьової зони печі іноді завантажують у піч 5-6 скіпів коксу у виді однієї холостої подачі. Залізорудний матеріал з цих подач потім в залежності від нагрівання печі та рівності ходу, подається з наступними подачами шихти. При стійкій тенденції печі до розвинутого периферійного потоку іноді зменшують діаметр фурм, збільшують їх висув і, якщо можливо, збільшують кількість дуття на 100-200 м³/хв.

5.2. Центральний хід

Визначення. Центральний хід характеризується надмірно розвитим потоком газу в центральному кільці печі.

Причини. Причинами такого порушення *можуть бути наступні фактори*: робота доменної печі із системою завантаження, яка підвантажує периферію залізорудними матеріалами; передув доменної печі; низькі рудні навантаження на кокс (наприклад, при гарячих чавунах); знижений рівень засипу й ін.

Наслідки. Робота доменної печі з розвитим центральним потоком газу може призвести до виникнення канального ходу і похолодання печі. На стінах печі може утворитися великий шар гарнісажу і навіть настилів. Сповзання гарнісажу і настилів викликає масове горіння фурм.

Ознаки (діагностика). Ознаками центрального ходу є наступні факти.

Характерні ознаки:

- доріжка точок на діаграмі температури колошникового газу стає вузькою і звивистою;
- зниження вмісту CO₂ біля осі печі на 4-6% і деяке зростання його біля стін печі;
- температура периферійних газів, за показниками термопар у кладці печі, знижується на 60-80⁰С у порівнянні з оптимальним її значенням при рівному ході печі.

Загальні ознаки:

- на діаграмах рівня засипу фіксується нерівномірний в часі рух шихти з підстоями й обривами;
- тиск гарячого дуття зростає на 10-20 кПа, а витрата його зменшується;

- на діаграмі тиску колошникового газу фіксуються верхні піки.

Заходи впливу. Для попередження розвитку центрального потоку газів не можна допускати роботу печі з тривалою неповнотою чи з дуже низьким рівнем засипу. При збільшенні частки дрібних фракцій у залізорудній сировині варто застосовувати систему завантаження, що зменшує кількість руди на периферії при відповідному зменшенні величини рудного навантаження, або зменшувати кількість дуття.

При усуненні розвинутого центрального потоку газів не можна різко переходити до порядку завантаження, при якому сильно перевантажується осьова зона печі, тому що при перевантаженій рудними матеріалами периферії, неминуче наступить підвисання шихти внаслідок різкого зменшення її газопроникності.

5.3. Канальний хід

Визначення. Під канальним ходом газового потоку в доменній печі мають на увазі посилений рух значної частини газів в обмеженій по перетину і сильно розпушеній ділянці стовпа шихти.

Причини. Причинами утворення канального ходу *можуть бути наступні фактори:*

- збільшення дрібних фракцій у залізорудній шихті;
- надмірне збільшення кількості дуття;
- утворення холодних і в'язких шлаків у зоні когезії;
- нерівномірний розподіл дуття по фурмах;
- утворення кільцевих настилів на стінах печі.

Наслідки. Захаращення горна, втрата нагрівання, холодні підвисання шихти, порушення профілю печі – розпал кладки або утворення настилів.

Ознаки (діагностика). Канальний хід характеризується наступними показниками контрольно-вимірювальних приладів.

Характерні ознаки:

- температура кладки шахти біля каналу, що утворився, на 150 - 200⁰С вище у порівнянні з показаннями інших термопар;
- розподіл CO₂ по радіусу нерівномірний і має провали в серединній частині радіуса;
- смуга точок на діаграмі температури колошникового газу вузька і зигзагоподібна;
- на фурмах з боку каналу з'являються погано прогріті куски матеріалів.

Загальні ознаки:

- тиск гарячого дуття різко коливається за часом (пилкоподібна діаграма) з відхиленнями від середнього значення на 10 – 20 кПа;
- на діаграмі колошникового газу виникають верхні піки;
- рівень засипу непостійний, рух шихти відбувається з підстоями і обривами.

Заходи впливу. Початкова стадія канального ходу усувається такими способами

- зменшується завантаження периферії залізрудними матеріалами;
- завантажуються 2 – 3 холості подачі з компенсацією рудного навантаження в наступних подачах;
- встановлюється обертовий розподільник на визначені кути, що відповідають завантаженню гребеня шихти в місце розташування каналу;
- тимчасово збільшується тиск колошникового газу на 15 – 20 кПа.

Розвитий канальний хід газів може бути ліквідований значним зниженням кількості дуття шляхом примусової осадки, яку роблять наприкінці випуску чавуну, знижуючи тиск дуття до 30 – 40 кПа. На цьому тиску працюють протягом 3 – 5 хвилин, а потім поступово (протягом 40 – 50 хвилин) виводять піч на повне дуття.

5.4. Тугий хід печі

Визначення. Тугий хід печі - уповільнена швидкість опускання стовпа шихти, що передую підстоям, обривам і підвисанням шихти.

Причини. Зниження газопроникності шихти на периферії при недостатньому розвиненні центрального потоку газів, яке виникає при роботі доменної печі зі зниженим рівнем засипу, при збільшенні вмісту дрібних фракцій у залізрудній частині шихти. Тугий хід може виникнути й у результаті зниження газопроникності в нижній частині печі внаслідок підвищення температури, поганої якості коксу, підвищення в'язкості шлаку, переповнення горна продуктами плавки, порушення оптимального співвідношення кисню і природного газу, захаращення горна й утворення настилів у печі.

Наслідки. Наслідком тугого ходу є збільшення питомої витрати коксу, різке коливання хімічного складу чавуну, згоряння, а іноді і винос повітряних і шлакових фурм.

Ознаки (діагностика).

Характерні ознаки:

- вміст діоксиду вуглецю в газі на периферії зростає на 3-4%;
- температура колошникового і периферійного газу знижується, ширина доріжки зменшується.

Загальні ознаки:

- тиск дуття зростає і стає коливним;
- на діаграмі колошникового газу виникають верхні піки;
- рух шихтових матеріалів нерівномірний: виникають затримки руху й обриви стовпа матеріалів, а паузи між опусканнями подач збільшуються;
- зростає загальний перепад тиску газу в печі.

Заходи впливу. *Якщо тугий хід виникає внаслідок зниження газопроникності у верхній частині печі, то необхідно приймати наступні заходи:*

- змінити порядок завантаження шихти у бік розвантаження периферії (проміжний порядок скіпів, підвищений рівень засипу);
- завантажити у піч 3-4 холості подачі з наступною компенсацією залізрудними матеріалами;
- у тих випадках, коли причиною тугого ходу є збільшення дрібних фракцій у залізрудній частині шихти, необхідно зменшити кількість дуття.

Якщо тугий хід викликається порушеннями, що виникають у нижній частині печі (підвищення нагрівання горна, підвищення в'язкості шлаку, переповнення горна продуктами плавки й ін.), відповідно ***вживають наступних заходів:***

- тимчасово збільшують вологість або знижують температуру дуття;
- коректують шихту з метою одержання оптимального складу шлаку;
- вживають заходів по звільненню горна від продуктів плавки.

5.5. Холодний хід печі

Визначення. Холодний хід виникає внаслідок порушення теплового балансу плавки в разі суттєвого зростання витрат тепла на ендотермічні процеси в нижній частині доменної печі.

Причини. *Похолодання доменної печі може виникнути в результаті дії наступних факторів:*

- погіршення відновності агломерату;
- зниження механічної міцності коксу або збільшення вмісту в ньому золи і води;
- застосування нераціональної системи завантаження, наприклад, тривала робота

печі зі зниженим рівнем засипу;

- несвоєчасне коректування рудного навантаження й основності шлаку;
- попадання у піч води, сповзання настилів і гарнісажу.

Наслідки. Похолодання призводить до повного розладу ходу печі з затяжними підвисаннями шихти, захаращенням горна, заливанням шлаком фурмених приладів, виносом шлакових і повітряних фурм.

Ознаки (діагностика).

Характерні ознаки :

- схід подачі прискорюється;
- фурми працюють інтенсивно, але холодно; час від часу на них з'являється шлак і темні куски шихти;
- верхній шлак має підвищену кислотність; з нього погано виділяється газ, помітне зниження його нагрівання;
- при застиганні шлак витягається в довгі нитки, а в застиглому стані має чорний тьмянний вигляд.

Загальні ознаки:

- поступове збільшення витрати дуття при одночасному зменшенні його тиску;
- температура газів на периферії під рівнем засипу знижується, а доріжка точок на приладі колошникового газу у газовідводах стає вузькою і звивистою.

Заходи по усуненню:

- зниження рудного навантаження;
- підвищення температури гарячого дуття до максимального значення, при якому є можливий рівний хід печі;
- вологість дуття по можливості зменшують;
- завантажують 3 – 5 холостих подач і зменшують кількість дуття, відповідно скорочуючи витрату природного газу.

Відновлення оптимального режиму плавки здійснюється поступово з оглядом на характер ліквідації похолодання доменної печі при наявності ознак розігріву.

5.6. Гарячий хід печі

Визначення. Гарячий хід печі виникає при порушенні теплового балансу плавки у випадках, коли прихід тепла у доменну піч перевищує витрату тепла, необхідну для одержання чавуну заданого складу.

Причини. Причинами підвищеного нагрівання печі *можуть бути наступні фактори:*

- поліпшення відновності та гранулометричного складу шихти;
- поліпшення якості коксу;
- підвищення ступеня використання теплової та відновлювальної роботи газового потоку;
- збільшення виносу пилу.

Наслідки. Збільшення нагрівання печі може призвести до розладу ходу доменної печі: тугому ходу і підвисанням шихти. Примусові осадки, викликані гарячим ходом, можуть призвести до різкого похолодання печі, захарашення горна, заливання фурм і сопел чавуном і шлаком.

При збільшенні нагрівання відбувається перерозподіл температур по висоті печі, змінюється горизонт первинного шлакоутворення, що може призводити до утворення настилів. Крім того, при збільшенні нагрівання горна чавун, що випускається з доменної печі, має хімічний склад, який суттєво відрізняється від заданого складу (некондиційний чавун).

Ознаки (діагностика).

Характерні ознаки:

- верхній шлак стає рухливим і виділяє велику кількість газу;
- застиглий шлак утворює каменеподібну масу;
- у чавуні зростає вміст кремнію;
- фурми працюють інтенсивно з яскравим світінням.

Загальні ознаки:

- тиск гарячого дуття поступово зростає зі зменшенням його витрати;
- рівномірність сходу подач порушується, виникають затримки в русі й обриви шихти;
- на діаграмі тиску колошникового газу з'являються верхні піки, температура периферійних газів збільшується на 50-70⁰С.

Заходи по усуненню:

- знизити температуру дуття на 50–100⁰С або збільшити вологість дуття на 5– 10 г / м³, (треба віддавати перевагу саме останньому);
- збільшити рудне навантаження;
- тимчасово встановити системи завантаження матеріалів, що призводять до розвантаження периферії.

5.7. Перекіс поверхні засипу

Визначення. Перекіс поверхні засипу утворюється при русі шихти, коли з одного боку швидкість руху суттєво збільшується, а з іншого – знижується.

Причини. Порушення оптимального розподілу шихти і газу по висоті та окружності доменної печі.

Наслідки. Різке похолодання печі, заливання фурм шлаком, згоряння і викидання фурм. Тривала робота печі з однобічним ходом призводить до зміни профілю шихти внаслідок розпаду кладки або утворення настилів.

Ознаки (діагностика).

Характерні ознаки:

- неоднаковий рівень засипу по окружності колошника;
- вміст CO_2 у периферійному газі на 6-8% нижче з боку зі зниженим рівнем засипу, ніж з протилежного боку;
- розподіл температур кладки шахти по окружності печі стає нерівномірним.

Загальні ознаки:

- тиск гарячого дуття знижується;
- доріжка точок температури колошникового газу стає вузькою і звивистою.

Заходи по усуненню:

- змінити програму роботи розподільника шихти так, щоб гребені залізородної шихти лягали в місця зі зниженим рівнем засипу;
- завантажити у піч 2-3 холості подачі з наступною компенсацією залізородної частини шихти в наступних подачах;
- зробити різке значно зниження тиску гарячого дуття протягом випуску чавуну з печі.

5.8. Підвисання шихти

Визначення. Підвисання шихти - припинення руху шихти під час роботи доменної печі. Підвисання шихти можуть бути ***верхніми*** або ***нижніми*** в залежності від розташування зони з мінімальною газопроникністю.

Причини.

Верхні підвисання виникають найчастіше в наступних випадках:

- порушення розподілу шихти і газів на колошнику та у шахті (погіршення гранулометричного складу залізорудної частини шихти);
- нестійке нагрівання печі, що супроводжується переміщенням зони первинного шлакоутворення;
- утворення настилів на стінах шахти.

Нижні підвисання виникають в наступних випадках:

- захащення осьової частини горна (зниження механічної міцності і термічної стійкості коксу);
- надмірне зростання основності шлаку;
- розігрів або значне похолодання печі.

Наслідки:

- заливання фурм чавуном і шлаком;
- викидання фурм і шлакових приладів;
- перегрівання конструкцій і пристроїв колошника й ін.

Ознаки (діагностика).

Верхнє підвисання має наступні характерні ознаки:

- зростання верхнього і загального перепадів статичного тиску та зниження витрати дуття;
- аналіз радіального розподілу газу показує збільшення вмісту CO_2 на периферії на 3-4%, а у точці максимуму на 2-3%;
- зростає вміст CO_2 у загальному колошниковому газі.

Загальні ознаки:

- тиск гарячого дуття поступово зростає;
- збільшується температура колошника;
- на діаграмах рівня засипу фіксуються затримки в русі й обриви шихти.

Нижнє підвисання характеризується наступними ознаками:

- збільшуються нижній і загальний перепади статичного тиску газу;
- фурми працюють неоднаково, на деяких з них з'являються темні куски матеріалів.

Загальні ознаки:

- рух подач стає нерівномірним за часом;
- на діаграмі колошникового газу з'являються верхні піки.

Заходи по усуненню. При верхньому підвисанні змінюють порядок завантаження матеріалів у напрямку забезпечення оптимального розподілу газового потоку. При збільшенні дрібних фракцій у залізорудних матеріалах зменшують кількість дуття до досягнення оптимальних величин верхнього і загального перепаду статичного тиску газів.

Нижні підвисання, в залежності від нагрівання печі, *можуть бути холодними і гарячими.* Гарячим підвисанням запобігають зниженням температури дуття на 70-100⁰С або відповідним збільшенням його вологості (8-11 г/м³ дуття).

Особливо небезпечні холодні підвисання. При перших ознаках холодного підвисання необхідно завантажити у піч 3-4 холості подачі і забезпечити рівний хід печі зниженням кількості дуття, зберігаючи по можливості температуру і вологість. ***Якщо підвисання шихти попередити не вдається,*** то проводиться примусова осадка шихти відразу ж після припинення її руху. Вона здійснюється шляхом коротко часового зменшення кількості дуття, що подається в піч, та його тиску. Для цього відкривають на певну величину повітряно-розвантажувальний клапан (снорт), що стоїть на повітропроводі холодного дуття, з дотриманням заходів проти заливання фурм чавуном і шлаком.

5.9. Захаращення горна

Визначення. Захаращення горна – часткове заповнення горна тугоплавкими шлаковими масами і коксовим дріб'язком.

Причини:

- тривала і нестабільна робота доменної печі на ливарному чавуні;
- робота печі з частими примусовими осадками;
- попадання води у піч;
- порушення графіку випускання рідких продуктів плавки;
- низька якість шихтових матеріалів (особливо коксу);
- робота печі на шлаках високої основності;
- тривала робота печі з нераціональним розподілом по радіусу матеріалів та газів.

Наслідки. Захаращення горна призводить до погіршення дренажу рідких продуктів плавки у горні, в результаті чого чавун і шлак можуть накопичуватися у вогнищах горіння, заливати повітряні фурми і пропалювати їх. Частішає згоряння елементів шлакових приладів, а чавунні і шлакові льотки часто забиваються на випусках коксовим дріб'язком.

Діагностика.

Характерні ознаки:

- часте горіння шлакових і повітряних фурм;
- різке зростання суми $\text{CO} + \text{CO}_2$ колошникового газу в осьовій зоні печі;
- зменшення швидкості опускання шихти перед випусками чавуну і шлаку;
- збільшення загального перепаду статичного тиску газу;
- нерівномірність випусків чавуну по масі;
- збільшення виходу графіту і коксового дрібняку під час випусків чавуну;
- значні коливання хімічного складу чавуну по випусках.

Заходи по усуненню:

- додають у шихту зварювальний шлак або добавки, що містять оксиди заліза і марганцю, необхідні для посилення окислення вуглецю дрібного коксу;
- знижують основність шлаку;
- переходять на виплавку низькокремнистого чавуну;
- забезпечують піч більш якісним коксом.

5.10. Настилі

Визначення. Настилі – налипання на футерівку шахти напіврозплавлених компонентів шихтових матеріалів.

Причини. Загальною причиною виникнення настилів у доменних печах є зниження температури в зоні утворення розплавлених і напіврозплавлених мас шихтових матеріалів і пов'язані з цим налипання їх на стіни печі та застигання.

Зниження температури може бути викликане наступними причинами:

- неправильним розподілом матеріалів по перетину доменної печі;
- утворенням каналного ходу газів;

- нерівномірним ходом печі, що супроводжується підвисаннями й обривами шихти;
- частими простоями або роботою на зменшеній кількості дуття;
- коливаннями у дуттьовому та температурному режимах печі.

Іноді зниження температури викликається надмірним розвитком ендотермічних реакцій.

Факторами, що сприяють утворенню настилів, можуть бути:

- робота доменної печі на опущеному рівні засипу;
- тривала робота печі на дутті з низьким нагріванням;
- надмірно основні шлаки біля стін печі;
- різкі коливання у складі шихтових матеріалів;
- прогар охолоджувальних приладів шахти.

Ознакою утворення настилів є вкрай нестійкий хід доменної печі. А це відбувається коли:

- тиск і витрата дуття стають різко колиливими;
- на діаграмах рівня засипу фіксуються затримки руху та обриви шихти;
- часто виникають верхні і нижні підвисання;
- на діаграмі колошникового газу реєструються верхні піки;
- різниця температур кладки шахти по окружності печі досягає 200-300⁰С;
- витрата коксу помітно збільшується при одночасному зниженні продуктивності печі.

Заходи по боротьбі з настилями:

- промивання печі марганцевою рудою і зварювальним шлаком;
- створення тимчасового периферійного ходу зі збільшеною витратою коксу;
- зниження рівня засипу, зупинка печі, руйнування настилів.

6. Особливості технології виплавки різних видів чавуну

У доменних печах виплавляють **3 види чавуну:** *переробний, ливарний і доменні феросплави.*

Чавунами у системі «залізо-вуглець» називають сплави, що містять більше 2% вуглецю. Чавуни, які виплавляють у доменних печах, є багатокомпонентними сплавами на основі заліза і містять, крім вуглецю, різні кількості кремнію, марганцю, фосфору, сірки та деяких інших елементів.

У залежності від призначення чавуни розподіляють на переробні і ливарні.

Переробний чавун виплавляють: для сталеплавильного виробництва – марки П1 та П2; для виробництва виливків – марки ПЛ1 і ПЛ2; фосфористий – марок ПФ1- ПФ3 та високоякісний - марок ПВК1- ПВК3 (табл. 6.1).

Таблиця 6.1

Чавун переробний (ДСТУ 805-95)

Марка чавуну	Кремній, %	Марганець, % (група 1-4)	Фосфор, % (клас А-Г)	Сірка, % (категорія 1-5)
П1-П2	$< (0.5 \div 0.9)$	$< (0.5 \div 1.5)$	$0.1 \div 0.3$	$0.01 \div 0.05$
ПЛ1-ПЛ2	$> (0.5 \div 1.2)$	$< (0.3 \div 1.5)$	$0.08 \div 0.12$	$0.01 \div 0.05$
ПФ1-ПФ3	$< (0.5 \div 1.2)$	$1.0 \div 2.0$	$0.3 \div 2.0$	$0.03 \div 0.07$
ПВК1-ПВК3	$< (0.5 \div 1.2)$	$< (0.5 \div 1.5)$	$0.02 \div 0.05$	$0.015 \div 0.025$

На долю переробного випадає до 85% загальної кількості чавуну, що виплавляється у доменних печах.

Основні вимоги до переробного чавуну: помірний вміст кремнію і фосфору, можливо більш низький вміст сірки та стабільний хімічний склад. Залізорудна частина шихти для виплавки переробного чавуну складається, в основному, з 60-70% агломерату основністю 1,2-1,4 одиниці і 30-40% обкотишів основністю 0,1-0,8 одиниць. Відносно низький вміст кремнію і марганцю у чавуні дозволяє вести процес при низькій витраті палива, що складає на різних заводах 450-600 кг на тону чавуну.

Для одержання низького вмісту сірки в чавуні підтримують оптимальну основність шлаку, виходячи з його відносної кількості і кількості сірки, внесеної шихтовими матеріалами у доменну піч. Основність переробного чавуну повинна бути достатньою для переходу сірки у шлак, але не занадто високою, тому що збільшення її призводить до зниження продуктивності печі і збільшенню витрати коксу. У наших умовах при роботі на високо сірчистому коксі з донецького вугілля (вміст сірки 1,2-1,6%) основність шлаку для переробного чавуну підтримують у межах 1,2-1,3 по CaO/SiO_2 .

Основну кількість переробного чавуну виплавляють у печах, що працюють на комбінованому дутті. Витрата природного газу складає 60-100 м³/т чавуну, вміст кисню у дутті 23 –26%, температура дуття 1000–1200⁰С. При цьому теоретична температура горіння палива має бути в межах 2050-2150⁰С. Для усунення впливу коливань природної вологості повітря на тепловий стан доменної печі, дуття звожують. Вміст води підтримують на рівні 20 –25 г/м³ повітря. Надлишковий тиск газу на колошнику підтримують на рівні 98–176 кПа, що забезпечує форсований хід печі з витратою повітря 1.8 – 2.2 м³ / хв на кубометр корисного об'єму печі. Ступінь форсування ходу печі дуттям визначається в основному гранулометричним складом шихти та її розподілом по перетину колошника і величиною рудного навантаження, що складає 3,5–4 т/т. Перепад статичного тиску газу між горном і колошником 117-147 кПа.

Ливарний чавун, у залежності від призначення, **виплавляють**: марок ЛП1- Л6 і рафінований магнієм марок ЛР1- ЛР7 (табл. 6.2). Як видно з таблиці, **ливарний чавун відрізняється від переробного, насамперед, підвищеним вмістом кремнію і меншим вмістом сірки.**

Таблиця 6.2

Чавун ливарний (ДСтУ 4832-95)

Марка чавуну	Кремній, %	Марганець, % (група 1-4)	Фосфор, % (клас А-Д)	Сірка, % (категорія 1-4)
ЛП1-Л6	> (1.2÷3.6)	< (0.3÷1.5)	0.08÷1.2	0.02÷0.05
ЛР1-ЛР7	> (0.8÷3.6)	< (0.3÷1.0)	0.08÷0.12	0.005÷0.010

Для одержання низькосірчастого чавуну необхідно таке збільшення основності шлаку, яке ускладнює відновлення кремнію у чавун. Успішному відновленню кремнію сприяють шлаки з відносно невисокою основністю. Тому при виплавці ливарного чавуну основність шлаку складає 1.05-1.2 у випадку роботи на високосірчастому коксі і 0.95-1.1 при роботі на малосірчастому коксі.

Звичайно, **при виплавці ливарного чавуну витрата коксу на 10-25% вища, ніж при виплавці переробного чавуну**. Ливарний чавун виплавляють на комбінованому дутті, однак при одержанні висококремнистого чавуну витрату природного газу скорочують з метою досягнення більш високих температур у горні, що сприяє успішному відновленню кремнію. Для цієї ж мети бажано не застосовувати офлюсований агломерат, оскільки його використання призводить до

значного зменшення кількості вільного SiO_2 в шихті, що суттєво ускладнює відновлення кремнію в нижній частині печі.

Крім того, у доменних печах виплавляють деякі види феросплавів: феросиліцій доменний $\text{СИ}10\div\text{СИ}15$, чавун дзеркальний $Зч1\div Зч8$ та феромарганець доменний $\text{Мн}5\div\text{Мн}7$ групи А і Б (табл. 6.3), ферохром (табл. 6.4)

Таблиця 6.3

**Доменні феросплави
(феросиліцій, дзеркальний чавун, феромарганець)**

Марка феросплаву	Кремній, %	Марганець, %	Фосфор, %	Сірка, %
СИ10-СИ15	$(9.0\div 13.1) i >$	< 3.0	< 0.20	< 0.04
Зч1-Зч8	< 2.0	$10.0\div 25.0$	$< (0.18\div 0.22)$	< 0.03
Мн5-Мн7	$< (0.9\div 1.8)$	$(70.0\div 75.1) i >$	$< (0.35\div 0.5)$	< 0.02

При виплавці феромарганцю продуктивність печі знижується у 3 рази, а витрата коксу зростає у 3-4 рази у порівнянні з виплавною переробкою чавуну.

Для успішного відновлення марганцю основність шлаку повинна бути не менше 1.35-1.5 од. Шлаки з такою основністю мають високу в'язкість, нестійкі за фізичними властивостями, викликають часті розлади ходу і серйозні неполадки в роботі печі. Використання природного газу неприпустимо при виплавці доменних феросплавів унаслідок зниження температури горна, в той же час є бажаним застосування додаткового кисню в дутті, що сприятливо позначається на роботі печі: знижується витрата коксу і збільшується продуктивність.

Виплавка феросплавів у доменних печах негативно впливає на кладку доменної печі і на конструкції колошника. Тому доменні печі переводять на виплавку феросплавів перед зупинкою їх на капітальний ремонт.

Виплавка ферохрому в доменних печах [14]. Труднощі відновлення хрому і велика теплотребність процесу у нижній частині печі вимагає ведення плавки з низькою інтенсивністю. Остання обставина викликає необхідність скорочення витрати нагрітого дуття, що зменшує прихід тепла у горн і погіршує розподіл газів по перетину горна. З метою збереження нормального розподілу газів по перетину печі, при убавленні витрати дуття, необхідно зменшувати діаметр фурм.

У зв'язку з великим виходом шлаку, підвищеною його агресивністю і порівняно високою в'язкістю, що може призвести до погіршення дренажу продуктів плавки в горні, кокс повинен мати високу міцність і містити мінімальну кількість фосфору ($< 0.1\%$). Оскільки відновлення хрому відбувається повільно, крупність руди повинна бути в межах 10-25 мм.

У складі шихти необхідно мати марганцеву руду, оскільки марганець, як і залізо, не тільки сприяють відновленню хрому, але й підвищують рідкорухливість металу і шлаку. *У складі шихти також повинна бути бідна залізна руда або кварцит*. У присутності кремнезему відновлення хрому йде більш активно, крім того, відновлення хрому йде тільки тоді, коли є умови для відновлення кремнію.

Особливістю виплавки ферохрому в доменній печі є заростання горна і лещаді, за рахунок інтенсивного відкладення гарнісажу, тому варто передбачити заходи для активізації роботи горна. Зокрема, вихід шлаку повинен бути великим (не менше 700 кг/т), щоб забезпечити необхідне промивання горна, при цьому основність його не повинна перевищувати 0,9 – 1,0 од., але не опускатися нижче 0,6 од. Знижена основність буде сприяти виходу лугів зі шлаком, кількість яких при виплавці ферохрому істотно збільшується.

Теоретичну температуру горіння необхідно підтримувати на рівні 2300°C . Температура плавлення шлаку повинна бути не нижче 1450°C . Для гарного відпрацьовування продуктів плавки в'язкість шлаку не повинна перевищувати 7 пуаз, тому в ньому повинно міститися 15-20% Al_2O_3 , близько 15% MgO і 28-32% SiO_2 . Для забезпечення необхідної текучості продуктів плавки вміст марганцю у чавуні повинен бути не нижче 1%. Дуття повинне збагачуватися киснем до 23-24% з метою підвищення температур у нижній частині печі та зниження в шахті і на колошнику.

У зв'язку з тим, що температура кристалізації ферохрому висока, і він швидко холодне (густіє) – температура евтектики карбідів хрому не нижче 1500°C – необхідно забезпечувати максимально високу температуру чавуну.

Внаслідок підвищення температурного рівня по всій висоті печі відбувається сублімація важковідновлювальних оксидів кремнію, алюмінію, кальцію і магнію. Осідаючи у газівідводах, вони утворюють міцний шар, тому необхідно приймати заходи, що сприяють зниженню температур у шахті і на колошнику.

Таблиця 6.4

Склад ферохрому, виплавленого у доменній печі, наступний:

Хром, Cr, %	Кремній, Si, %	Марганець, Mn, %	Фосфор, P, %	Сірка, S, %
16-18,0	2 ,0	1,5	0,05	0,02

7. Автоматизоване управління доменним процесом [17]

7.1. Автоматизоване управління тепловим режимом

доменної плавки

Автоматизація управління технологічним режимом доменної плавки є одним з найважливіших напрямів прогресу в чорній металургії. Вона покликана забезпечити зростання техніко-економічних показників роботи доменних печей, поліпшення якості чавуну, підвищення технічного рівня доменного виробництва.

Актуальність розробки і впровадження автоматизованих систем управління доменним процесом визначається, перш за все, невідповідністю необхідної точності управління доменною плавкою реальним можливостям технолога-оператора. Технолог, що управляє доменним процесом, повинен в умовах неповної і зашумленої інформації контролювати і аналізувати показання десятків приладів, своєчасно розпізнавати поточні технологічні ситуації, прогнозувати зміни режиму плавки, виробляти і реалізовувати оптимальні регулюючі дії. Якісне виконання цих функцій без використання ЕОМ у край складне.

Автоматизація управління технологічним режимом доменної плавки стримується в даний час переважно через відсутність алгоритмів, які б забезпечували достатньо надійне управління в умовах неповної інформації про використовувану шихту і інші умови плавки.

7.1.1. Методи і раціональні принципи побудови алгоритмів управління тепловим станом доменної печі

Регулювання теплового стану доменної печі, здійснюване технологом, в значній мірі базується на усуненні відхилень нагріву печі, що вже відбулися, від заданого рівня, тобто проводиться з істотним запізненням. Але і автоматизоване управління не завжди забезпечує ефективну стабілізацію нагріву печі на заданому рівні. Об'єктивні труднощі пояснюються, по-перше, неповнотою і недостатньою

достовірністю інформації про поточні умови роботи доменної печі і, по-друге, специфікою процесу, яка визначається його інерційністю, великим числом збурюючих чинників і складним взаємним зв'язком окремих параметрів.

Роботи по управлінню тепловим режимом доменної плавки А.Н.Похвіснева, А.Д.Готліба, В.А.Сорокіна, А.Н.Рамма мали пріоритет в світовій науці і практиці і в даний час отримали значний розвиток у зв'язку з широким використанням на доменних печах обчислювальної техніки.

Більшість спочатку створених алгоритмів управління тепловим станом доменної печі ґрунтувалися на зведенні теплового балансу доменної плавки або на розрахунку показників, що характеризують вплив відновних процесів на нагрів печі.

Алгоритм, запропонований проф. А.Н.Похвісневим в 1939 році, ґрунтувався на аналізі значень розрахункового показника M – величини приходу тепла на одиницю кисню, що забирається від шихти в процесі відновлення оксидів. Показник M трактувався як швидкісний тепловий баланс і розраховувався за інформацією про хімічний склад колошникового газу і про тепловмісту дуття. Принцип регулювання теплового стану доменної печі полягав в тому, щоб підтримувати змінами витрати коксу або параметрів дуття значення показника M на заданому оптимальному рівні.

Першим алгоритмом управління тепловим режимом доменної плавки, що знайшов промислову реалізацію, був алгоритм, розроблений проф. В.А.Сорокіним. Основу алгоритму, побудованого на загальному матеріально-тепловому балансі доменної плавки, складав розрахунок показника виплавки чавуну на 1000 м^3 дуття. Збільшення цього показника свідчить про розігрівання, а зменшення – про похолодання печі. Оскільки аналіз перехідних процесів доменної плавки за допомогою рівнянь загального теплового балансу неможливий, для контролю несталих станів подальшими розробками схема розрахунку показників теплового стану доменної печі була дещо вдосконалена і доповнена.

Значний вплив на розробку балансових схем контролю теплового стану доменної печі зробили роботи проф. А.Н.Рамма. У запропонованому ним алгоритмі витрата коксу визначалася шляхом зведення загального теплового балансу плавки. Для обліку динаміки процесу пропонувалося аналізувати зміни: індексів прямого відновлення; загальної кількості спожитого в печі тепла; кількості тепла, що витрачається в нижній частині печі; корисної витрати тепла.

Близьким до балансового, але, проте, досить своєрідним є метод контролю теплового стану доменної печі, заснований на аналізі процесів теплообміну в доменній печі. Теорія теплообміну в доменній печі, розроблена проф. Б.І.Китаєвим із співробітниками, показала можливість роздільного контролю і локального управління тепловим станом верхньої і нижньої частини доменної печі. У зв'язку з цим як характеристика теплового стану доменної печі були запропоновані показники: i_b – індекс температурного поля верху печі, що є відношенням середньої температури шихти у верхній частині доменної печі до температури сповільненого теплообміну; i_k – індекс теплового стану низу печі, рівний відношенню фактичних витрат тепла на фізичний і хімічний нагрів продуктів плавки до оптимальної величини витрат тепла на ці статті теплового балансу.

Складність побудови математичної моделі доменного процесу на основі теоретичних закономірностей і необхідність обліку динаміки зв'язків окремих параметрів плавки призвели до спроб створити алгоритм контролю і регулювання теплового режиму доменної плавки на основі статистично визначуваних залежностей.

У нашій країні великий внесок в розвиток алгоритмів управління тепловим режимом доменної плавки з використанням методів математичної статистики внесли роботи співробітників ЦНПЧМ, ЛПІ і ЧЕРМК, КІА і інших організацій. Перспективним напрямом в розробці методів управління тепловим режимом доменної плавки є спроби використання для цієї мети математичних моделей, що описують за допомогою диференціальних рівнянь кінетичні закономірності тепло- і масообміну в доменній печі. Такі моделі створені і в нашій країні, і за кордоном. Проте практичне їх використання для вказаної мети стримується поки через їх складність і громіздкість. Спрощена кінетична модель доменного процесу, що розроблена в Японії, знайшла практичне застосування лише в одній автоматизованій системі управління.

Особливо слід зупинитися на методі регулювання теплового стану доменної печі за складом колошникового газу, розробленому в Дніпропетровському металургійному інституті під керівництвом проф. А.Д.Готліба. Принципи побудови цього алгоритму, вперше опублікованого в 1961 році, не були орієнтовані на досягнення значень яких-небудь розрахункових показників, що наперед задавалися, і вже в першому своєму варіанті враховували відмінність умов теплопередачі і тепловикористання в різних зонах по висоті печі. Оскільки

тепловий стан доменної печі коливається в основному при змінах процесів непрямого і прямого відновлення заліза, основу алгоритму складала змін в ступені розвитку прямого і непрямого відновлення на основі даних про аналіз колошникового газу. Вхідними параметрами алгоритму були величини змін згладжених і усереднених за встановлені інтервали часу значень вмісту CO і CO₂ в колошниковому газі, а також температур в нижній частині шахти і заплечиках. Методика і алгоритм регулювання передбачали стабільність ряду параметрів – винесення колошникового пилу, складу шихтових матеріалів, витрат сирого вапняку, природного газу і кисню.

Практика промислової експлуатації автоматизованих систем управління тепловим режимом доменної плавки показує, що проблема розробки методів регулювання, які повною мірою враховують сучасні умови роботи доменних печей, залишається до кінця не вирішеною.

7.2. Автоматизоване управління газодинамічним режимом доменної плавки

7.2.1. Технологічні принципи автоматизованого управління ходом доменних печей

Промислова експлуатація систем теплового регулювання показала, що, не дивлячись на важливість вирішуваної ними проблеми, можлива ефективність від їх використання обмежується в доменному переділі величиною економії коксу на рівні 1-2%.

Набагато більші потенційні резерви криються в стабілізації і оптимізації газодинамічного режиму плавки. Завдання створення алгоритму управління, що забезпечувало оптимізацію газодинамічного режиму доменної плавки, до цих пір в повному об'ємі не вирішена. Фундаментальною і основоположною розробкою в цій області є алгоритм управління ходом доменної печі по перепадах статичного тиску газу, створений в Дніпропетровському металургійному інституті. Проте він вирішував обмежений круг завдань, мав дуже жорстку схему аналізу технологічних ситуацій і ухвалення рішень. В результаті цього при зміні умов роботи доменної печі він не забезпечував якісного управління процесом і вимагав підстроювання.

Принциповим і важливим питанням алгоритмізації управління ходом доменної печі є встановлення раціонального співвідношення у використанні регулюючих дій "зверху" і "знизу". Провідним чинником в підборі раціонального газодинамічного

режиму плавки є режим завантаження шихтових матеріалів в піч. Витрата дуття зазвичай встановлюється на рівні, відповідному газопроникності стовпа шихти.

Розробка формалізованої схеми управління ходом доменної печі вимагає чіткого формулювання: цілей управління, способу оцінки рівності ходу печі, методики вибору регулюючих дій.

При управлінні газодинамічним режимом доменної плавки виникає необхідність вирішення двох головних завдань:

- а) безперервного контролю рівності ходу печі і ліквідації розладів ходу, що намічалися;
- б) забезпечення максимального наближення рівня форсування плавки і ступеня використання газу в печі до їх розрахункових і заданих значень.

Здійснення кількісної оцінки рівності ходу доменної печі, необхідне для вирішення завдань управління газодинамікою плавки, викликає відомі ускладнення. Самими інформативними в цьому плані є загальний і часткові перепади статичного тиску газу по висоті печі.

Формалізація прийомів управління доменним процесом вимагає дискретної оцінки режимів плавки. Рівність ходу печі краще всього може бути апроксимована ступінчастою переривистою функцією, що має 4-5 станів. Кожен із станів повинен підтверджуватися рівнем коливанні певного числа вихідних параметрів з урахуванням їх інформативності.

Якщо зафіксований нерівний хід доменної печі, то потрібне вживання таких заходів дії на процес, які забезпечили б нормалізацію режиму плавки. При не дуже істотних відхиленнях від рівного ходу печі можуть використовуватися дії, що знімають причину зафіксованих порушень, зокрема, можуть мінятися параметри завантаження в такому напрямі, щоб підвищилася газопроникність стовпа шихти. При значних відхиленнях від рівного ходу печі, що вимагають вживання термінових заходів, зазвичай доводиться знижувати ступінь форсування процесу, зменшуючи витрату дуття.

При рівному ході печі, коли газодинамічна напруженість плавки достатньо далека від гранично допустимої, з'являється можливість приймати заходи по оптимізації процесу. Вибір цих заходів є найбільш складною проблемою. Оскільки поки не представляється реальним створити адекватну математичну модель доменного процесу, придатну для вирішення подібного завдання, повна оптимізація поточного режиму доменної плавки неможлива. Мова може йти лише

про вибір найбільш раціональних кроків, що наближають режим роботи печі до оптимального.

Зниження витрати коксу і оперативне створення умов для подальшої інтенсифікації плавки повинна забезпечуватися шляхом цілеспрямованих коректувань розподілу компонентів шихти по радіусу печі.

8. Пуск доменної печі після ремонтів II і III розрядів

8.1. Пуск печі після ремонту II розряду

Особливість задування печі після капітального ремонту II розряду полягає в тому, що сушку нової кладки не проводять. Цю обставину необхідно враховувати при визначенні рудного навантаження в задувній шихті і встановленні роздувного режиму.

Задувна шихта розраховується на ливарний чавун, який повинен містити в перших випусках 3,5% Si. У подальших шихтах рудне навантаження повинне поступово зростати з таким розрахунком, щоб вміст кремнію в чавуні в кінці раздувного режиму (не менше 7 діб робота на виплавці ливарного чавуну) складало близько 1,25%. Задувні шихти повинні складатися так, щоб холостими подачами були заповнені горно, заплечики, розпар і низ шахти.

Кокс та інші матеріали, що залишилися в горні після видувки, повинні бути повністю видалені. У чавунні льотки вставляють труби діаметром 100—150 мм для випуску горнових газів в атмосферу в період задування.

Після завантаження горна до рівня повітряних амбразур встановлюються заздалегідь забиті глиною фурми. Стіни фурменої зони і фурми повинні бути захищені колодами.

Задування печі можна проводити при заповненні робочого простору печі на $\frac{2}{3}$ її висоти.

Кокс в задувних шихтах повинен бути більше 40 мм, а із залізородних матеріалів відсіяна дрібниця <5 мм.

Пуск повітрорудної машини проводять за 4—5 годин до початку завантаження печі шихтою.

При задуванні половину повітряних фурм забивають глиною або ж на всіх фурмах встановлюють керамічні кільця.

Підготовка газоповітряного тракту проводиться, так само як і при задуванні печі після будівництва або капітального ремонту I розряду.

Витрату і температуру дуття слід збільшувати поступово, за умови нормальної видачі продуктів плавки, відсутність шлаку на фурмах і при плавному сході шихти. Переведення печі на роботу з підвищеним тиском газу і комбінованим дуттям проводиться так само, як після будівництва або капітального ремонту I розряду.

Основні неполадки при роздуванні пов'язані з погіршенням дренажу рідких продуктів плавки і захаращенням горна. В цьому випадку виникають ускладнення з відкриванням чавунної льотки. Може створитися також загроза прогару і викиду шлакового приладу.

При відкриванні чавунної льотки необхідно пропалювання випускного отвору під певним кутом до горизонтальної вісі. Нерідко доводиться розбирати цегляний віночок, щоб пропалити льотку під великим кутом. Ця операція може виявитися тривалою і тоді, щоб уникнути прогару і викиду шлакового приладу (наслідки такої аварії можуть бути дуже важкими), необхідно зменшити витрату дуття.

Захаращення горна може виникнути (або посилитися) унаслідок течії повітряних фурм. Тому перед установкою повітряних фурм необхідно їх ретельно опресувати. Після задування печі необхідно уважно стежити за станом повітряних фурм; у разі виявлення згорілих фурм необхідне їх замінити, хоча в період роздування зупинка печі небажана.

8.2. Пуск печі після ремонту III розряду

Зупинка печі на капітальний ремонт III розряду і подальше задування є взаємозв'язаними операціями. Роздування печі проводиться на шихті, якою заповнюється робочий простір печі перед її зупинкою. У цю шихту для забезпечення хорошого дренажу в горні при роздуванні вводять марганцеву руду, а в деяких випадках плавиковий шпат. Кількість холостих подач і час їх завантаження в піч слід розрахувати так, щоб вони прийшли в горн до моменту зупинки печі.

Шихта, що завантажується в печі після задування, розраховується на виплавку протягом 1–2 діб ливарного чавуну. Вміст кремнію в чавуні перших випусків повинен складати 3,0—3,5%. Перехід на переробний чавун проводиться поступово.

При задуванні печі повинна бути відкрита половина фурм (відкриті і закриті фурми чергуються). При нормальному ході роздування (хорошому дренажі в горні) відкривають фурми, розташовані одна проти іншої. Задування печі проводять при рівні засипу, досягнутому в період зупинки.

Роздування печі слід проводити обережно, маючи на увазі, що шихта у робочому просторі печі має низьку газопроникність через ущільнення при зупинці печі. Проплавлення першого об'єму шихти необхідно вести поволі. Тиск дуття через погану газопроникність шихти в цей період може бути підвищеним. Цю обставину слід враховувати при виборі витрат дуття. Разом з тим необхідно підсилити контроль за станом фурм.

Збільшення кількості дуття можна провести після проплавлення засипки, що складається з гранульованого шлаку або руди (або настилів, якщо вони були), при хорошому прогріванні продуктів плавки. Швидкість дуття на фурмах повинна поступово збільшуватися до 170—190 м/с. Випуск чавуну слід проводити через 1 годину після закінчення попереднього випуску.

Тиск газу на колошнику підвищують поступово, після проплавлення першого об'єму печі. При цьому фурми повинні працювати без шлаку, а рідкі продукти плавки повинні відпрацьовуватися по встановленому графіку. Випуск верхнього шлаку проводять тільки при хорошому дренажі і нагріві горна, нормальній рухливості шлаків.

9. Робота у доменній печі

9.1. Випуск чавуну і шлаку з доменної печі

Нормальна робота доменної печі неможлива без своєчасного випуску чавуну і шлаку. Перетримка чавуну і шлаку у печі приводить до порушення її ходу і аварій при випуску. Випуск чавуну проводиться періодично 9—18 разів на добу за встановленим графіком. За наявності декількох чавунних льоток випуск чавуну проводиться по черзі через кожну з льоток. Випуск шлаку починається через 30—40 хвилин після закінчення випуску чавуну і проводиться безперервно у міру накопичення шлаку до початку наступного випуску чавуну. На сучасних доменних печах весь шлак випускається через чавунну льотку.

Випуску чавуну передують виконання ряду підготовчих робіт: ремонт футляра льотки, ремонт головного жолоба (або його заміна), ремонт отвору розділової плити, установка відсічних лопат і заправка перевалів, очищення від скрапу і

шлаку чавунних і шлакових жолобів, зарядка електропушки і перевірка роботи її механізмів і такдалі.

Футляром називається вогнетривка маса, що заповнює вікно в рамі чавунної льотки. Вона оберігає раму від зіткнення з рідкими продуктами плавки. Після трамбування цієї маси в ній прорізається конусоподібний отвір, в який заходить носок пушки при закритті льотки. Футляр повинен бути завжди в такому стані, щоб носок гармати щільно притискався до вогнетривкої маси. Руйнування вогнетривкої маси футляра перешкоджають проході льоточної маси в канал льотки. Ремонтують футляр один раз на добу. До відкривання чавунної льотки приступають тільки після повного завершення всіх операцій по підготовці до випуску і установки під носки жолобів ковшів для чавуну та шлаку. Відкривають чавунну льотку бурильною машиною під постійним кутом нахилу бура до горизонту (не більш 17°). Коли свердло бурильної машини досягає твердої кірки, буріння припиняють. Стислим повітрям продувають канал чавунної льотки і вимірюють її довжину. Якщо кінець льоточного каналу чорний, то буріння продовжують, якщо ж він червоний, то льоточний канал пробурений повністю. Довжина чавунної льотки повинна бути не менше 1,7—2,0 м.

Якщо вогнетривка маса в період між випусками не встигла висохнути, на що указує м'яке просування свердла каналом, то льоточний канал пробурює до твердої кірки, а потім підсушується шляхом спалювання коксового або природного газу. Пробивання твердої кірки здійснюється пневматичним молотком. У разі заповнення каналу льотки під час випуску чавуну коксом необхідно виконувати шарування каналу довгим металевим списом.

Під час випуску чавуну необхідно стежити за ходом чавуну жолобами, не допускаючи переливу чавуну і шлаку через край жолоба під час бурхливого ходу чавуну і шлаку при розпалі льотки; маневрує відсічними лопатами або поворотними жолобами, розподіляючи чавун і шлак по ковшах.

Після повного звільнення горну від чавуну і шлаку через чавунну льотку починає прориватися газ, що горить – це указує на закінчення випуску чавуну. У цей момент необхідно встановити пушку в льотку і закрити канал вогнетривкою масою. Надмірне продування газу через льотку недопустиме, оскільки це руйнує канал льотки, призводить до викиду великої кількості коксу з печі, який може перешкодити установці пушки для закривання льотки вогнетривкою масою.

Закривати чавунну льотку слід тільки після її продування газом, на повному ходу печі, коли в каналі льотки немає коксу. У момент закриття носок пушки повинен

щільно зайти у футляр льотки. Кількість вогнетривкої глини для забивання льотки повинна відповідати стану льотки і нагріву доменної печі. При гарячому ході печі кількість леточної маси повинна бути великою, оскільки гарячий чавун і шлак інтенсивніше руйнують чавунну льотку. Після закриття льотки з головного жолоба випускають залишки чавуну і шлаку. Через 5—10 хвилин після закриття льотки пушку відводять від печі і починають підготовку до наступного випуску.

Підготовка до випуску шлаку починається з розбирання і видалення з шлакової льотки старої набивки з вогнетривкої маси. Після видалення набивки оглядається охолоджувальна арматура льотки і шлакового стопора. Якщо елементи шлакової льотки знаходяться в нормальному стані, набивають шлакову льотку свіжою вогнетривкою масою. Шлаковий жолоб заправляється вогнетривкою масою і піском на відстані не менше 1—2 м від шлакової льотки.

Шлакова льотка відкривається тільки при наявності ковшів для шлаку під відповідними носками. Для цього відводиться шлаковий стопор, а кірка, що утворилася в шлаковій фурмі, пробивається ломом. Під час випуску шлаку необхідно стежити за наповненням ковшів. У разі перекриття льотки шматками коксу проводиться шурування довгим металевим списом. При зниженні рівня шлаку нижче за шлакову льотку починає вириватися газ. Необхідно відразу ж закрити шлакову льотку.

Ковші для наливання шлаку перед подачею до доменної печі обов'язково повинні бути змочені вапняним молоком. Недопустима постановка під наливання ковшів, на дні яких знаходиться вода або мокре сміття. При зіткненні рідкого шлаку з водою або мокрим сміттям відбуваються сильні викиди шлаку.

9.2. Система охолодження печі та її експлуатація

Значна частина вогнетривкої кладки доменної печі, арматура шлакових льоток, фурмені прилади охолоджуються водою. Складна система охолодження вимагає постійного нагляду і догляду.

Догляд за охолоджувальною системою зводиться до нагляду за нормальним живленням її водою, нагляду за температурою води, що відходить з холодильників, зміні фільтрів для очищення води, що поступає на охолодження, періодичній промивці холодильників, виявленню згорілих охолоджувальних приладів і своєчасній їх зміні з метою запобігання попаданню великої кількості води в піч.

До найбільш частого прогару схильні повітряні фурми і фурми шлакових льоток. Основною причиною прогару повітряних фурм є попадання на них крапель чавуну. Цьому сприяє те, що захаращується горно погано текучими основними або глиноземистими шлаками, особливо при роботі печі на німцічному, утворюючому багато сміття коксі, або значне похолодання доменної печі, при якому горно переповнюється холодним залізистим шлаком із заплутаними в ньому краплями чавуну.

Прогар повітряних фурм може бути виявлений по ряду ознак.

1. По характеру витікання води з фурми. При прогарі потік води на виході із зливної труби стає переривистим і в ньому з'являються бульбашки газу. Часто ці явища супроводжуються тремтінням зливної трубки.

2. При появі теплої води, що вичавлюється назовні між фурмою і фурменим холодильником, що тече по фуруменому холодильнику або амбразури.

Виявлена згоріла повітряна фурма повинна бути без затримки замінена новою. Заміну проводять на зупиненій печі.

Порядок операцій при заміні фурми наступний:

- розкручується натяжний болт і відводиться убік;
- вибиваються клини шарнірних підвісок;
- рухоме коліно відводиться назад і сопло забирається убік, щоб воно не заважало роботі по заміні фурми;
- проштовхуванням глини проводиться відгін коксу за фурму, щоб при вибиванні останній кокс не засипав місце установки фурми;
- витягують пошкоджену фурму за допомогою спеціальної машини;
- у фуруменій отвір вставляється нова фурма, наповнена водою;
- встановлюється на місце сопло, ударами рухомого коліна по соплу фурма ставиться на своє місце і підключається до охолоджувальної системи, після чого на коліно накидається натяжний болт і загвинчується гайка, а потім забиваються клини шарнірних підвісок, що притискають рухоме коліно до нерухомого.

Заміна холодильника і амбразури фуруменого пристрою виконується в такому ж порядку.

Прогар шлакової фурми виявляється при випуску шлаку викидами останнього унаслідок зіткнення його з водою і по забарвленню полум'я, що виривається з льотки (полум'я забарвлюється в голубуватий колір через підвищену кількість водню в газі). При підйомі стопора з шлакової льотки до появи шлаку витікає вода. Якщо прогар шлакової фурми відбувся під час випуску шлаку, шлакова льотка

негайно закривається і випуск шлаку через неї припиняється. Зміну фурми проводять на зупинці печі в наступному порядку.

1. Розчищається вогнетривка набивка в шлаковому приладі.
2. Знімається упор на водопровідних трубах фурми, якими вона кріпиться до кожуха печі.
3. Ударами по трубах фурма вибивається з шлакового холодильника.
4. Вставляється нова фурма, отвір в якій заздалегідь забивається глиною, і обережними ударами проштовхується в гніздо фурменого холодильника. Дуже важливо забезпечити щільне сполучення фурми з холодильником, щоб запобігти можливості проходу шлаку між ними. Після установки фурми до неї подається вода і трубки закріплюють упором.
5. Шлаковий прилад знову набивається вогнетривкою масою і вирізується отвір в ній для проходу головки стопора до фурми.

Шлаковий холодильник і амбразуру замінюють в такому ж порядку, але із значно більшою витратою праці і часу. Згорілий холодильник, що охолоджує будь-яка з ділянок вогнетривкої кладки, відключається від холодної системи і міняється при ремонтах печі.

9.3. Зупинка доменної печі

Доменний процес — безперервний. Подача повітря для горіння палива і завантаження шихтових матеріалів ведеться безперервно протягом всього періоду її роботи. Проте в ході кампанії доводиться неодноразово припиняти завантаження печі і подачу повітря, тобто зупиняти піч.

Зупинки необхідні для заміни згорілих повітряних фурм, холодильників, сопел, арматури шлакових льоток, а також для ремонту доменної печі або її устаткування, яку неможливо провести в процесі доменної плавки.

Операції, що пов'язані із зупинками печей, вимагають від обслуговуючого персоналу підвищеної уваги і чіткого дотримання встановлених правил. Причина цього полягає в тому, що доменний газ може утворювати вибухову суміш з повітрям. Поки в газовій мережі працюючої печі тиск газу вище атмосферного, можливість проникнення повітря в мережу виключена і небезпеки вибуху немає. При пониженні тиску газу в печі, газопроводах і пиловловлювачеві нижче атмосферного повітря туди через нещільність починає просочуватися повітря, що може призвести до вибуху.

Здатність доменного газу утворювати вибухові суміші пояснюється наявністю в ньому оксиду вуглецю і водню. Горіння цих компонентів в кисні повітря в

замкнутому об'ємі протікає з великою швидкістю і супроводжується виділенням значної кількості теплоти, унаслідок чого збільшується об'єм продуктів згоряння, підвищується їх тиск і утворюється вибухова хвиля.

Руйнівна дія вибуху залежить від кількості вибухової суміші, що утворюється, і в деяких випадках досягає великої сили. Таким чином, вибух може відбутися, якщо утворюється вибухова суміш в замкнутому просторі, де температура достатня для займання цієї суміші.

Найбільшою вибуховою силою володіють суміші, що містять 46—62 % газу і 54—38 % повітря. Температура займання оксиду вуглецю коливається в межах 610—658°C. Наявність водню в суміші знижує температуру її займання, оскільки водень запалюється при температурі 560—590°C. У металургійних агрегатах займання вибухової суміші сприяє наявність каталізаторів, до яких належать рудний пил, нагріті поверхні шамотної цегли, міді, нікелю.

При зупинці доменної печі запобігти утворенню вибухової суміші можна вентиляцією відключеної ділянки газової мережі, заповненням відключеної ділянки газової мережі парою, спалюванням газу, що утворюється.

Розрізняють наступні види зупинок доменної печі:

- **короткочасні** (менше 2 ч) без запалювання газу на колошнику;
- **тривалі** (більше 2 ч) із запалюванням газу на колошнику;
- **аварійні** зупинки.

Короткочасна зупинка. До цього виду зупинки печей вдаються при необхідності заміни арматури пристроїв для підводу дуття, арматури шлакових льоток і так далі. Зупинку печі, як правило, проводять після випуску чавуну, коли горн печі є вільним від продуктів плавки. У разі крайньої необхідності піч зупиняють при відкритих шлакових льотках.

Перш ніж приступити до зупинки печі, необхідно сповістити про це диспетчера газового цеху, регулюючого розподіл газу між споживачами. Порядок операцій при короткочасній зупинці печі наступний:

- 1) припиняють подачу всіх добавок до дуття (природного або коксового газу, рідкого або твердого палива, водяної пари);
- 2) доменну піч переводять на нормальний тиск газу на колошнику;
- 3) подають пару під великий конус засипного апарату і збільшують подачу пари в міжконусний простір;
- 4) якщо до моменту зупинки шихтові матеріали в печі знаходяться в підвішеному стані, проводять їх примусову осадку;

5) на повітрянагрівачі, що знаходяться на нагріві, зменшують або повністю припиняють подачу газу;

6) закривають клапан змішувача на повітропроводі, що сполучає повітропроводи холодного і гарячого дуття;

7) припиняють завантаження матеріалів в піч;

8) доменну піч переводять на тихий хід шляхом зменшення кількості дуття ;

9) відкривають атмосферні клапани па газовідводах;

10) закривають відсікаючий клапан над пиловловлювачем і піч відокремлюють від газової магістралі;

11) відкриванням клапану „снорт”, поволі зменшують кількість повітря, що поступає в піч, надмірний тиск дуття доводять до 0,01- 0,015 МПа;

12) на повітрянагрівачеві, через який надходить повітря в піч, закривають клапани холодного і гарячого дуття.

Навіть після зупинки печі тиск газу в горні перевищує атмосферний тиск. Для усунення горіння газу піч береться «на тягу».

Сутність цієї операції полягає у відведенні газу з горна печі через пристрої для подачі повітря, кільцеву трубу, повітропровід гарячого дуття у повітрянагрівач. Газ, що відсмоктується з печі, згорає у повітрянагрівачі, а газоподібні продукти горіння через димові клапани прямують в димар. Піч береться «на тягу» через найбільш нагрітий повітрянагрівач, щоб забезпечити повне згорання газу, що відсмоктується з горна печі.

Взяття печі «на тягу» здійснюється таким чином:

1) на повітрянагрівачі, через котрий буде відсмоктуватися газ з печі, відкривають димові клапани;

2) відкривають люк на газовому пальнику повітрянагрівача для доступу в камеру горіння повітря, необхідного для спалювання газу;

3) відкривають клапан гарячого дуття.

Вказаний порядок операцій відноситься до випадку узяття печі «на тягу» через повітрянагрівач, який знаходився на дутті.

Краще всього брати піч «на тягу» через повітрянагрівач, що знаходиться на нагріві. В цьому випадку відкривають тільки клапан гарячого дуття.

Спалювання забрудненого пічного газу у повітрянагрівачах при постановці печі «на тягу» призводить до руйнування вогнетривкої кладки нагрівачів повітря і

повітропроводу гарячого дуття. Тому на доменних печах, що будуються, споруджують спеціальну трубу, через яку відсмоктується газ із горна доменної печі.

Пуск зупиненої печі здійснюється в наступному порядку:

- 1) піч знімають «зтяги»;
- 2) на повітронагрівачеві відкривають клапани холодного і гарячого дуття;
- 3) відкривають відсікаючий клапан;
- 4) закривають клапан „снорт”;
- 5) відкривають клапан змішувача;
- 6) закривають атмосферні клапани на газовідводах;
- 7) повітродувну машину переводять на повний хід;
- 8) починають завантаження печі;
- 9) припиняють подачу пари під великий конус і зменшують до нормальної подачу пари до міжконусного простору;
- 10) піч переводять на підвищений тиск газу на колошнику;
- 11) відновлюють подачу добавок до дуття.

Тривала зупинка. Цей вид зупинки печі необхідний для поточного ремонту устаткування або проведення капітального ремонту III розряду. Перш ніж приступити до зупинки печі, необхідно випустити чавун, повністю звільнити пиловловлювач від пилу і сповістити диспетчера газового цеху.

Порядок операцій при тривалій зупинці печі наступний:

- 1) припиняють подачу всіх добавок до дуття;
- 2) піч переводять на нормальний тиск газу на колошнику;
- 3) подають пару до пиловловлювача, під великий конус, до зрівняльного газопроводу, що сполучає міжконусний простір з газопроводом чистого газу, і збільшують подачу пари до міжконусного простору;
- 4) припиняють нагрівання повітронагрівачів;
- 5) закривають клапан змішувача;
- 6) припиняють завантаження матеріалів до печі;
- 7) піч переводять на тихий хід шляхом зменшення числа обертів повітродувної машини;
- 8) відкривають атмосферні клапани на газовідводах;
- 9) закривають відсікаючий клапан;
- 10) перекривають засувку за скрубєром;
- 11) припиняють подачу води в скрубєр, відкривають атмосферні клапани на

ньому і подають до скрубера пару;

12) відкривають повітря-розвантажувальний клапан, поволі зменшують кількість повітря, що поступає до печі. Тиск дуття доводять до 0,01 МПа;

13) припиняють подачу пари під великий конус і до міжконусного простору, відкривають люки на газовому затворі засипного апарату і малий конус, через відкриті люки газового затвора на великому конусі розпалюють вогнище з дров, змочених гасом, після чого відкривають великий конус, завдяки чому палаючі дрова падають на поверхню шихти і запалюють газ в печі;

14) після займання газу закривають клапани гарячого і холодного дуття;

15) знімають сопла повітряного пристрою, а фурми забивають глиною;

16) відкривають атмосферні клапани і пилові затвори на пиловловлювачі і припиняють подачу пари;

17) відкривають атмосферні клапани на зрівняльному газопроводі і лази на газопроводах, закривають великий конус і на нього завантажують подачу дрібної руди.

Протягом всієї зупинки печі ведуть безперервне спостереження за горінням газу в печі.

Аварійні зупинки. Цей вид зупинок доменної печі проводиться в разі виникнення аварійних ситуацій, що викликаються раптовим припиненням подачі повітря, води або електроенергії, а також при появі ознак прогару вогнетривкої кладки і холодильників в нижній частині печі.

У разі раптової зупинки повітродувної машини повітропровід холодного дуття слід негайно підключити до повітропроводу інших повітродувних машин для створення в ньому позитивного тиску.

В цей же час максимально швидко виконують наступні операції:

1) закривають клапан змішувача і клапани холодного і гарячого дуття повітрянагрівача;

2) подають пару під великий конус, до пиловловлювача і збільшують подачу пари до міжконусного простору;

3) припиняють подачу добавок до дуття;

4) відкривають повітряно-розвантажувальний клапан.

Одночасно з цим відкривають атмосферні клапани на газопроводах і закривають відсікаючий клапан пиловловлювача.

При припиненні подачі води для охолодження печі або відключенні електрики необхідно негайно зупинити піч, дотримуючись правил короткочасної зупинки печі.

10. Видувка і ремонт доменних печей

Доменні печі і їх допоміжні пристрої (повітронагрівачі, пиловловлювачі, повітропроводи, газопроводи) періодично, у міру зносу елементів конструкцій, піддаються капітальному ремонту.

По характеру і тривалості робіт капітальні ремонти доменних печей ділять на три розряди:

1. **Капітальний ремонт I розряду** — проводиться заміна всієї вогнетривкої кладки, всіх холодильників печі, захисних плит колошника, засипного апарату і ремонт всіх механізмів, обслуговуючих доменну піч.

2. **Капітальний ремонт II розряду** — проводяться ті ж роботи, за винятком заміни вогнетривкої кладки і холодильників горна і лещаді.

3. **Капітальний ремонт III розряду** — проводиться заміна засипного апарату і захисних плит колошника.

Капітальний ремонт I розряду при необхідності супроводжується додатковими роботами, такими, як ремонт верхньої частини фундаменту печі, заміна кожуха, колошникового майданчика, копра, монтажної балки, газопроводів, кільцевого повітропроводу і так далі. Іноді капітальний ремонт I розряду виконується з повною реконструкцією печі з метою збільшення її корисного об'єму.

Довготривалість ремонтів визначається об'ємом і організацією робіт і доведена в даний час для ремонтів I розряду до 25—30, II розряду — до 8—12, III розряду — до 2—2,5 сут. Якісне виконання всіх ремонтних робіт подовжує міжремонтний період. В даний час міжремонтний період доведений для ремонтів I розряду до 10—12, II розряду — до 2,5—3, III розряду — до 1—2 років.

Для виконання капітальних ремонтів I і II розрядів робочий простір доменної печі необхідно повністю, або частково звільняти від шихтових матеріалів. Звільнення робочого простору печі від шихтових матеріалів називається **видувкою доменної печі**.

При видувці слід забезпечити також звільнення металоприймача від залишків продуктів плавки, збереження колошникової частини печі від пошкоджень газом, що виходить з високою температурою, вигрібання з печі матеріалів, охолодження печі і попередження утворення вибухонебезпечних сумішей в газопроводах, повітропроводах і на колошнику.

Видувка зводиться до проплавлення шихтових матеріалів, що знаходяться в печі без завантаження нових порцій. Оскільки при цьому висота стовпа матеріалів в печі зменшується, температура газу та вміст в ньому CO і H_2 підвищується. Зниження тиску газу в печі може призвести до попадання в робочий простір повітря і утворення вибухонебезпечної суміші.

Для оберігання колошникової частини печі від дії високих температур і для попередження утворення вибухонебезпечних сумішей необхідно приймати спеціальні заходи.

У практиці відомо три способи видувки:

- 1) із застосуванням вапняку;
- 2) із застосуванням коксового сміття;
- 3) без заповнення об'єму печі, що звільняється, яким-небудь матеріалом.

Найбільш розповсюджений є третій спосіб.

Після припинення завантаження до печі шихтових матеріалів з метою зниження температури колошникового газу в піч подається вода. Для подачі води заздалегідь підводяться водопровідні труби до кожного газовідводу, в газовий затвор засипного апарату і до купольної частини печі.

Кількість води, що подається до печі, регулюється так, щоб температура колошникового газу не перевищувала 450—500°C і щоб на поверхні шихти не утворювалися калюжі. Наявність води, що не випарувалася, може призвести до вибуху, якщо відбудеться осідання шихти і вода потрапить в область високих температур. Оскільки при подачі води газ сильно збагачується воднем (в результаті відновлення частини води), внаслідок чого збільшується його вибухонебезпека, то необхідно подавати пару під великий конус, в міжконусний простір засипного апарату і пиловловлювач.

Шихтові матеріали опускають до рівня фурм або на 1—2 м вище за нього, після чого випускають залишки чавуну. По мірі опускання шихтових матеріалів відключають воду, що поступає до холодильників шахти. Під час випуску чавуну подачу води до печі зменшують або припиняють зовсім. Після випуску чавуну

припиняють подачу дуття, знімають сопла фурмених приладів, фурми забивають глиною і повністю включають подачу води. Піч залишають в такому стані до тих пір, поки вона повністю охолоне. Через 4—5 годин після зупинки печі подачу води зменшують. Охолодження печі після видувки зазвичай триває 8—10 годин. Як що під час видувки потрібно зупинити піч, то зупинку щоб уникнути вибухів, необхідно проводити тільки з одночасним підпалом газу. Для цього надмірний тиск дуття знижують до 0,01—0,015 Мпа, припиняють подачу води і пари до печі, відкривають люки на газовому затворі засипного апарату і опускають малий конус. На великому конусі, що знаходиться в закритому положенні, розпалюють вогнище з дров, потім конус відкривають і підпалюють газ. Після цього припиняють подачу дуття.

Під час кампанії доменної печі вогнетривка кладка лещаді піддається зносу, завдяки пошкодження кладки утворюється поглиблення, в якому накопичується значна кількість чавуну. Розміри руйнування кладки визначаються конструкцією лещаді, якістю вогнетривів, тривалістю кампанії, температурою в горні. Глибина ями досягає іноді 4 м і більше і в ній накопичується до 2000 т чавуну. Чавун з ями лещаді видаляють в рідкому стані, тобто до зупинки печі. З цієї метою доменну піч обладнують додатковими льоточними отворами, що розташовуються нижче за вісь чавунних льоток.

Рівень розташування нижнього льоточного отвору вибирається залежно від передбачуваної глибини руйнування лещаді. Для встановлення глибини ями використовуються дані про руйнування кладки лещаді в попередню кампанію, а також свідчення термопар або радіометричних датчиків, закладених до вогнетривкої кладки лещаді.

За 3—4 доби до початку видувки печі у додаткових льоток вирізують отвори в кожусі діаметром 300—500 мм і встановлюють жолоби, зварені з листової сталі. Жолоби викладають вогнетривкою цеглою і зверху набивають вогнетривкою глиною. Для прийому чавуну, що випускається з верхнього отвору, використовують чавуновози, а з нижнього — металеві коробки, футеровані вогнетривкою цеглою, які встановлюють на залізничних платформах або сталерозливальних візках.

За 6—7 год до передбачуваного кінця видувки печі припиняють подачу води в холодильники, що розташовані біля допоміжних льоток, холодильники продувають повітрям до повного видалення з них води. У отворах між холодильниками за допомогою перфораторів розбирають вогнетривку кладку на глибину 300—400 мм.

Потім льоточний отвір пропалують в кладці за рахунок теплоти горіння залізних трубок в кисню, що подається до внутрішнього каналу трубок.

За 10—12 діб до видувки піч переводять на виплавку переробного чавуну з підвищеним вмістом марганцю (до 1,2 %), за 4—5 діб вміст марганцю в чавуні збільшують до 1,5—1,8 %, підвищують також нагрів чавуну і знижують основність шлаку. Все це роблять з метою збільшення текучості чавуну, що скупчився в ямі лещади.

За добу до передбачуваної зупинки печі шлак ще більш розкислюють, завантажуючи до печі шихту без флюсу. За 14—15 годин до зупинки печі припиняють завантаження рудної частини шихти і подають 10—15 холостих подач. В цей же час припиняють подачу до дуття добавок і піч переводять на нормальний тиск газу на колошнику. При цьому кількість дуття, що подається до печі, зменшується на 200—300 м³/мин.

Після переведення печі на нормальний тиск газу на колошнику відсікають зрівняльний газопровід, відкривають атмосферні клапани зрівняльного газопроводу і проводять його вентиляцію. Починають подавати пару під великий конус, до міжконусного простору і пиловловлювача. На малий конус завантажують руду, а великий конус залишають частково відкритим на 100—150 мм. Починають подавати воду пекти з тим, щоб температура колошникового газу не піднімалася вище 450—500°C.

Через кожну годину заміряють рівень засипу через один з отворів механічних зондів. При опусканні рівня засипу нижче 10 м знижують кількість вдуваного до печі повітря з розрахунку, щоб до моменту звільнення об'єму печі до заплечиків надмірний тиск дуття складав 0,025—0,030 МПа.

Випускають продукти плавки за встановленим графіком. Останній випуск чавуну проводиться в момент звільнення об'єму печі до розпару, причому для максимального випуску чавуну з метало приймача збільшують кут нахилу чавунної льотки.

Під час останнього випуску чавуну відкривають атмосферні клапани на газовідводах, закривають відсікаючий клапан і піч відключається від газової мережі. В деяких випадках відключення печі від газової мережі проводиться незабаром після припинення завантаження.

Не чекаючи закінчення випуску чавуну, відкривають послідовно спочатку першу, а потім другу льотки для випуску залишків чавуну з ями лещади. При необхідності

під час випуску збільшують надмірний тиск дуття до 0,07 Мпа. Під час випуску закривають клапан змішувача.

Видувку вважають закінченою, коли припиняється горіння коксу в горні, про що свідчить потемніння на фурмах. У цей момент знижують надмірний тиск дуття до 0,01 МПа, повністю відкривають конус засипного апарату, закривають клапан холодного і гарячого дуття на повітронагрівачеві і відкривають фланці фурмених приладів. Після припинення подачі до печі повітря знімають сопла фурмених приладів і продовжують подачу води до печі для її охолодження.

За годину до зупинки печі відокремлюють від загальної газової мережі пиловловлювач і скруббер. Через 1—1,5 годин після зупинки припиняють подачу пари на всіх ділянках печі, газопроводів, пиловловлювачі і скрубери і проводять їх вентиляцію.

Додатки

Д.1. Технологічні розрахунки деяких

показників доменної плавки

Д.1.1. Спрощений перевірочний розрахунок шихти [10]

Перевірочний розрахунок шихти, необхідний при зміні умов плавки, хімічного складу шихтових матеріалів, заміні одного компоненту шихти іншим або при переході на виплавку іншого виду чавуну. Він здійснюється майстром доменної печі один раз за тиждень, а результати розрахунку заносяться у шихтовий журнал.

Доменна піч корисним об'ємом V_n (відповідно до варіанту завдання) працює на агломератах **А** і **Б** (агломератах та обкотишах **А** і **О**). Розрахунок ведеться виходячи з маси залізорудної і коксової подачі.

Коефіцієнт використання корисного об'єму доменної печі (КВКО) для усіх варіантів однаковий і рівний $0.6 \text{ м}^3 \cdot \text{добу/т}$. Винесення пилу з подачі розподіляється пропорційно масам залізорудних матеріалів. Винесення пилу з коксу рівне 1% від маси коксу, але їм можна нехтувати.

Розрахунок

Піч об'ємом $V_n = 1719 \text{ м}^3$ працює на агломератах **А** і **Б**. Витрата агломерату **А** у подачу 14 т, агломерату **Б** – 7 т. Маса залізорудної подачі 21 т. В агломераті **А** містяться: 51.23% Fe; 11.4% SiO_2 ; 13.2% CaO. У агломераті **Б** містяться: 50.08% Fe; 11.85% SiO_2 ; 12.9% CaO. Маса коксової подачі – 5.6 т.

Початкові дані для розрахунку

Залізорудні компоненти шихти, чавун і шлак

Таблиця Д.1.1.

Варіант, №	Корисний об'єм	Залізорудні компоненти шихти	Маса у поданні М-т	Вміст компонентів, %			Винос пилу подачі, В _п , кг	Основність шлаку,	Ванно у шлаку, СаО, %	Елементи Чавуну, %	
				Fe	SiO ₂	CaO				Fe _c	Si _c
1	1719	Аглом. А Аглом. Б	15 7	53,62 54,26	10,21 9,63	12,44 10,31	560	1,26	46,41	93,32	0,73
2	2000	Обкот. Агломер.	8 20	64,32 52,94	2,36 10,67	0,83 12,13	520	1,27	45,93	93,81	0,81
3	1513	Агломер. Обкот.	13 6	53,82 63,77	11,24 2,81	12,95 0,75	610	1,27	46,82	94,13	0,68
4	1386	Аглом. А Аглом. Б	12 6	52,34 54,17	11,12 9,83	13,41 10,69	480	1,28	45,16	93,37	0,76
5	1033	Агломер. Обкот.	10 6	52,87 65,13	10,94 2,11	12,83 0,83	540	1,28	47,61	93,72	0,63
6	2300	Агломер. Обкот.	20 10	54,62 64,27	9,86 2,21	12,17 0,63	430	1,23	46,93	94,57	0,84
7	3200	Агломер. Обкот.	26 14	53,64 63,71	10,37 2,67	12,29 0,71	440	1,19	48,81	94,73	0,67
8	1386	Аглом. А Аглом. Б	12 8	52,46 53,61	10,47 10,64	12,24 12,47	620	1,25	45,38	93,82	0,76
9	1719	Агломер. Зал.руда	17 8	52,92 53,48	10,64 13,26	12,47 0,31	640	1,28	46,19	92,73	0,83
10	1517	Обкот. Зал.руда	10 9	64,82 52,60	2,77 14,71	0,83 0,15	615	1,27	45,61	93,83	0,66
11	5000	Агломер. Обкот.	60 40	55,47 64,15	12,82 2,18	11,05 0,62	950	1,29	47,05	95,11	0,60
12	5500	Агломер. Обкот.	70 40	54,62 65,13	9,86 2,11	12,17 0,83	1070	1,27	47,61	94,73	0,78
13	3000	Аглом. А Аглом. Б	20 30	53,62 54,26	10,21 9,63	12,44 10,31	740	1,25	46,41	93,32	0,58
14	2700	Агломер. Обкотишні	28 12	53,82 63,77	11,24 2,81	12,95 0,75	610	1,23	46,82	94,13	0,55
15	2300	Агломер. Зал.руда	25 10	52,92 53,48	10,64 13,26	12,74 0,31	580	1,20	46,19	92,73	0,53
16	2000	Обкот. Зал.руда	23 7	64,82 52,60	2,77 14,71	0,83 0,14	570	1,22	45,61	93,81	0,69
17	1719	Аглом. А Аглом. Б	15 10	52,34 54,17	11,12 9,83	13,41 10,69	335	1,23	45,43	95,35	0,74
18	1513	Агломер. Обкот.	14 7	52,87 65,13	10,94 2,11	12,83 0,83	345	1,21	47,61	93,72	0,59
19	1386	Аглом. А Аглом. Б	12 6	52,46 53,61	11,23 10,47	12,24 12,47	495	1,14	46,17	92,87	0,54
20	1033	Агломер. Зал.руда	14 3	52,92 53,48	10,64 13,26	12,47 0,33	330	1,18	48,81	94,73	0,50

Варіант, №	Параметри коксу					Склад вапняку, %		
	Маса у подачі, M_k , кг	Зола у коксі, A , %	Склад золи, %			SiO_{2b}	CaO_b	MgO_b
			Fe_k	SiO_{2k}	CaO_k			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	6100	10,43	15,36	41,82	5,34	1,32	52,64	1,75
2	7200	9,80	14,83	39,61	6,27	1,28	52,83	1,44
3	5600	11,07	17,24	43,27	4,73	1,44	51,90	1,92
4	5400	10,61	16,40	40,42	7,46	1,37	52,31	1,56
5	4500	9,44	19,32	42,70	3,86	1,52	52,62	1,65
6	8300	9,82	18,02	43,11	4,56	1,31	51,93	1,68
7	10500	10,26	15,41	39,23	5,72	1,40	52,08	1,84
8	5400	10,05	16,29	40,81	6,42	1,48	52,45	1,79
9	6800	9,76	14,92	41,35	4,91	1,53	51,14	1,82
10	5500	9,23	17,40	40,41	5,14	1,37	50,92	2,36
11	28000	10,43	14,83	43,27	7,46	1,52	51,93	1,84
12	32000	9,80	17,24	40,42	3,86	1,31	52,08	1,79
13	14000	11,07	16,40	42,70	4,56	1,40	52,45	1,82
14	12000	10,61	19,32	43,11	5,72	1,48	51,14	2,36
15	10000	9,44	18,02	39,23	6,42	1,53	50,92	1,75
16	8500	9,82	15,41	40,81	4,91	1,37	52,64	1,44
17	7000	10,25	16,29	41,35	5,14	1,32	52,83	1,92
18	6000	10,06	14,93	40,41	5,34	1,28	51,90	1,56
19	5200	9,76	17,40	41,82	6,27	1,44	52,31	1,65
20	5000	9,23	15,36	39,61	4,73	1,37	52,62	1,68

У коксі міститься 10,1 % золи, а у золі коксу: 41.3% SiO_2 ; 3.4% CaO та 15.82% Fe . Винесення пилу з однієї подачі складає 600 кг, основність шлаку $CaO/SiO_2 = 1.25$, вміст CaO у шлаку -47.0%. У чавуні міститься 94.5% Fe і 0.70% Si . Коефіцієнт використання корисного об'єму рівний 0.61 м³·добу/т.

Розрахунок ведеться, виходячи з маси залізородної та коксової подачі.

1. Кількість кремнезему, що вноситься у доменну піч агломератом та коксом:

$$SiO_{2n} = (M_a - B_a) \cdot SiO_{2a} / 100 + (M_b - B_b) \cdot SiO_{2b} / 100 + (M_k - B_k) \cdot A_k \cdot SiO_{2k} / (100 \cdot 100) =$$

$$(14000 - 400) \cdot 11.4 / 100 + (7000 - 200) \cdot 11.85 / 100 + 5600 \cdot 10 \cdot 41.3 / (100 \cdot 100) =$$

2588 кг

де M_a , M_b і M_k – відповідно маси агломерату **A** і **B**, що входять до складу шихти, а також маса коксу, кг; B_a , B_b і B_k – винесення пилу агломерату **A**, **B** та коксу відповідно у кг; SiO_{2a} , SiO_{2b} і SiO_{2k} – вміст кремнезему відповідно в агломератах **A**, **B** та золі коксу, %; A_k – зола коксу %.

2. Кількість вапна, що вноситься у доменну піч агломератом і коксом:

$$\begin{aligned}\text{CaO}_{\text{п}} &= (\text{M}_{\text{а}} - \text{B}_{\text{а}}) \cdot \text{CaO}_{\text{а}} / 100 + (\text{M}_{\text{б}} - \text{B}_{\text{б}}) \cdot \text{CaO}_{\text{б}} / 100 + (\text{M}_{\text{к}} - \text{B}_{\text{к}}) \cdot \text{A}_{\text{к}} \cdot \text{CaO}_{\text{к}} / (100 \cdot 100) = \\ &= (14000 - 400) \cdot 13.2 / 100 + (7000 - 200) \cdot 12.9 / 100 + 5600 \cdot 10 \cdot 3.4 / (100 \cdot 100) = \\ &= \mathbf{2678 \text{ кг}}\end{aligned}$$

де $\text{CaO}_{\text{а}}$, $\text{CaO}_{\text{б}}$ і $\text{CaO}_{\text{к}}$ – вміст вапна відповідно в агломератах **А**, **Б** і золі коксу, %.

3. Кількість заліза, що вноситься у доменну піч агломератом і коксом:

$$\begin{aligned}\text{Fe} &= (\text{M}_{\text{а}} - \text{B}_{\text{а}}) \cdot \text{Fe}_{\text{а}} / 100 + (\text{M}_{\text{б}} - \text{B}_{\text{б}}) \cdot \text{Fe}_{\text{б}} / 100 + (\text{M}_{\text{к}} - \text{B}_{\text{к}}) \cdot \text{A}_{\text{к}} \cdot \text{Fe}_{\text{к}} / 100 \cdot 100 = \\ &= (14000 - 400) \cdot 51.23 / 100 + (7000 - 200) \cdot 50.08 / 100 + 5600 \cdot 10 \cdot 15.82 / (100 \cdot 100) = \\ &= \mathbf{10439 \text{ кг}}\end{aligned}$$

де $\text{Fe}_{\text{а}}$, $\text{Fe}_{\text{б}}$ і $\text{Fe}_{\text{к}}$ – вміст заліза відповідно в агломератах **А**, **Б** і золі коксу, %.

4. Вихід чавуну з однієї подачі:

$$\text{Fe}_{\text{п}} = \text{Fe} \cdot 100 / \text{Fe}_{\text{ч}} = 10439 \cdot 100 / 94.5 = \mathbf{11070 \text{ кг}}$$

де $\text{Fe}_{\text{ч}}$ – вміст заліза у чавуні, %.

5. Витрата кремнезему на кремній чавуну:

$$\text{SiO}_{2\text{ч}} = \text{Fe}_{\text{п}} \cdot 60 \cdot \text{Si}_{\text{ч}} / (100 \cdot 28) = 11070 \cdot 60 \cdot 0.7 / (100 \cdot 28) = \mathbf{165 \text{ кг}}$$

де **60** і **28** – молекулярна маса кремнезему і атомна маса кремнію відповідно; $\text{Si}_{\text{ч}}$ – вміст кремнію у чавуні, %.

6. Кількість кремнезему, який переходить у шлак:

$$\text{SiO}_{2\text{ш}} = \text{SiO}_{2\text{п}} - \text{SiO}_{2\text{ч}} = 2588 - 165 = \mathbf{2423 \text{ кг}}$$

7. Необхідна кількість вапна у шлаку при заданій основності

$$\text{O}_{\text{ш}} \cdot \text{CaO}_{\text{шш}} = \text{SiO}_{2\text{ш}} \cdot \text{O}_{\text{ш}} = 2423 \cdot 1.25 = \mathbf{2988 \text{ кг}}$$

8. Необхідно внести вапна вапняком у шихту:

$$\text{CaO}_{\text{в}} = \text{CaO}_{\text{ш}} - \text{CaO}_{\text{п}} = 2988 - 2678 = \mathbf{310 \text{ кг}}$$

9. Флюсуюча здатність вапняку:

$$\text{CaO}_{\text{ф}} = \text{CaO}_{\text{в}} + \text{MgO}_{\text{в}} - \text{SiO}_{2\text{в}} \cdot \text{O}_{\text{ш}} = 52.7 + 1.8 - 1.3 \cdot 1.25 = \mathbf{52.87\%}$$

де $\text{CaO}_{\text{в}}$, $\text{MgO}_{\text{в}}$ і $\text{SiO}_{2\text{в}}$ – відповідно вміст у вапняку вапна, магнезії і кремнезему, %.

10. Необхідна кількість вапняку у подачі:

$$\text{CaCO}_{3\text{п}} = \text{CaO}_{\text{в}} \cdot 100 / \text{CaO}_{\text{ф}} = 310 \cdot 100 / 52.87 = \mathbf{587 \text{ кг}}$$

Кількість вапняку у подачі приймається заокруглено відповідно до точності зважування вагон-вагами $\pm 25 \text{ кг}$.

11. Вихід шлаку з однієї подачі:

$$\text{Ш}_{\text{п}} = \text{CaO}_{\text{шш}} \cdot 100 / \text{CaO}_{\text{ш}} = 2988 \cdot 100 / 47 = \mathbf{6350 \text{ кг}}$$

де $\text{CaO}_{\text{ш}}$ – вміст вапна у шлаку, %.

12. Вихід шлаку на тону чавуну:

$$\text{Ш}_{\text{т}} = \text{Ш}_{\text{п}} \cdot 1000 / \text{Fe}_{\text{п}} = 6350 \cdot 1000 / 11070 = \mathbf{574 \text{ кг/т.}}$$

13. Витрата коксу на тону чавуну:

$$K_{\text{пв}} = M_{\text{к}} \cdot 1000 / Fe_{\text{п}} = 5600 \cdot 1000 / 11070 = \mathbf{506 \text{ кг/т}}$$

14. Розрахунок продуктивності доменної печі:

$$П = V_{\text{п}} / KBKO = 1719 / 0,61 = \mathbf{2800 \text{ т/сут}}$$

де $V_{\text{п}}$ – корисний об'єм доменної печі, м^3 ; $KBKO$ – коефіцієнт використання корисного об'єму доменної печі, $\text{м}^3 \cdot \text{добу/т}$.

15. Для розрахованої продуктивності печі необхідно завантажувати подачі:

$$N = П \cdot 1000 / Fe_{\text{п}} = 2800 \cdot 1000 / 11070 = \mathbf{252 \text{ шт.}}$$

16. Інтенсивність ходу доменної печі за кількістю спаленого коксу:

$$I_{\text{к}} = M_{\text{к}} \cdot N / V_{\text{п}} = 5600 \cdot 252 / 1719 = \mathbf{822 \text{ кг/м}^3}.$$

Д.1.2. Коригування шихти при зміні зольності й вологості коксу

Однією з умов рівного ходу доменної печі й нормального теплового стану горну є постійність якості завантажуваного у піч коксу. При зміні показників якості коксу (барабанної проби, вмісту золи, сірки, летючих речовин, води) відповідне коригування шихти потрібно проводити одночасно з початком завантаження у піч коксу із зміненим складом.

Збільшення золи й води у коксі зменшують в ньому відносний вміст вуглецю, а, отже, і прихід тепла у доменну піч.

Розрахунок

Вміст золи й води у новому маршруті коксу зріс відповідно на $dA = 1,89\%$ і $dW = 2,07\%$.

Величина коксової подачі була $M_{\text{к}} = 6000 \text{ кг}$ $SiO_{2\text{к}} = 40\%$.

1. Для збереження теплового стану печі незмінним, необхідно збільшити масу коксу у подачі:

$$DM_{\text{к1}} = M_{\text{к}} \cdot (dA + dW) / 100 = 6000 \cdot (0,89 + 2,07) / 100 = \mathbf{177,6 \text{ кг}}$$

2. Збільшення витрати коксу і його зольності збільшило прихід кремнезему у піч:

$$\begin{aligned} SiO_{2\text{п}} &= (M_{\text{к}} \cdot dA + dM_{\text{к1}} \cdot (A + dA)) \cdot SiO_{2\text{к}} / (100 \cdot 100) = \\ &= (6000 \cdot 0,89 + 177,6 \cdot (9,6 + 0,89)) \cdot 40 / (100 \cdot 100) = \mathbf{28,8 \text{ кг}} \end{aligned}$$

де A – вміст золи у базовому (попередньому) коксі %; $SiO_{2\text{к}}$ – вміст кремнезему у золі коксу %.

3. Для збереження заданої основності шлаку необхідно збільшити кількість вапняку:

$$\begin{aligned} SiO_{2\text{п}} &= (M_{\text{к}} \cdot dA + dM_{\text{к1}} \cdot (A + dA)) \cdot SiO_{2\text{к}} / (100 \cdot 100) = \\ &= (6000 \cdot 0,89 + 177,6 \cdot (9,6 + 0,89)) \cdot 40 / (100 \cdot 100) = \mathbf{28,8 \text{ кг}} \end{aligned}$$

Початкові дані за варіантами

Питома витрата коксу для всіх варіантів $K_{\text{пв}} = 580 \text{ кг/т}$ чавуну.

Параметри шихти та шлаку

Таблиця Д.1.3.

Варіант, №, шп	Маса коксу у подачі, $M_{\text{к}}, \text{т}$	Базова Зольність Коксу, $A, \%$	Кремнезем у золі коксу, $\text{SiO}_{2\text{к}}, \%$	Зміна зольності коксу, $dA, \%$	Зміна вологості коксу, $dW, \%$	Основність шлаку, $O_{\text{ш}}$	Флюсуюча здатність вапняку, $\text{CaO}_{\text{ф}}, \%$
1	6,1	10,43	41,82	+ 0,78	+ 1,85	1,26	52,34
2	7,2	9,80	39,61	+ 0,86	+ 2,16	1,27	52,64
3	5,6	11,07	43,27	- 0,94	- 1,36	1,27	51,98
4	5,4	10,61	40,42	- 0,68	+ 1,93	1,28	51,63
5	4,5	9,44	42,70	+ 0,73	- 1,58	1,28	52,16
6	8,3	9,82	43,11	+ 0,93	+ 1,78	1,23	51,27
7	10,5	10,26	39,23	- 0,86	- 2,07	1,19	50,86
8	5,4	10,05	40,81	+ 1,08	+ 2,36	1,25	51,37
9	6,8	9,76	41,35	- 1,16	- 1,73	1,28	53,08
10	5,5	9,23	40,41	+ 0,87	+ 1,18	1,27	52,19
11	28,0	10,43	43,27	- 0,58	- 1,58	1,29	50,86
12	32,0	9,80	40,42	+ 0,73	+ 1,78	1,27	51,37
13	14,0	11,07	42,70	+ 0,93	- 2,07	1,25	53,08
14	12,0	10,61	43,11	- 0,86	+ 2,36	1,23	52,19
15	10,0	9,44	39,23	+ 1,08	- 1,73	1,20	50,86
16	8,5	9,82	40,81	- 1,16	+ 1,18	1,22	51,37
17	7,0	10,25	41,35	+ 0,87	- 1,58	1,23	53,08
18	6,0	10,06	40,41	- 0,58	+ 1,78	1,21	51,37
19	5,2	9,76	41,82	+ 0,76	- 2,07	1,14	50,86
20	5,0	9,23	39,61	- 1,1	+ 1,55	1,18	51,77

де A – вміст золи у базовому (попередньому) коксі %; $\text{SiO}_{2\text{к}}$ – вміст кремнезему у золі коксу %.

4. Для збереження заданої основності шлаку необхідно збільшити кількість вапняку:

$$\text{CaCO}_{3\text{ш}} = \text{SiO}_{2\text{ш}} \cdot O_{\text{ш}} \cdot 100 / \text{CaO}_{\text{ф}} = 28,8 \cdot 1,25 \cdot 100 / 51,47 = \mathbf{69,7 \text{ кг}}$$

де $O_{\text{ш}}$ – основність (CaO/SiO_2) шлаку; $\text{CaO}_{\text{ф}}$ – здатність вапняку флюсувати, %. Кількість вапняку у подачі приймається заокруглено відповідно до точності зважування вагон-вагами, причому, якщо кількість вапняку за розрахунком

нижче 100 кг, то або додають 100 кг, або залишають його незмінним залежно від виду шлаку.

5. Збільшення кількості вапняку на 72 кг спричиняє за собою необхідне збільшення витрати коксу 0,5% на кожні 10 кг/т вапняку [2]:

$$dM_{к2} = K_{пв} \cdot CaCO_{3п} \cdot 0,5 / 10 \cdot 100 = 580 \cdot 69,7 \cdot 0,5 / 10 \cdot 100 = 20,2 \text{ кг}$$

6. Загальна кількість додаткового коксу

$$dM_{к} = dM_{к1} + dM_{к2} = 177,6 + 20,2 = \mathbf{197,8 \text{ кг}}$$

Додаткову кількість коксу круглять залежно від точності зважування коксу вагами, тому приймаємо **200 кг** у подачу. Загальна вага подачі коксу після коректування дорівнює **6200 кг**

Примітка. При зміні (погіршенні) якості й складу коксу витрату його на 1 т чавуну орієнтовно змінюють (збільшують) в наступних розмірах, кг:

- зниження вмісту вуглецю на 1 % 15-20
- збільшення вмісту золи на 1 % 6
- збільшення вмісту сірки на 0,1% 4-7
- збільшення вмісту вологи на 1 % 5-6
- зменшення показника M_{40} на 1 % 8.

Кількість коксу у подачі при нормальному нагріві печі не змінюють, якщо коливання вологи не перевищують 0,8%, а коливання золи 0,2%.

Д.1.3. Визначення витрати дуття на фурмах доменної печі [10]

Для визначення кількості вуглецю коксу, який дійшов до фурм, необхідно провести розрахунок витрати вуглецю однієї тони коксу в процесі його руху від колошника до горна.

Розрахунок

Розрахунок ведеться на тону коксу (1000 кг)

1. Маса сухого коксу:

$$M_{кс} = 1000 - W \cdot 1000 / 100 = 1000 - 2,5 \cdot 1000 / 100 = \mathbf{975 \text{ кг/т коксу}}$$

де **W** - вологість коксу, %.

2. Кількість вуглецю у коксі:

$$C_{к} = M_{кс} - (A + L + S) \cdot M_{кс} / 100 = 975 - (10 + 1 + 1,4) \cdot 975 / 100 = \mathbf{854,1 \text{ кг}}$$

де **A**, **L** і **S** – відповідно вміст у коксі золи, летючих речовин та сірки, %.

Початкові дані

Параметри коксу, чавуну і дуття

Таблиця Д.1.4.

Варіант, №	Питома витрата коксу, $K_{\text{ав}}$, кг/т	Технічний аналіз коксу, %				Хімічний склад чавуну, %					Ступінь прямого відновлення, Γ_a	Витрата С на CH_4 , %	Вологість дуття, %
		Зола, А	Летучі, L	Сірка, S	Волога, W	Кремій, $\text{Si}_\text{г}$	Марганець, $\text{Mn}_\text{г}$	Фосфор, $\text{P}_\text{г}$	Сірка, $\text{S}_\text{г}$	Вуглець, $\text{C}_\text{г}$			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	650	10,4	1,07	1,46	2,36	0,73	0,58	0,12	0,033	4,17	0,32	0,83	1,34
2	615	9,80	0,98	1,52	3,16	0,81	0,64	0,10	0,047	4,42	0,34	0,76	1,18
3	593	11,1	0,93	1,38	1,92	0,68	0,52	0,09	0,041	4,62	0,29	0,87	1,63
4	585	10,6	1,18	1,44	2,68	0,76	0,57	0,11	0,034	4,16	0,35	0,66	2,14
5	640	9,44	1,13	1,32	1,46	0,63	0,51	0,08	0,045	4,86	0,28	0,72	1,78
6	635	9,82	0,76	1,56	1,18	0,84	0,53	0,13	0,028	4,19	0,27	0,78	1,37
7	630	10,3	1,14	1,42	2,14	0,67	0,65	0,16	0,043	4,23	0,38	0,93	1,42
8	602	10,1	0,98	1,39	2,60	0,76	0,58	0,14	0,039	5,08	0,35	0,74	1,06
9	645	9,76	1,16	1,58	1,76	0,83	0,66	0,10	0,044	4,32	0,30	0,85	1,12
10	590	9,23	0,83	1,47	1,93	0,66	0,69	0,09	0,037	4,67	0,36	0,80	2,07
11	610	10,4	0,92	1,53	3,50	0,60	0,50	0,20	0,035	4,36	0,35	0,72	1,50
12	580	9,80	1,20	1,50	2,70	0,78	0,55	0,10	0,032	4,20	0,32	0,67	2,00
13	560	11,1	0,90	1,43	2,50	0,58	0,51	0,12	0,045	4,50	0,32	0,62	1,30
14	570	10,6	0,85	1,40	2,70	0,55	0,45	0,10	0,039	4,55	0,31	0,71	1,20
15	550	9,44	0,87	1,42	2,75	0,53	0,50	0,11	0,050	4,60	0,30	0,80	1,00
16	620	9,82	0,98	1,58	1,95	0,69	0,56	0,13	0,040	4,19	0,38	0,74	1,15
17	630	10,3	1,17	1,59	3,00	0,74	0,52	0,09	0,048	4,43	0,32	0,78	1,25
18	600	10,1	0,84	1,54	2,60	0,59	0,47	0,12	0,037	4,41	0,35	0,87	2,05
19	595	9,76	0,92	1,50	2,43	0,54	0,49	0,11	0,047	4,47	0,39	0,69	1,55
20	545	9,23	0,71	1,31	2,10	0,50	0,46	0,08	0,051	4,21	0,30	0,60	1,01

3. Кількість вуглецю, що витрачається на утворення метану колошникового газу:

$$C_{CH_4} = C_k \cdot \% C_{CH_4} / 100 = 854,1 \cdot 0,8 / 100 = \mathbf{6,83 \text{ кг}}$$

де $\% C_{CH_4}$ – витрата вуглецю на утворення метану, %.

4. Кількість вуглецю, що витрачається на розчинення у чавуні:

$$C_q = 1000 \cdot \% C_q / (K_{пв} \cdot 100) = 1000 \cdot 4,5 / (0,65 \cdot 100) = \mathbf{69,23 \text{ кг}}$$

де $\% C_q$ – вміст вуглецю у чавуні, %; $1000/K_{пв}$ – вихід чавуну з розрахунку на 1 т коксу, кг; $K_{пв}$ – питома витрата коксу, т/т чавуну.

5. Окислюється вуглецю шихтою і дуттям:

$$C_{шд} = C_k - (C_{CH_4} + C_q) = 854,1 - (6,83 + 69,23) = \mathbf{778,04 \text{ кг}}$$

6. Окислюється вуглецю шихтою, тобто витрачається на пряме відновлення заліза, марганцю, кремнію і фосфору за реакціями:



$$C_{ш} = (Fe_q \cdot rd \cdot 12/56 + Mn_q \cdot 12/55 + Si_q \cdot 24/28 + P_q \cdot 60/62) / (K_{пв} \cdot 100) = \\ = (94,04 \cdot 0,3 \cdot 12/56 + 0,5 \cdot 12/55 + 0,8 \cdot 24/28 + 0,08 \cdot 60/62) / (0,65 \cdot 100) = \mathbf{106,4 \text{ кг}}$$

де Fe_q – вміст заліза у чавуні (%), що розраховується з хімічного складу останнього:

$$Fe_q = 100 - (Mn_q + Si_q + P_q + S_q + C_q);$$

12, 56, 55, 28, 31 – атомні маси відповідно вуглецю, заліза, марганцю, кремнію та фосфору.

7. Кількість вуглецю, що згорає на фурмах:

$$C_f = C_{шд} - C_{ш} = 778,04 - 106,4 = \mathbf{671,64 \text{ кг}}$$

8. На спалювання вуглецю біля фурм за реакцією $2C + O_2 = 2CO$ потрібно кисню:

$$O_2 = C_f \cdot 22,4 / (2 \cdot 12) = 671,64 \cdot 22,4 / (2 \cdot 12) = \mathbf{626,9 \text{ м}^3}.$$

9. Вміст кисню у вологому дутті:

$$O_{2д} = \% O_{2д} \cdot (1 - \% H_2O_d / 100) + O_{2в} = 21 \cdot (1 - 1/100) + 0,5 = \mathbf{21,29 \%},$$

де $\% O_{2д}$ – кількість кисню у сухому дутті, %; $\% H_2O_d$ – вологість дуття, %; $O_{2в}$ – кількість кисню (%), яка утворюється при розкладанні води у горні печі за реакцією: $H_2O = H_2 + 0,5O_2$.

10. Кількість дуття, яка необхідна для спалювання на фурмах вуглецю з однієї тони коксу, завантаженого у доменну піч:

$$Q_d = O_2 \cdot 100 / O_{2d} = 626,9 \cdot 100 / 21,29 = 2944,6 \text{ м}^3.$$

Д.1.4. Розрахунок, корегування дуття, природного газу і коксу при зміні тиску газу під колошником [10].

При вимушеному тимчасовому переведенні доменної печі на нормальний тиск, у дуттєвому режимі корегують повітряне дуття і природний газ, що спричиняє коригування витратикоксу.

Розрахунок

Доменна піч об'ємом **1513 м³** працювала з тиском під колошником **P_к = 150 кПа**, кількістю дуття **Q_д = 2500 м³/хвил.**, кількістю природного газу **Q_{пг} = 170 м³/хвил.** З технологічних причин тиск під колошником був знижений до **90 кПа**.

Для того, щоб зберегти незмінним перепад тиску газу в печі при зменшеному тиску газу під колошником **P_н = 90 кПа**, кількість дуття зменшують з розрахунку 2% на 10 кПа зменшення тиску газу під колошником.

1. Відсоток зменшення кількості дуття відповідно до зниженого тиску під колошником:

$$\% Q_d = (P_k - P_n) \cdot 2 / 10 = (150 - 90) \cdot 2 / 10 = 12 \text{ \%}.$$

де **P_к** і **P_н** – тиск під колошником і нормальний (знижений) тиск, кПа;

2. Кількість дуття необхідно зменшити на наступну величину:

$$dQ_d = \% Q_d \cdot Q_d / 100 = 12 \cdot 2500 / 100 = 300 \text{ м}^3/\text{хвил.}$$

де **Q_д** – початкова кількість дуття, м³/хвил.

3. Кількість природного газу повинна бути зменшена пропорційно дуттю:

$$dQ_{пг} = Q_{пг} \cdot \% Q_d / 100 = 170 \cdot 12 / 100 = 20,4 \text{ м}^3/\text{хвил.}$$

де **Q_{пг}** – початкова кількість природного газу, м³/хвил.

Для збереження нормального теплового стану печі необхідно скоректувати витрату коксу з наступного розрахунку: 1м³ природного газу еквівалентний 1кг коксу.

4. При зменшенні кількості природного газу на **dQ_{пг} м³/хвил.**, кількість коксу у подачу потрібно збільшити на наступну величину:

$$dM_k = dQ_{пг} / N_m = 20,4 / 7 = 3 \text{ кг}$$

Початкові дані

Параметри дуття доменних печей різного об'єму Таблиця Д.1.5.

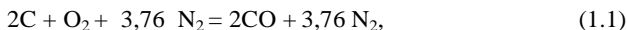
Варіант, №	Корисний об'єм печі, $V_{\text{п}}, \text{м}^3$	Кількість дуття, $Q_{\text{д}}, \text{м}^3/\text{хвил}$	Кількість природного газу, $Q_{\text{пг}}, \text{м}^3/\text{хвил}$	Кількість вологи дуття, $\text{H}_2\text{O}_{\text{д}}, \text{г}/\text{м}^3$	Кількість кисню, $\text{O}_{2,\text{д}}, \text{м}^3/\text{хвил}$	Тиск на колошнику $P_{\text{к}}, \text{аті}$	Знижений тиск $P_{\text{в}}, \text{аті}$	Кількість подач за хвилину $N_{\text{п}}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1719	2900	100	10,72	90	1,6	0,8	8
2	2000	3000	150	9,44	125	1,4	0,4	9
3	1513	2600	120	13,04	100	1,5	0,6	7
4	1386	2300	90	17,12	85	1,3	0,5	7
5	1033	1900	80	14,24	50	1,7	0,7	8
6	2300	3200	140	10,96	115	1,5	0,5	8
7	3200	4700	210	11,36	210	1,5	0,4	8
8	1386	2400	90	8,48	80	1,4	0,3	6
9	1719	3000	160	8,96	130	1,6	0,6	7
10	1513	2550	170	16,56	135	1,35	0,4	7
11	5000	9300	250	12,0	220	1,9	0,5	8
12	5500	10100	290	16,0	240	1,95	0,45	7,5
13	3000	4500	220	10,4	205	1,6	0,2	7
14	2700	3900	185	9,6	195	1,7	0,3	7
15	2300	3500	140	8,0	117	1,5	0,25	6
16	2002	3100	180	9,2	140	1,55	0,45	8
17	1719	3000	160	10,0	130	1,6	0,6	7
18	1513	2550	170	16,4	135	1,35	0,4	7
19	1386	2400	90	12,4	80	1,4	0,3	6
20	1033	1800	80	8,08	55	1,2	0,2	6

де $N_{\text{п}}$ – кількість подач, що завантажуються у піч протягом години при її роботі на нормальному тиску газу під колошником, шт.

Після усунення неполадки піч переводять на підвищений тиск газу під колошником, відповідно коригуючи кількість дуття, природного газу і коксу.

Д.1.5. Визначення кількості і складу горнового газу при зміні складу дуття [10].

При зміні вмісту природного газу, кисню й води у дутті змінюється кількість горнового газу, його хімічний склад і температура. При сухому незбагаченому дутті кількість горнового газу, який утворюється, по відношенню до кількості дуття, зростає згідно відомої реакції:



тобто кожна об'ємна одиниця кисню дуття (кг-моль), перетворюється на дві об'ємні одиниці (кг-моль) оксиду вуглецю, який утворюється, а коефіцієнт при азоті рівний співвідношенню відсотка азоту в сухому атмосферному дутті до кисню $3,76 = 79 / 21$.

Розрахунок

Початкові дані для розрахунку наведені у таблиці 1.5 за варіантами.

1. Склад горнового газу у цьому випадку визначається з виразів:

$$\% CO = 2 \cdot 100 / (2 + 3,76) = \mathbf{34,72 \%}$$

$$\% N_2 = 3,76 \cdot 100 / (2 + 3,76) = \mathbf{65,28 \%}$$

де 2 і 3,76 – коефіцієнти пропорційності правої частини рівняння (1.1).

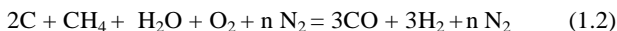
2. Кількість горнових газів від 100% (4,76) сухого атмосферного дуття складе наступну величину у відсотках:

$$\% Q_{гг} = 5,76 \cdot 100 / 4,76 = \mathbf{1,21\%, \text{ або у кубометрах:}}$$

$$Q_{гг} = 5,76 \cdot Q_d / 4,76 = 5,76 \cdot 2500 / 4,76 = \mathbf{3025,2 \text{ м}^3/\text{хвил}}$$

де **5,76** і **4,76** сума молекул горнового газу у правій і дуття у лівій частинах рівняння (1); Q_d – кількість сухого атмосферного дуття на доменну піч, $\text{м}^3/\text{хвил}$.

При додаванні у дуття природного газу $CH_{4д}$, кисню $O_{2д}$ й води H_2O_d , процентний склад горнового газу розраховується згідно рівнянню реакції горіння:



де n – коефіцієнт, який залежить від співвідношення кількості азоту $N_{2кд}$ й кисню $O_{2кд}$ у комбінованому дутті: $n = N_{2кд} / O_{2кд}$.

Додатковий кисень входить до складу дуття, оскільки подається у дуття перед повітродувною. Для визначення коефіцієнта n задамося витратами:

- дуття $Q_d = 2630 \text{ м}^3/\text{хвил}$;
- води $H_2O_d = 11,1 \text{ г/м}^3$ дуття (оскільки 1% води у дутті складає 8 г/м^3 , то $11,1 / 8 = 1,4\%$, отже $\varphi = 0,014$), вода атмосферна, тобто спеціально не додається;
- кисню $O_{2д} = 130 \text{ м}^3/\text{хвил}$;
- природного газу $CH_{4д} = 190 \text{ м}^3/\text{хвил}$, для спрощення розрахунків вважаємо, що природний газ складається тільки з метану.

3. Перерахуємо вологу дуття на $\text{м}^3/\text{хвил}$, для цього поділимо її значення у г/м^3 на

питому масу, рівну молекулярній масі діленої на її об'єм ($18/22,4 = 0,8 \text{ кг/м}^3$, або 800 г/м^3) і помножимо на кількість дуття:

$$\text{H}_2\text{O}_\text{д} = 11,1 \cdot 2630 / 800 = \mathbf{36,5 \text{ м}^3/\text{хвил.}}$$

4. Азот у комбінованому дутті знаходиться в основному у сухому повітряному дутті і, відповідно до його процентного складу (79%), його кількість складе:

$$\text{N}_{2\text{кд}} = (\text{Q}_\text{д} - \text{O}_{2\text{д}} - \text{H}_2\text{O}_\text{д}) \cdot 79/100 = (2630 - 130 - 36,5) \cdot 79/100 = \mathbf{1965,2 \text{ м}^3/\text{хвил.}}$$

5. Кисень у комбінованому дутті знаходиться у сухому атмосферному повітрі, у волозі $\text{H}_2\text{O}_\text{л}$, $\text{м}^3/\text{хвил.}$, і додатковому кисні $\text{O}_{2\text{д}}$, $\text{м}^3/\text{хвил.}$:

$$\begin{aligned} \text{O}_{2\text{кд}} &= (\text{Q}_\text{д} - \text{O}_{2\text{д}} - \text{H}_2\text{O}_\text{д}) \cdot 21 / 100 + \text{H}_2\text{O}_\text{д} \cdot 50,2 / 100 + \text{O}_{2\text{д}} = \\ &= (2630 - 130 - 36,5) \cdot 21/100 + 36,5 \cdot 50,2/100 + 130 = \mathbf{665,7 \text{ м}^3/\text{хвил.}} \end{aligned}$$

де **21** – кількість кисню у сухому дутті, %; **50,2** – кількість кисню у волозі (H_2O) за об'ємом або 89 по вазі, %.

6. Коефіцієнт $n = 1965,2 / 665,7 = \mathbf{2,95}$.

7. Загальна кількість комбінованого дуття:

$$\text{Q}_{\text{кд}} = \text{Q}_\text{д} + \text{Q}_{\text{пг}} = 2630 + 190 = \mathbf{2820 \text{ м}^3/\text{хвил.}}$$

частка кисню у комбінованому дутті:

$$\omega = \text{O}_{2\text{кд}} / \text{Q}_{\text{кд}} = 665,7 / 2820 = \mathbf{0,236};$$

частка природного газу у комбінованому дутті:

$$\pi = \text{CH}_{4\text{д}} / \text{Q}_{\text{кд}} = 190/2820 = \mathbf{0,067}.$$

8. Кількість горнових газів розраховується за формулою:

$$\text{Q}_{\text{гг}} = \text{Q}_{\text{кд}} \cdot (1 + \omega + 2\varphi + 2\pi) = 2820 \cdot (1 + 0,236 + 2 \cdot 0,014 + 2 \cdot 0,067) = \mathbf{3942,4 \text{ м}^3/\text{хвил.}}$$

де ω , φ , π - частка кисню, води і природного газу у дутті відповідно, а коефіцієнти при них – кількість молекул з кисню, води й природного газу у горнових газах за стехіометрією (див. реакцію 1.2)

У відсотках від вдуваного комбінованого дуття:

$$\% \text{Q}_{\text{гг}} = \text{Q}_{\text{гг}} \cdot 100 / \text{Q}_{\text{кд}} = 3942,4 \cdot 100 / 2820 = \mathbf{139,8\%}.$$

9. Склад горнового газу можна підрахувати за наступними формулами:

$$\begin{aligned} \% \text{CO}_{\text{гг}} &= (2\omega + \varphi) \cdot 100 / (1 + \omega + 2\varphi + 2\pi) = \\ &= (2 \cdot 0,236 + 0,014) \cdot 100 / (1 + 0,236 + 2 \cdot 0,014 + 2 \cdot 0,067) = \mathbf{34,77\%}, \end{aligned}$$

або у кубометрах за хвилину:

$$\text{CO}_{\text{гг}} = Q_{\text{гг}} \cdot \% \text{CO}_{\text{гг}} / 100 = 3942,4 \cdot 34,76 / 100 = \mathbf{1370,4 \text{ м}^3/\text{хвил.}}$$

Те ж для водню:

$$\begin{aligned} \% \text{H}_{2\text{гг}} &= (\varphi + 2\pi) \cdot 100 / (1 + \omega + 2\varphi + 2\pi) = \\ &= (0,014 + 2 \cdot 0,067) \cdot 100 / 1,398 = 10,58 \% \end{aligned}$$

$$\text{H}_{2\text{гг}} = Q_{\text{гг}} \cdot \% \text{H}_{2\text{гг}} / 100 = 3942,4 \cdot 10,58 / 100 = \mathbf{417,1 \text{ м}^3/\text{хвил.}}$$

і азоту:

$$\begin{aligned} \% \text{N}_{2\text{гг}} &= (1 - \omega) \cdot 100 / (1 + \omega + 2\varphi + 2\pi) = \\ &= (1 - 0,236) \cdot 100 / 1,398 = \mathbf{54,65 \%} \end{aligned}$$

$$\text{N}_{2\text{гг}} = Q_{\text{гг}} \cdot \% \text{N}_2 / 100 = 3942,4 \cdot 54,65 / 100 = \mathbf{2154,5 \text{ м}^3/\text{хвил.}}$$

10. Розрахунок ступеня використання водню в доменній печі. Звичайно ступінь використання водню в доменній печі розраховується за аналізом колошникового газу: $\% \text{H}_2\text{O}_{\text{к}} / (\% \text{H}_{2\text{кг}} + \% \text{H}_2\text{O}_{\text{кг}})$, але аналіз вологи колошникового газу не роблять, оскільки у колошниковий газ волога потрапляє ще і з шихти при випаровуванні. Тому надійніше розраховувати показник використання водню за його кількістю, що прийшла у горн, віднявши кількість водню колошникового газу:

$$\eta_{\text{н2}} = 1,5 \cdot (\% \text{H}_{2\text{гг}} - \% \text{H}_{2\text{кг}}) / \% \text{H}_{2\text{гг}} = 1,5 \cdot (10,58 - 7,28) / 10,58 = \mathbf{0,468}.$$

Д.1.6. Розрахунок зміни маси коксу у подачі при зміні температури і вологості дуття [2].

Під час роботи доменної печі виникають ситуації, коли необхідно змінити температуру й вологість дуття за технологічними або конструктивними умовами.

Для збереження колишнього температурного режиму горна печі необхідно визначити підвищення температури дуття при збільшенні його вологості.

Розрахунок

Початкові дані наведені у таблицях 1.1 і 1.5 за варіантами.

1. На розкладання вологи дуття у горні доменної печі за реакцією



витрачається наступна кількість тепла:

$$\text{dQ} = 242810 / 18000 = \mathbf{13,5 \text{ кДж/г H}_2\text{O}},$$

де **18000** – кількість грам води відповідно до її молекулярної ваги.

2. При теплоємності гарячого дуття $C_{\text{д}} = \mathbf{1,5 \text{ кДж/м}^3 \cdot ^\circ\text{C}}$, для компенсації витрат тепла на розкладання 1г вологи, необхідно підвищити температуру дуття на наступну величину:

$$dT_d = dQ / (H_2O_d \cdot C_d) = 13,5 / (1,0 \cdot 1,5) = 9^\circ C$$

де H_2O_d – кількість води, г.

3. Вологість дуття у 1% означає, що у 1 м^3 дуття міститься 10 літрів водяної пари. Один літр пари важить $18/22,4=0,8\text{ г}$. Отже, 1% водяної пари у дутті відповідає:

$$H_2O_d = 0,8 \cdot 10 = 8\text{ г/м}^3.$$

4. Для компенсації витрати тепла на розкладання 8г води (пару) в 1 м^3 дуття необхідно збільшити температуру дуття на наступну величину:

$$T_{\text{кд}} = dT_d \cdot H_2O_d = 9 \cdot 8 = 72^\circ C.$$

Якщо немає можливості компенсувати вологу дуття підвищенням температури, то необхідно збільшувати витрату коксу на подачу відповідно до статистичних даних [2]:

Зменшення вологості дуття на кожен 1 г/м^3

зменшує витрату коксу на0,3 %

Підвищення температури дуття в межах $1000-1100^\circ C$

зменшує витрату коксу на3,3 %

5. Збільшення питомої витрати коксу при додаванні у дуття $H_2O_d = 8\text{ г/м}^3$ води:

$$dK_{y_d} = H_2O_d \cdot 0,3 = 8 \cdot 0,3 = 2,4\%$$

Для визначення добавки кількості коксу на подачу необхідно визначити вихід чавуну залізорудного матеріалу з подачі. Для цього визначається кількість заліза в подачі. Визначається кількість заліза у чавуні за складом чавуну. Ділення цих величин дасть вихід чавуну з подачі. Ділення кількості коксу на подачу на вихід чавуну з подачі дозволить визначити питому витрату коксу.

6. Кількість заліза, що вноситься у доменну піч агломератом і коксом:

$$\begin{aligned} Fe &= (M_a - B_a) \cdot Fe_a / 100 + (M_o - B_o) \cdot Fe_o / 100 + (M_k - B_k) \cdot A_k \cdot Fe_k / 100 \cdot 100 = \\ &= (20000 - 150) \cdot 55 / 100 + (10000 - 50) \cdot 60 / 100 + (8600 - 40) \cdot 10 \cdot 17 / 10000 = \\ &= 17033, \text{ кг} \end{aligned}$$

де Fe_a , Fe_o і Fe_k – вміст заліза відповідно в агломератах А, Б і золі коксу %; B_a , B_o і B_k – винесення пилу з подачі відповідно агломерату, обкотишів і коксу, кг.

7. Вміст заліза у чавуні:

$$\begin{aligned} Fe_q &= 100 - (Si_q + Mn_q + P_q + S_q + C_q) = \\ &= 100 - (0,7 + 0,5 + 0,1 + 0,05 + 4,2) = 94,45\% \end{aligned}$$

8. Вихід чавуну з однієї подачі:

$$Fe_n = Fe \cdot 100 / Fe_q = 17033 \cdot 100 / 94,45 = 18034, \text{ кг}$$

9. Питома витрата коксу з розрахунку на тону чавуну:

$$K_{\text{пв}} = M_{\text{к}} \cdot 1000 / \text{Fe}_{\text{ч}} = 8600 \cdot 1000 / 18034 = 480 \text{ кг}$$

10. Кількість коксу на подачу, яка необхідна для компенсації $V_{\text{в}} = 8 \text{ г/м}^3$ вологи у дутті (або 72°C температури дуття):

$$dK_{\text{п}} = M_{\text{к}} \cdot dK_{\text{пв}} / 100 = 8600 \cdot 2,4 / 100 = 206,4 \text{ кг}$$

Таким чином, для компенсації 8 г/м^3 вологи у дутті (або 72°C гарячого дуття) необхідно додатково додавати у подачу **200 кг коксу**.

Д.1.7. Визначення залізорудного складу подачі при зміні шихтових умов [2]

У доменну піч завантажували трикомпонентну шихту наступного складу:

Вид залізорудної шихти	Агломерат A_1	Агломерат A_2	Обкотиші $O_{\text{к}}$
Кількісний склад %	$A_1 = 80,7$	$A_2 = 6,4$	$O_{\text{к}} = 12,9$
Вміст заліза %	$\% \text{Fe}_{A1} = 55,09$	$\% \text{Fe}_{A2} = 52,9$	$\% \text{Fe}_{O_{\text{к}}} = 65,3$

Обкотиші замінили агломератом A_1 . Слід визначити склад залізорудної частини подачі масою $M_{\text{п}} = 55 \text{ т}$ за умови збереження у ній маси заліза. Маса коксу у подачі дорівнює $M_{\text{кп}} = 15 \text{ т}$.

Розрахунок

Початкові дані наведені у таблицях 1.1 та 1.2. В умовах вважати, що один вид шихтового матеріалу на 50% замінюється іншим.

1. Маса агломерату A_1 , A_2 і обкотишів $O_{\text{к}}$ у подачі відповідно складають:

$$M_{A1} = M_{\text{п}} \cdot A_1 / 100 = 55 \cdot 80,7 / 100 = 44,385 \text{ т}$$

$$M_{A2} = M_{\text{п}} \cdot A_2 / 100 = 55 \cdot 6,4 / 100 = 3,52 \text{ т}$$

$$M_{O_{\text{к}}} = M_{\text{п}} \cdot O_{\text{к}} / 100 = 55 \cdot 12,9 / 100 = 7,095 \text{ т}$$

2. Кількість заліза, що вноситься обкотишами, складає:

$$\text{Fe}_{O_{\text{к}}} = M_{O_{\text{к}}} \cdot \% \text{Fe}_{O_{\text{к}}} / 100 = 7,095 \cdot 65,3 / 100 = 4,633 \text{ т}$$

3. Для покриття дефіциту заліза необхідно збільшити масу агломерату A_1 :

$$dM_{A1} = \text{Fe}_{O_{\text{к}}} \cdot 100 / \% \text{Fe}_{A1} = 4,633 \cdot 100 / 55,09 = 8,410 \text{ т}$$

4. Нова маса агломерату A_1 у подачі повинна бути

$$M_{A1\text{н}} = M_{A1} + dM_{A1} = 44,385 + 8,410 = 52,795 \text{ т}$$

5. Загальна маса рудної подачі складе наступну величину:

$$M_{\text{п}} = M_{A1\text{н}} + M_{A2} = 52,795 + 3,52 = 56,315 \text{ т}$$

Необхідно пам'ятати, що, зберігаючи рудне навантаження відносно кількості

заліза, ми збільшуємо його по відношенню до маси залізорудної складової подачі.

6. Для коригування маси коксу на подачу, беремо те рудне навантаження, яке було:

$$P_n = M_n / M_{\text{кл}} = 55/15 = 3,7 \text{ т/т.}$$

7. Додаткова кількість коксу на подачу повинна бути:

$$dM_{\text{кл}} = M_n / P_n - M_{\text{кл}} = 56,315/3,7 - 15 = 0,22 \text{ т.}$$

Висновок. При заміні обкотишів агломератом **A₁** необхідно додати **220 кг** коксу за подачу, тобто нова маса коксу у подачі складатиме **15,22 т**, замість **15 т** початкових.

Д.1.8. Перешихтовка на чавун іншої марки

При виконанні спеціальних замовлень на чавун часто потрібно переводити доменні печі на виплавку чавуну іншої марки, наприклад, з переробного на ливарний або навпаки. У цьому випадку проводять перешихтовку з урахуванням технологічних особливостей того або іншого виду чавуну.

При переході на ливарний чавун з переробного збільшують витрату коксу відповідно до марки ливарного чавуну, коригують основність шлаку і, часто, склад дуття (зменшують кількість дуття і додають, як правило, кисень).

Зразковий розрахунок

Доменна піч корисним об'ємом $V_n = 1513 \text{ м}^3$ виплавляла переробний чавун марки **П₁** ($Si = 0,7\%$) другої групи ($Mn = 0,75\%$), класу **A** ($P = 0,1\%$), третьої категорії ($S = 0,03\%$). Маса коксової подачі була $M_k = 5700 \text{ кг}$ (питома витрата коксу $K_{\text{пв}} = 506 \text{ кг/т чавуну}$). Золи у коксі було $A = 10,0\%$, а в ній $SiO_2 = 41,3\%$; $CaO = 3,4\%$. Склад шлаку при виплавці переробного чавуну був наступним: $CaO = 48,75\%$; $SiO_2 = 39,0\%$, вихід його 574 кг/т чавуну .

Необхідно перейти на виплавку ливарного чавуну марки **Л2** ($Si = 3\%$) третьої групи ($Mn = 0,7\%$), класу **A** ($P = 0,08\%$), другої категорії ($S = 0,03\%$).

1. Для збільшення вмісту кремнію з 0,7 до 3,0% (на $dSi = 2,3\%$) необхідно збільшити витрату коксу, відповідно до статистичних даних [2, 6] (збільшення кремнію у чавуні на 1% збільшує витрату коксу на 5-15%, у середньому на $dK_{\text{пв}} = 10\%$), на наступну величину:

$$dM_k = M_k \cdot dSi \cdot dK_{\text{пв}} / 100 = 5700 \cdot 2,3 \cdot 10 / 100 = 1311 \text{ кг}$$

2. Величина коксової подачі для виплавки ливарного чавуну дорівнює:

$$M_{\text{кл}} = M_k + dM_k = 5700 + 1311 = 7011 \text{ кг}$$

У зв'язку з тим, що ливарний чавун гарячіший, тому немає необхідності

тримати основність на рівні $O_{ш} = 1,25$ од. При виплавці ливарного чавуну основність шлаку складає 1,05-1,20 од., де нижня межа відповідає висококрем'янистому ливарному чавуну марки Л₁, а верхній – Л₆. Оскільки ми переходимо на марку Л₂, то основність шлаку зміниться і її необхідно розрахувати, виходячи з умови рівних можливостей десульфурзації, що визначається рівністю коефіцієнтів розподілу сірки для переробного і ливарного чавунів, температура шлаку яких в середньому дорівнює 1450 і 1500°C відповідно. При необхідності, для більш точнішого розрахунку температури шлаку можна скористатися емпіричною формулою $T_u = 1462,9 + 57,704 \ln(Si_u)$ приблизно рахуючи, що температура шлаку дорівнює температурі чавуну.

3. Розрахуємо коефіцієнт розподілу сірки L_S для переробного чавуну за відомим складом і температурою шлаку [8]:

$$\begin{aligned} L_{S,1450} &= 98 \cdot (O_{ш} + (MgO + MnO)/SiO_2)^2 - 160 \cdot (O_{ш} + (MgO + MnO)/SiO_2) + 72 - \\ &\quad (0,6 \cdot Al_2O_3 - 0,012 \cdot (Al_2O_3)^2 - 4,032)^4 = \\ &= 98 \cdot (1,25 + (3,96 + 0,27)/39,11)^2 - 160 \cdot (1,25 + (3,96 + 0,27)/39,11) + \\ &\quad + 72 - (0,6 \cdot 7 - 0,012 \cdot 49 - 4,032)^4 = \mathbf{36,4} \end{aligned}$$

де **MgO, MnO SiO₂ і Al₂O₃** – склад шлаку, %.

4. Коефіцієнт розподілу сірки для ливарного чавуну повинен бути таким же, як і для переробного чавуну, щоб одержати таку ж сірку у чавуні. Навіть трохи меншим у зв'язку з тим, що більше сірки випаровується з колошниковими газами:

$$L_{S,1500} = \eta \cdot L_{S,1450} = \mathbf{36,4}$$

$$\begin{aligned} \text{де температурна поправка } \eta &= 2,7 \cdot t/100 - 0,067 \cdot (t/100)^2 - 24,063 = \\ &= 2,7 \cdot 1500/100 - 0,067 \cdot (1500/100)^2 - 24,063 = \mathbf{1,362} \end{aligned}$$

тут t – температура шлаку, °C. Таким чином, нову основність $O_{шл}$ знайдемо з попереднього рівняння четвертого ступеня. Вона дорівнює 1,14.

5. Зменшення кількості кремнезему в шлаку у зв'язку з переходом з шихти у чавун $dSi = 2,3\%$ кремнію:

$$dSiO_{2ш1} = dSi \cdot 60 \cdot 1000 / (28 \cdot Ш_{шв}) = 2,3 \cdot 60 \cdot 1000 / (28 \cdot 574) = \mathbf{8,6\%}$$

$$\text{або } M_K \cdot Ш_{шв} \cdot 8,6 / (K_{шв} \cdot 100) = 5700 \cdot 576 \cdot 8,6 / (506 \cdot 100) = \mathbf{556 \text{ кг}}$$

де **60 і 28** – молекулярні і атомні маси **SiO₂** і **Si** відповідно; **Ш_{шв}** – питома кількість шлаку, кг/т чавуну; **K_{шв}** – питома витрата коксу, кг/т чавуну.

6. Збільшення кількості кремнезему, що перейшов у шлак за рахунок збільшення коксової подачі:

$$dSiO_{2ш2} = dM_K \cdot A_K \cdot SiO_{2K} / (100 \cdot 100) = 1311 \cdot 10 \cdot 41,3 / (100 \cdot 100) = \mathbf{54,1 \text{ кг}}$$

7. Кількість кремнезему у шлаку передільного чавуну:

$$\text{SiO}_{2\text{ш}} = M_{\text{к}} \cdot \text{Ш}_{\text{пв}} \cdot \% \text{SiO}_{2\text{ш}} / (K_{\text{пв}} \cdot 100) = 5700 \cdot 574 \cdot 39 / (506 \cdot 100) = \mathbf{2521,7 \text{ кг}}$$

8. Кількість кремнезему у шлаку ливарного чавуну:

$$\text{SiO}_{2\text{шл}} = \text{SiO}_{2\text{ш}} - d\text{SiO}_{2\text{шл}} + d\text{SiO}_{2\text{шл}} = 2521,7 - 556 + 54,1 = \mathbf{2019,8 \text{ кг}}$$

9. Кількість вапна у шлаку передільного чавуну:

$$\text{CaO}_{\text{ш}} = \text{SiO}_{2\text{ш}} \cdot O_{\text{ш}} = 2521,7 \cdot 1,25 = \mathbf{3152,2 \text{ кг}}$$

10. Кількість вапна у шлаку ливарного чавуну з урахуванням додавання коксу у подачу:

$$\begin{aligned} \text{CaO}_{\text{шл}} &= \text{CaO}_{\text{ш}} + dM_{\text{к}} \cdot A \cdot \% \text{CaO}_{\text{А}} / (100 \cdot 100) = \\ &= 3152,2 + 1311 \cdot 10 \cdot 3,4 / (100 \cdot 100) = \mathbf{3156,7 \text{ кг}} \end{aligned}$$

де A – кількість золи у коксі, %; $\% \text{CaO}_{\text{А}}$ – кількість вапна у золі коксу, %.

11. Основність шлаку ливарного чавуну:

$$O_{\text{шл}} = \text{CaO}_{\text{шл}} / \text{SiO}_{2\text{шл}} = 3156,7 / 2019,8 = \mathbf{1,56}$$

12. Визначимо зайву кількість вапна у шлаку ливарного чавуну, оскільки згідно розрахункам п. 4 вона повинна бути 1,14:

$$\text{CaO}_{\text{л}} = \text{CaO}_{\text{шл}} - O_{\text{шл}} \cdot \text{SiO}_{2\text{шл}} = 3156,7 - 1,14 \cdot 2019,8 = \mathbf{854,1 \text{ кг}}$$

13. Необхідна кількість вапняку, яку необхідно вивести з подачі:

$$d\text{CaCO}_{3\text{п}} = \text{CaO}_{\text{л}} \cdot 100 / \text{CaO}_{\text{ф}} = 854,1 \cdot 100 / 52,87 = \mathbf{1615,5 \text{ кг}}$$

де $\text{CaO}_{\text{ф}}$ – флюсуюча здатність вапняку, %.

14. Коригування коксу на вапняк, виведений з шихти, проводиться відповідно до статистичних даних, наведених у довідниках [2], а саме – зниження витрати коксу 0,5% на кожні 10 кг/т виведеного вапняку. Остаточна скоригована витрата коксу на подачу складе:

$$M_{\text{клк}} = M_{\text{кл}} - d\text{CaCO}_{3\text{п}} \cdot 0,5/10 = 7011 - 1615,5 \cdot 0,05 = \mathbf{6930,2 \text{ кг}}$$

Питома витрата коксу на ливарний чавун даної марки складе:

$$K_{\text{пвл}} = M_{\text{клк}} \cdot K_{\text{пв}} / M_{\text{к}} = 6930,2 \cdot 506 / 5700 = \mathbf{615,2 \text{ кг/т}}$$

Д.1.9. Розрахунок добової продуктивності доменної печі

1.9.1. Наближений розрахунок на основі емпіричних даних [2] проводиться по формулі

$$P = K_{\text{емп}} V_n = 1,75 \cdot 1513 = \mathbf{2648 \text{ т/добу}}$$

де $K_{\text{емп}}$ – емпіричний коефіцієнт що представляє середньостатистичне коливання (1,5–2,0) питомої продуктивності печей, т/м³добу; V_n – корисний об'єм доменної печі, м³.

Початкові дані

Параметри чавуну і шлаку

Таблиця Д.1.6.

Варіант, №	Марка переробного чавуну	Вихід шлаку, кг/т чавуну	Склад шлаку, %					Коксова по-дача, М _к , кг	Марка ливарного чавуну
			SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	MgO	MnO		
1	П1	450	38,56	48,69	7,50	3,84	0,29	6100	Л2
2	ПФ1	491	39,79	49,06	6,99	3,72	0,27	7200	Л1
3	П2	482	38,69	49,00	6,92	3,87	0,30	5600	Л5
4	ПВК3	481	38,40	49,1	6,9	4,0	0,32	5400	ЛР6
5	ПФ2	458	38,40	49,2	7,0	3,9	0,3	4500	ЛР3
6	ПВК1	458	39,5	48,4	6,85	3,95	0,29	8300	ЛР1
7	ПЛ1	442	40,12	47,44	6,86	4,37	0,39	10500	ЛР2
8	ПФ3	451	39,06	48,99	6,73	4,02	0,25	5400	ЛР6
9	ПВК2	452	38,64	49,4	6,78	3,94	0,20	6800	Л1
10	ПЛ2	447	38,60	49,2	7,1	3,8	0,23	5500	Л3
11	ПВК3	448	38,33	49,33	7,22	3,87	0,19	28000	Л5
12	П1	454	39,56	49,0	7,19	4,02	0,21	32000	ЛР4
13	ПФ1	450	38,78	48,60	7,33	4,14	0,24	14000	СИ15
14	ПВК1	425	39,24	48,46	7,14	4,05	0,27	12000	ЛР2
15	П2	433	40,11	48,02	6,79	3,97	0,31	10000	ЛР6
16	ПФ2	417	39,8	48,4	6,7	4,0	0,33	8500	ЛР4
17	ПВК2	418	39,37	48,54	6,99	3,95	0,28	7000	ЛР4
18	ПЛ1	436	39,6	48,1	6,9	4,3	0,3	6000	СИ10
19	ПФ3	432	40,8	46,6	7,0	4,4	0,45	5200	Л4
20	ПВК3	431	40,1	47,3	7,1	4,2	0,39	5000	ЛР5

1.9.2. Розрахунок продуктивності по колошниковому газу проводиться по відношенню кількості колошникового газу, що розраховується по формулі Жаворонкова (або Егона) $Q_z, м^3/добу$, до колошникового газу, знайденого по матеріальному балансу доменної плавки $Q_{yd}, м^3/т$. Перепад тиску у верхній частині доменної печі ΔP_e встановлюється відповідно до критерію стійкості:

$$K_y = \Delta P_e / H_e \gamma_{ш} g = 0,4...0,6 \quad \text{звідки}$$

$$\Delta P_e = 0,55 H_e \gamma_{ш} g = 0,5 * 5 * 1150 * 9,81 = 28,2 \text{ кПа}$$

де H_e – відстань від датчика тиску у верхній частині шахти до поверхні засипу, м;
 $\gamma_{ш}$ – насипна маса шихти (суміш агломерату, обкотишів і коксу), кг/м³. Кількість газу, виходячи з формули Жаворонкова,

$$Q_z = (\Delta P_e d^{1,2} (\varepsilon S)^{1,8} / (7,6 \cdot v^{0,2} H_e))^{0,566} =$$

$$= (28200 * 0,006^{1,2} * (0,5 * 34,2)^{1,8} / (7,6 * 1,27 * 0,0000157^{0,2} * 5))^{0,566} = 66,7 \text{ м}^3/\text{с}$$

Питома кількість колошникового газу, що підрахована по матеріальному балансу, дорівнює $Q_{y0} = 1800 \text{ м}^3/\text{т}$, тоді продуктивність печі, як указувалося раніше, рівна

$$P = Q_{86400} / Q_{y0} = 66,7 * 86400 / 1800 = 2881,4 \text{ т/добу}$$

Д.1.10. Розрахунок витрати коксу при зміні вмісту заліза у залізорудній частині шихти

При зміні складу шихти, пов'язаного із зміною вмісту в ній заліза, необхідно відкоригувати витрату коксу через зміни витрат на відновлення різної кількості оксидів заліза і кількості флюсу в шихті у зв'язку з різною основністю замінюваних матеріалів.

Відомо, що при *збільшенні вмісту заліза* в шихті *питома витрата коксу знижується, але на подачу – збільшується*, тобто рудне навантаження при цьому дещо знижується. Тому даний розрахунок покликаний встановити кількісні параметри складу шихти при таких перешихтовках.

Під час заміни одного шихтового матеріалу іншим необхідно вирішити наступні питання:

- зміна кількості коксу на подачу, пов'язане із зміною вмісту заліза в шихті;
- зміна кількості флюсу в шихті у зв'язку з різною основністю замінюваних матеріалів;
- зміна витрати коксу при зміні кількості шлаку і флюсу;
- зміна витрати коксу на подачу і питомого на тонну чавуну.

У розрахунках виходимо з того, що збільшення на 1% вмісту заліза в залізорудній шихті збільшує витрати теплоти (коксу) на відновлення (дисоціацію оксидів заліза) приблизно на 1–1,2%, згідно тепловому балансу. Витрати тепла на зниження кількості при цьому шлаку зменшуються і на кожних 10 кг/т вимагають зниження витрати коксу на 0,4%, або, з урахуванням умов роботи доменних печей України, – на 2 кг. Витрати коксу (при коригуванні основності) на кожних додаткових 10 кг/т вапняку становлять 0,5%, або 2,5 кг

Початкові дані для розрахунку за варіантами приведені в табл. Д.1.1 – Д.1.2. У новій шихті збільшити до 50-70% компонент шихти, що містить більшу кількість заліза.

Приклад розрахунку

Початкова шихта наступного складу:

Склад шихти	Маса в поладі, М, т	Зміст компонентів в шихті %			Основність шлаку, О _ш	Зміст заліза в чавуні Fe _ч , %
		Fe	SiO ₂	CaO		
Агломерат	13,0	53,8	9,8	12,9	1,27	94,3
Обкотиші	6,0	63,8	4,8	0,8		
Кокс	5,6					
Вапняк	0,7			52,8		

Необхідно довести частку обкотишів до 50% в залізородній шихті.

1. Визначимо відсоток заліза в початковій залізородній шихті

$$Fe_{об1} = (Fe_A M_A + Fe_{ок} M_{ок}) / M_{об} = \\ = (53,8 * 13 + 63,8 * 6) / (13 + 6) = 56,96\%.$$

2. Визначимо відсоток заліза в новій шихті за тією ж формулою

$$Fe_{об2} = (53,8 * 9,5 + 63,8 * 9,5) / 19 = 58,8\%.$$

3. Вихід чавуну з початкової шихти

$$M_{q1} = M_{об} Fe_{об1} 0,97 / Fe_{ч} = \\ = 19 * 56,96 * 0,97 / 94,3 = 11,13 \text{ т}$$

і з нової

$$M_{q2} = 19 * 58,8 * 0,97 / 94,3 = 11,492 \text{ т}$$

де 0,97 – ступінь використання заліза з урахуванням винесення пилу і переходу до шлаку, долі одиниці; 94,3 – вміст заліза в чавуні %.

4. Питома витрата коксу при роботі на початковій шихті

$$K_{y01} = M_K / M_{q1} = 5,6 / 11,13 = 0,503 \text{ т/т.}$$

5. Збільшення виходу чавуну з подачі нової шихти

$$\Delta M_q = M_{q2} - M_{q1} = 11,492 - 11,13 = 0,362 \text{ т.}$$

6. Масу коксу в подачу необхідно збільшити на наступну величину:

$$\Delta M_{KFe} = K_n I (Fe_{об2} - Fe_{об1}) = \\ = 5,6 * 1,2 * (58,8 - 56,96) = 0,113 \text{ т.}$$

7. Визначимо кількість SiO₂ для початкової і нової шихти:

$$SiO_{2об1} = 0,098 * 13 + 0,048 * 6 = 1,562 \text{ т}$$

$$SiO_{2062} = 0,098 * 9,5 + 0,048 * 9,5 = 1,387 \text{ т.}$$

8. Кількість шлаку (SiO_2) зменшиться при новій шихті на наступну величину:

$$\Delta M_{Ш} = (SiO_{2061} - SiO_{2062}) / SiO_{2ШЛ} = (1,562 - 1,387) / 0,4 = 0,438 \text{ т.}$$

де $SiO_{2ШЛ}$ – частка двооксиду кремнію в шлаку (0,40 приймається для всіх варіантів).

9. Зниження кількості коксу на подачу через зниження кількості шлаку з нової шихти

$$\Delta M_{КШ} = \Delta M_{Ш} * 2 / 10 = 0,438 * 2 / 10 = 0,088 \text{ т.}$$

10. Збільшення CaO в подачі через збільшення низькоосновних обкотишів в новій шихті:

$$\Delta CaO_{об} = (0,129 * 13 + 0,008 * 6) - (0,129 + 0,008) * 9,5 = 0,424 \text{ т.}$$

11. На ошлакування меншої кількості SiO_2 , що вноситься, буде потрібно менше CaO на наступну величину:

$$\Delta CaO = (SiO_{2061} - SiO_{2062}) * 1,27 = (1,562 - 1,387) * 1,27 = 0,222 \text{ т}$$

де 1,27 – основність шлаку.

12. Необхідно додатково вапняку на подачу для нової шихти

$$\begin{aligned} \Delta CaCO_3 &= (\Delta CaO_{об} - \Delta CaO) / CAO_{БЗ} = \\ &= (0,424 - 0,222) / 0,528 = 0,383 \text{ т} \end{aligned}$$

де $CAO_{БЗ}$ – частка CaO у вапняку (приймається однаковою для всіх варіантів).

13. Збільшення коксу на подачу для розкладання додаткового вапняку

$$\Delta M_{КБЗ} = \Delta CaCO_3 * 2,5 / 10 = 0,383 * 2,5 / 10 = 0,096 \text{ т.}$$

14. Підсумкова зміна витрати коксу на подачу

$$\Delta M_{ОБ} = \Delta M_{КFe} - \Delta M_{КШ} + \Delta M_{КБЗ} = 0,113 - 0,088 + 0,096 = 0,121 \text{ т.}$$

15. Питома витрата коксу на новій шихті

$$K_{y02} = (M_K + \Delta M_{ОБ}) / (M_{Ч1} + \Delta M_{Ч}) = (5,6 + 0,121) / (11,13 + 0,362) = 0,498 \text{ т/т.}$$

16. Необхідно встановити **новий склад шихти:**

Кокс $5,6 + 0,121 \approx 5,721 \text{ т;}$

Агломерат $13 - 3,5 = 9,5 \text{ т}$

Обкотиші $6 + 3,5 = 9,5 \text{ т}$

Вапняк $0,7 + 0,383 \approx 1,08 \text{ т}$

Висновки

При збільшенні вмісту заліза в шихті з 56,96 до 58,8% за рахунок збільшення частки обкотишів в залізорудній шихті з 0,316 до 0,5 відбулися наступні зміни техніко-економічних показників доменної плавки:

- вихід чавуну з подачі збільшився на 362 кг;

- витрата флюсу на подачу зросла на 383 кг;
- величина коксової подачі збільшилася на 121 кг;
- питома витрата коксу знизилася на 5 кг/т чавуну ($\approx 1\%$).

Д.1.11. Розрахунок кількості вологи в швах кладки доменної печі

Сушка печі — одна з найважливіших операцій підготовчого періоду. Мета сушки — видалення вологи з кладки печі, внесеної з розчинами, що пов'язують. Від виконання цієї операції залежить тривалість служби футерування і, отже, тривалість кампанії печі.

Вміст вологи в зв'язці з вуглецевої пасти складає 16—19%, в розчинах тих, що легко тверднуть 27—28%, а в звичайних шамотних до 30%.

Кількість вологи і необхідний час для її видалення слід визначати з урахуванням вологості мертелів. При цьому слід мати на увазі, що надмірно форсований процес сушки може порушити герметичність кладки в результаті інтенсивного виділення пари вологи і так званого «роздування» швів. Це призведе згодом до проникнення в масив футерування вуглецю сажі, цинкіту, лугів і інших елементів, що викликають її зростання, ослаблення будівельної міцності і руйнування цеглини.

Це можливо, не дивлячись на «тонкість» швів кладки, рівних для лещаді 0,5 мм (при легко твердуючому розчині до 1,0 мм), а у вище розміщених зонах від 1,0 до 1,5 мм. Кількість вологи у футеруванні легко підрахувати, маючи наступні дані:

- масу та об'єм кладки доменної печі (т) та в окремих її зонах (м^3);
- кількість розчину, що йде за нормами кладки на 1 м^3 або 1 т укладеного вогнетриву;
- вміст вологи в розчині і кількість його, що витрачається на все футерування.

Примітка 1

1. Витрата розчину на 1 м^3 кладки при величині шва (мм) 0,5; 1; 2 і 3 складає (кг) відповідно 50, 70, 80 і 100.

2. Витрата води на 1 м^3 розчину складає $0,6 \text{ м}^3$.

3. Щільність цегли 2,1, щільність розчину $1,2 \text{ т/м}^3$.

Схема розрахунку. Розраховуються об'єми вогнетривкої кладки всіх частин

доменної печі, визначається кількість розчину відповідно до розмірів швів (див. примітка 1), обчислюється кількість води відповідно за даними примітки 2. Варіантами є розміри типових доменних печей в СНД і в зарубіжних країнах.

Розрахунок

1. Розраховуємо масу лещаді, виходячи з того, що лещадь складається з щільного шамота $\gamma_{oz} = 2300 \text{ кг/м}^3$. Розміри лещаді наступні: діаметр $d_n = d_z + 3$, м, висоту приймаємо $h_n = 5,7$ м.

$$M_n = \pi d_n^2 h_n \gamma_{oz} / 4 = 3,14 * (8,2+3)^2 * 5,7 * 2,3/4 = 1292 \text{ т}$$

2. Розраховуємо приблизно масу футерування (кладки) стін доменної печі. Товщина футерування змінюється від 1,4 м в горні, 0,92 м в шахті і 0,345 м в заплечиках, тому в середньому по всій печі приймаємо товщину $\epsilon_{кл} = 0,7$ м. Питомі маса вогнетривів

шамотних, динасових, глиноземистих коливається від 1800 до 2300 кг/м^3 , в середньому приймемо $\gamma_{oz} = 2100 \text{ кг/м}^3$. Для визначення об'єму футерування скористаємося формулою для сумарного об'єму V

$$M_{кл} = (V - V_n) \gamma_{oz} = (0,53 H (D + 2 \epsilon_{кл})^2 - V_n) \gamma_{oz} = 1436 \text{ т}$$

Примітка 2. Маса футерування в окремих частинах печі підрахувати самостійно, орієнтуючись на цифри, що наведені нижче.

Витрата вогнетривкої цеглини (т/м^3), розчину (м^3) і води (м^3) на футерування типової доменної печі об'ємом 1386 м^3 приведений нижче:

	Цегла(т/м^3)	Розчин (м^3)	Вода (м^3)
Лещадь	1292/615	25,60	15,36
Горн	207/100	4,16	2,49
Заплечики	68/38	1,9	1,14
Розпар	163/80	4,7	2,82
Шахта	908/432	28,7	17,22
Колошник	90/43	3,2	1,92
Холодильні плити			
Горна і заплечиків	71/35	8,9	1,74
Всього на доменну піч	2800/1338	71,6	42,6

Д.1.12. Розрахунок діаметру вставок у фурми при задуванні печі

При задуванні в піч подається від 1/4 до 1/2 нормальної кількості дуття. Для попередження сильно розвиненого периферійного потоку газів перетин фурм необхідно зменшити так, щоб швидкість дуття на виході з фурм наближалася до її значення для нормально працюючої печі ($V_d = 170\text{—}180$ м/с). Це досягається шляхом або закриття половини фурм, тобто дуття подають через кожну другу фурму, або установки керамічних кілець на всіх фурмах.

Приклад розрахунку

1. Розрахуємо кількість дуття на доменну піч $V_{II} = 1386$ м³ за емпіричною формулою

$$Q_d = (1,5 \dots 2,0) V_{II} = 1,75 * 1386 = 2430 \text{ м}^3/\text{хв} = 40,5 \text{ м}^3/\text{с}.$$

2. Кількість фурм визначаємо за середньостатистичною формулою

$$n_\phi = 0,13 * V_{II}^{0,67} = 0,13 * 1386 \approx 16 \text{ шт.}$$

3. Діаметр фурми розраховується виходячи з кількості дуття, що йде через її площу $\pi d_\phi^2/4$ із швидкістю $V_d = 175$ м/с

$$d_\phi = (4Q_d / (V_d n \pi))^{0,5} = (4 * 40,5 / (175 * 16 * 3,14))^{0,5} = 0,136 \approx 0,14 \text{ м.}$$

4. Внутрішній діаметр керамічних кілець розраховується за тією ж формулою, але кількість дуття зменшується в 2-4 рази (в середньому в 3 рази):

$$d_\kappa = (4Q_d / (3V_d n \pi))^{0,5} = (4 * 40,5 / (3 * 175 * 16 * 3,14))^{0,5} = 0,078 \approx 0,08 \text{ м.}$$

Для визначення довжини зони горіння обчислимо питому кінетичну енергію струменя дуття E_κ , витікаючого з фурм зі вставкою керамічного кільця.

5. Розрахунок питомої кінетичної енергії проводили за відомою формулою:

$$E_\kappa = \frac{(\rho_a Q_a + \rho_k Q_k + \rho_{n_2} Q_{n_2})(Q_a + Q_k + Q_{n_2})^2 T_d^2}{2 * (60 * n_\phi * 10)^3 (f * 273 * (1 + p))^2},$$

де Q_a, Q_k, Q_{n_2} – кількість повітря, кисню і природного газу, м³/хв, з щільністю $\rho_a, \rho_k, \rho_{n_2}$ відповідно, кг/м³, T_d – температура дуття, К, n_ϕ – кількість фурм, f – перетин однієї фурми $\pi d_\phi^2/4$, м², p – надмірний тиск на фурмах, атм. Оскільки кисень і

природний газ при задуванні, як правило, не застосовують, то формула спрощується:

$$E_{\kappa z} = \frac{\rho_a Q_a^3 T_d^2}{2 * (600 * n_\phi)^3 (f * 273 * (1 + p))^2} =$$

$$= \frac{1,293 * 810^3 * 898^2}{2 * (600 * 16)^3 * (0,005 * 273 * (1 + 1,5))^2} = 26,6 \text{ кДж/с.}$$

6. Для попередження сильно розвиненого периферійного потоку газів довжина зони горіння повинна бути не менше 1,5 м. Оскільки її довжина пропорційна кінетичній енергії, то обчислимо її за емпіричною формулою:

$$L_{\kappa z} = 1,5421 + 0,0029 E_{\kappa} = 1,5421 + 0,0029 * 26,6 = 1,542 \text{ м.}$$

Висновок. Таким чином, керамічні вставки у фурми діаметром 0,08 м при зменшеній витраті дуття 810 м³/хв. дозволяють достатньо рівномірно розподілити газовий потік в доменній печі під час її задування.

Д.2. Технологічні неполадки доменної печі

Д.2.1. Приклад технологічної ситуації, її пояснення і вживання заходів

Ситуація

При роботі доменної печі за свідченнями контрольно-вимірювальних приладів (КВП) було встановлено, що тиск дуття зріс і став нестійким. Тиск колошникового газу різко збільшився при опусканні подач з утворенням правих (верхніх) пік. Температура периферійних газів і у газовідводах знизилася. Поле точок температури газів у газовідводах звузилося, утворюючи вузьку стрічку. Рівнеміри шихти реєстрували нерівний схід шихтових матеріалів. Вміст двооксиду вуглецю у газі на периферії зріс на 3-4%. Збільшився загальний перепад тиску газів упечі.

- На яке відхилення режиму доменної плавки вказували наведені ознаки і свідчення КВП?
- Якими причинами викликається це порушення? До яких наслідків може призвести таке порушення режиму доменної плавки?
- Які заходи вживають для усунення наведеного порушення режиму плавки?

Пояснення і вирішення ситуації

Судячи із зниження температури периферійних газів, звуження поля точок температури газів у газовідводах і підвищення вмісту CO_2 у периферійному газі, має місце **центральний хід газового потоку**.

Це порушення викликане, найімовірніше, передувом (вдуванням надмірно великої кількості дуття) доменної печі та системою завантаження, яка підвантажує периферію, наприклад ААКК↓ 1,75м із зменшеною масою подачі.

Робота доменної печі з центральним потоком газу може призвести до похолодання доменної печі із-за виникнення каналного ходу. На стінах печі може утворитися великий шар гарнісажу і навіть настилів, сповзання яких може викликати масове горіння фурм.

Для попередження розвитку центрального потоку газів не можна допускати роботу печі з тривалою неповнотою або з дуже низьким рівнем засипу. При збільшенні частки дрібних фракцій у залізорудній сировині слід застосовувати

систему завантаження, яка розвантажує периферію при відповідному зменшенні величини рудного навантаження, або зменшувати кількість дуття.

Д.2.2. Технологічні ситуації [9, 10]

Ситуація 2.2.1 (ЦХП)

На доменній печі в одній із змін відбулося порушення розподілу шихти і газів. Вміст двооксиду вуглецю у пробах газу, відібраних з центру печі під рівнем засипу, знизився до 3,0 - 5,0 %, а на периферії відповідно зріс до 13 – 14 %. Максимум на кривій CO_2 у газі змістився до стін печі. На діаграмах рівня засипу фіксувався нерівномірний у часі рух шихти з підстоями і обривами. Температура периферійних газів знизилася на 50 – 70°C у порівнянні з її оптимальним значенням при рівному ході доменної печі. Тиск гарячого дуття зріс на 8 – 17 кПа, а витрата його зменшилася. На діаграмі тиску колошникового газу при опусканні подач почали виникати верхні (праві) піки. Діаграма температури газу у газовідводах придбала вид вузької зигзагоподібної стрічки.

- Про яке порушення в роботі доменної печі свідчать наведені показання контрольно-вимірювальних приладів?
- До яких наслідків може призвести тривала робота доменної печі з наведеними свідченнями КВП?
- Якими причинами викликається цей розлад ходу печі?
- Які технологічні дії на хід доменної печі повинен застосувати майстер для усунення цього порушення в роботі печі?

Ситуація 2.2.2 (ПХП)

Показання контрольно-вимірювальних приладів вказували на розлад ходу доменної печі, який починається так: температура периферійних газів зросла, ширина поля точок на діаграмі температури периферійного газу збільшилася, вміст діоксиду вуглецю у газі знизився на 4 – 6 %, максимум на кривій вмісту CO_2 у газі змістився у напрямі до осі печі, тиск дуття при незмінній його кількості знизився, тиск колошникового газу періодично різко зростає з утворенням верхніх (правих) піків на діаграмі приладу, температура газу у газовідводах підвищилася, а поле точок на діаграмі придбало вид широкої стрічки, схід шихти був нерівномірним за часом.

- Про яке порушення в роботі доменної печі свідчать наведені показання контрольно-вимірювальних приладів?
- До яких наслідків може призвести тривала робота доменної печі з наведеними показаннями КВП?
- Якими причинами викликається цей розлад ходу печі?
- Які технологічні дії на хід доменної печі повинен зробити майстер для усунення цього порушення в роботі печі?

Ситуація 2.2.3 (ППЗ)

На доменній печі в одній із змін відбулося порушення руху шихтових матеріалів і газів. Західний і східний зондові рівнеміри доменної печі фіксували неоднаковий рівень засипу шихтових матеріалів. Із східного боку рівень засипу був нижчий на 1м рівня засипу із західної сторони. Вміст двооксиду вуглецю у периферійному газі із східного боку був на 6% нижче, ніж у периферійній зоні західної сторони. Тиск гарячого дуття знизився. Поле температурних точок газу у газовідводах на діаграмі придбало вид широкої роздвоєної стрічки, температура кладки шахти по колу доменної печі була нерівномірною.

- Про який розлад ходу доменної печі сигналізують контрольно-вимірювальні прилади?
- Якими причинами викликається приведенне порушення технологічного режиму доменної печі?
- До яких наслідків може призвести робота печі на такому режимі?
- Які дії зобов'язаний вжити майстер печі для попередження і усунення відхилення від нормальної роботи доменної печі?

Ситуація 2.2.4 (КХ)

Свідчення КВП і зовнішні ознаки, по яких судять про хід доменної печі, вказували на різке відхилення технологічного режиму роботи доменної печі від оптимального його протікання. Тиск гарячого дуття став непостійним і таким, що різко коливається у часі (з відхиленнями від середнього значення на 10-20 кПа). Температура периферійного газу із східного боку, яка вимірювалася термопарою у кладці шахти нижче рівня засипу, досягла 1050°C, тоді як решта термопар показувала 850-870°C. Поле точок на діаграмі температури у газовідводах розгалузилося на декілька ліній, при цьому виділялися лінії температури газів у

південно-східному і північно-східному газовідводах. Тиск колошникового газу був нестійким. При опусканні подач утворювалися верхні (праві) піки. На діаграмах рівня засипу фіксувалися підстої і обриви шихти, особливо із східного боку. Фурми із східного боку працювали інтенсивніше, ніж із західного, періодично на них з'являвся шлак. Нагрів чавуну і шлаку був нестійким. Контроль розподілу газів по перетину печі показав, що вміст діоксиду вуглецю у газі на відстані 850мм від стінки шахти із східного боку печі знизився з 15-17% до 6-8 %.

- Про який розлад роботи доменної печі йде мова?
- До яких наслідків в роботі печі може призвести цей розлад?
- Якими причинами викликається таке порушення у ритмі роботи печі?
- Які технологічні дії застосовують для попередження й усунення розладу, який виник?

Ситуація 2.2.5 (ВППШ)

На доменній печі, що виплавляла переробний чавун, різко зріс верхній і загальний перепади статичного тиску, а нижній дещо зменшився. Тиск гарячого дуття у порівнянні з нормальним значенням поступово зріс. На діаграмах рівня засипу були зафіксовані два обриви шихти. Аналіз радіального розподілу газового потоку показав збільшення вмісту діоксиду вуглецю на периферії, у порівнянні з осьовою частиною печі, на 6-8 %. Вміст CO_2 у колошниковому газі також зріс.

Підвищилася і температура газу у газовідводах. Після третього обриву шихти на ходу, рух шихтових матеріалів зовсім припинився при достатньо різкому збільшенні тиску гарячого дуття, що загрожувало помпажем повітродувної машини.

- Про яке підвисання йде мова?
- За яких умов настає це підвисання?
- Які причини викликають таке підвисання шихти?
- До яких наслідків може призвести підвисання шихти?
- Які заходи повинен вжити майстер печі, щоб не допустити підвисання шихти? Як усувають це підвисання шихти?

Ситуація 2.2.6 (НППШ)

На доменній печі було виявлене порушення плавності руху шихти: збільшилися загальний і нижній перепади статичного тиску газу при деякому зменшенні верхнього; зріс тиск гарячого дуття; схід подач став нерівномірним за часом, а рівнеміри фіксували підстої й обриви шихти; на діаграмі тиску колошникового газу з'явилися верхні піки; температурне поле точок на діаграмі температури газу у газовідводах, стало вузьким і звивистим; фурми працювали нерівномірно.

Технологічний персонал печі своєчасно не вжив заходів для усунення ненормальної ситуації і через 1,5 години нестійкої роботи печі рух шихти повністю припинився.

- Про який тип підвисання шихти йде мова?
- До яких наслідків може призвести це підвисання шихти?
- Якими причинами викликається таке підвисання?
- Які запобіжні дії повинен зробити технологічний персонал, щоб уникнути приведеної ситуації?
- Як здійснити примусове осідання шихти?
- Яких заходів безпеки повинен дотримуватися технологічний персонал при виконанні примусового осідання шихти?

Ситуація 2.2.7(ХХП)

У одній із змін за свідченнями контрольно-вимірювальних приладів було встановлено, що витрата дуття поволі збільшується при одночасному зменшенні його тиску. Схід подач прискорився. Температура газів на периферії під рівнем засипу знизилася на 40-60 градусів, а поле точок на діаграмі приладу, який реєструє температуру газів у газовідводах, стало вузьким і зигзагоподібним. Фурми працювали інтенсивно, але холодно. Час від часу на них з'являвся шлак і проходили темні шматки шихтових матеріалів. Верхній шлак перед випуском чавуну мав знижену основність. З нього погано виділявся газ на канаві. При охолодженні шлак витягувався у довгі нитки, а у стані, коли остигнув, мав чорний тьмяний колір. Під час випуску чавуну помітили зниження його температури. Доменна піч добре сприйняла підвищення температури дуття.

- Про який розлад ходу доменної печі, який починається, сигналізували прилади і

зовнішні ознаки роботи печі?

- До яких наслідків може призвести таке порушення роботи доменної печі?
- Якими причинами викликається цей розлад?
- Які заходи повинен вжити майстер доменної печі для попередження і усунення цього розладу?

Ситуація 2.2.8 (ГХП)

На доменній печі відбулося порушення технологічного режиму плавки. Тиск гарячого дуття почав поволі зростати при зменшенні його витрати. Порушилася рівномірність сходу подач. Виникли підстої шихти і мимовільні обриви. На діаграмі тиску колошникового газу з'явилися різкі праві (верхні) піки. Температура периферійних газів зросла на 50-70°C. Ширина поля точок на діаграмі температури газу у газовідводах зменшилася, а поле точок прийняло звивисту форму. Верхній шлак був рідкорухомим, легко витікав з печі і виділяв велику кількість газу. Відібрані проби шлаку швидко застигали, утворюючи каменевидну масу, що вказувало на підвищення основності шлаку. Фурми працювали інтенсивно з яскравим світінням у зонах горіння. У чавуні збільшився вміст кремнію та марганцю.

- Про яке порушення режиму плавки свідчили наведені ознаки?
- До яких наслідків в роботі доменної печі може призвести це порушення?
- Якими причинами викликається таке порушення?
- Які дії повинен вжити технічний персонал для усунення наведеного порушення в роботі доменної печі?

Ситуація 2.2.9 (ЗГ)

На печі, яка виплавляла ливарний чавун, погіршилися техніко-економічні показники. Почастішало горіння повітряних і шлакових фурм. У газі осьової зони печі різко зріс вміст діоксиду вуглецю. Зменшилася швидкість руху шихти у періоди між випусками чавуну і шлаку. Збільшився загальний перепад тиску газу по висоті печі. Спостерігалася нерівномірність випусків чавуну за масою. Зріс вихід графіту і коксового дріб'язку під час випуску чавуну. Мали місце значні коливання хімічного складу чавуну у випусках. Як правило, систематично зменшувалася кількість чавуну, що наливається у період випуску після появи шлаку.

- На яке відхилення режиму доменної плавки вказували наведені ознаки і свідчення

КВП?

- Якими причинами викликається це порушення?
- До яких наслідків може призвести таке порушення режиму доменної плавки?
- Які заходи вживають для усунення наведеного порушення режиму плавки?

Ситуація 2.2.10 (ГХП)

В один з періодів роботи доменної печі різко погіршилися якість чавуну та техніко-економічні показники плавки. Хід печі у цей період був вкрай нестійким. Тиск і витрата гарячого дуття не були сталими, значно коливалися. На діаграмах рівня засипу фіксувалися часті підстої і обриви шихти. Температура колошникового газу зросла, перепад температури між окремими газовідводами зменшився, а поле точок температури газів стало вузьким і звивистим. Температура кладки шахти знизилася, а вміст діоксиду вуглецю у периферійному газі зріс. На діаграмі тиску колошникового газу у момент опускання подач реєструвалися послідовно спочатку ліві (нижні), а потім миттєві праві (верхні) піки. Витрата коксу помітно зросла при одночасному зниженні продуктивності печі. Протягом доби вміст кремнію у чавуні змінився від 0,45 до 1,3 %, а вміст сірки – від 0,047 до 0,089 %. Хімічний склад і нагрів шлаку також різко коливалися, а робота фурм по нагріву була нерівною. Почастішали горіння повітряних і шлакових фурм.

- На який розлад ходу доменної печі вказували наведені ознаки?
- Якими причинами викликається цей розлад?
- До яких наслідків в роботі доменної печі може призвести такий розлад?
- Як попереджають, а якщо не вдалося попередити, то як усувають цей вид розладу?

Ситуація 2.2.11 (ТХП)

Тиск дуття зріс на 20 кПа і став нестійким. Витрата дуття зменшилася. Почалися підстої і обриви шихти. Температура кладки знизилася з 800 до 700°C. Вміст вуглекислоти на периферії колошника зріс на 3-4 %. Загальний перепад тиску зріс. На діаграмі тиску колошникового газу з'явилися верхні (праві) піки. Температура газу у газовідводах знизилася.

- Якому відхиленню від нормального ходу печі відповідають перераховані параметри плавки?

- Що могло послужити причиною порушення роботи печі?
- До яких наслідків може призвести тривала робота печі в такому режимі?
- Яких заходів необхідно вжити для приведення печі в нормальний режим?

Ситуація 2.2.12 (ЦХП)

На доменній печі відбулося порушення розподілу шихти, газів і ходу доменної печі, що характеризується наступними ознаками:

- зниження вмісту CO_2 біля осі печі на 4-6% та деяке зростання його біля стін печі;
- на діаграмах рівня засипу фіксується нерівномірний у часі рух шихти з підстоями й обривами;
- температура периферійних газів, за свідченнями термопар у кладці печі, знижується на $60-80^\circ\text{C}$ у порівнянні з оптимальним її значенням при рівному ході печі;
- тиск гарячого дуття зростає на 10-20 кПа, а витрата його зменшується;
- на діаграмі тиску колошникового газу фіксуються верхні піки.
- доріжка точок на діаграмі температури колошникового газу стає вузькою і звивистою.
- На який розлад ходу доменної печі вказували наведені ознаки?
- Якими причинами викликається цей розлад?
- До яких наслідків в роботі доменної печі може призвести такий розлад?
- Як попереджають і як усувають цей вид розладу, якщо попередити його не вдалося?

Ситуація 2.2.13 (ПХ)

Показання контрольно-вимірювальних приладів вказували на розлад ходу доменної печі, який починається наступним чином:

- температура кладки шахти й колошникового газу зростає;
- ширина поля точок температури газу у газовідводах збільшується;
- вміст CO_2 у периферійному газі знижується на 3-5%;
- тиск дуття дещо зменшується при незмінній його кількості;
- тиск колошникового газу періодично різко зростає з утворенням верхніх піків;

- схід шихти по шомполах стає нерівним.
- Якому відхиленню від нормального ходу печі відповідають перераховані параметри плавки?
- Що могло послужити причиною порушення роботи печі?
- До яких наслідків може призвести тривала робота печі в такому режимі?
- Яких заходів необхідно вжити для приведення печі в нормальний режим?

Ситуація 2.2.14 (ППЗ)

Свідчення КВП і зовнішні ознаки, по яких судять про хід доменної печі, вказували на різке відхилення технологічного режиму роботи доменної печі від оптимального його протікання, а саме:

- неоднаковий рівень засипу по сторонах колошника;
- вміст CO_2 у периферійному газі зі сторони із зниженим рівнем засипу на 6-8 % нижче, ніж з протилежної сторони;
- тиск гарячого дуття знижується;
- доріжка точок температури колошникового газу стає вузькою і звивистою;
- температура кладки шахти по колу печі стає нерівномірною.
- На який розлад ходу доменної печі вказували наведені ознаки?
- Якими причинами викликається цей розлад?
- До яких наслідків в роботі доменної печі може призвести такий розлад?
- Як попереджають і як усувають цей вид розладу, якщо попередити його не вдалося?

Ситуація 2.2.15 (КХ)

На доменній печі виявлено порушення плавності руху шихти, що характеризується наступними додатковими показаннями контрольно-вимірних приладів:

- тиск гарячого дуття різко коливається за часом (пилкоподібна діаграма) з відхиленнями від середнього значення на 10 – 20 кПа;
- смуга точок на діаграмі температури колошникового газу вузька і зигзагоподібна;
- на діаграмі колошникового газу виникають верхні піки;

- рівень засипу непостійний, рух шихти відбувається з підстоями й обривами;
- температура кладки шахти біля каналу, що утворився, на 150 – 200°C вище у порівнянні зі свідченнями інших термопар;
- розподіл CO₂ по радіусу нерівномірний і має провали в серединній частині радіусу;
- на фурмах з боку каналу з'являються погано прогріті шматки матеріалів.
- На яке відхилення режиму доменної плавки вказували наведені ознаки і свідчення КВП?
- Якими причинами викликається це порушення?
- До яких наслідків може призвести таке порушення режиму доменної плавки?
- Які заходи вживають для усунення наведеного порушення режиму плавки?

Ситуація 2.2.16 (ВПШ)

На доменній печі відбулося порушення технологічного режиму плавки, яке характеризується наступними ознаками:

- зростання верхнього і загального перепадів статичного тиску, зниження витрати дуття;
- тиск гарячого дуття поступово зростає;
- збільшується температура колошника;
- на діаграмах рівня засипу фіксуються підстої і обриви шихти;
- аналіз радіального розподілу газу показує збільшення вмісту CO₂ на периферії на 3-4%, а в точці максимуму на 2-3%;
- зростає вміст CO₂ у загальному колошниковому газі.
- На який розлад ходу доменної печі вказували наведені ознаки?
- Якими причинами викликається цей розлад?
- До яких наслідків у роботі доменної печі може призвести такий розлад?
- Як попереджають і як усувають цей вид розладу, якщо попередити його не вдалося?

Ситуація 2.2.17 (НПШ)

На доменній печі відбулося порушення розподілу шихти, газів і ходу доменної

печі, що характеризується наступними ознаками:

- збільшується нижній і загальний перепади статичного тиску газу, а також тиск дуття;
- схід подач стає нерівномірним за часом;
- на діаграмі колошникового газу з'являються верхні піки;
- фурми працюють нерівномірно, на деяких з них з'являються темні шматки.

Через 1,5 години нестійкої роботи печі рух шихти повністю припинився.

- Про яке підвисання йде мова?
- За яких умов наступає це підвисання?
- Які причини викликають таке підвисання шихти?
- До яких наслідків може призвести підвисання шихти?
- Яких заходів повинен вжити майстер печі, щоб не допустити підвисання шихти?
- Як усувають це підвисання шихти?

Ситуація 2.2.18 (XXII)

На доменній печі з'явилася тенденція зміни ходу, котра характеризувалася наступними ознаками:

- поступове збільшення витрати дуття при одночасному зменшенні його тиску;
- схід подач прискорюється;
- температура газів на периферії під рівнем засипу знижується, а доріжка точок на приладі колошникового газу у газовідводах стає вузькою і звивистою;
- фурми працюють інтенсивно, але холодно; час від часу на них з'являється шлак і темні шматки шихти;
- верхній шлак має підвищену кислотність; з нього погано виділяється газ, помітно зниження його нагріву;
- при охолодженні шлак витягується в довгі нитки, а в стані, коли остигнув, має чорний тьмянний вигляд.
- Якому відхиленню від нормального ходу печі відповідають ці параметри плавки?
- Що могло послужити причиною порушення роботи печі?
- До яких наслідків може призвести тривала робота печі в такому режимі?

- Яких заходів необхідно вжити для приведення печі в нормальний режим?

Ситуація 2.2.19 (ГХП)

На доменній печі, яка виплавляє передільний чавун, погіршали техніко-економічні показники, які характеризуються наступними ознаками:

- тиск гарячого дуття поступово зростає із зменшенням його витрати;
- рівномірність сходу подач порушується, виникають підстої і обриви шихти;
- на діаграмі тиску колошникового газу з'являються верхні піки, температура периферійних газів збільшується на 50-70°C;
- верхній шлак стає рухомим і виділяє велику кількість газу;
- холодний шлак утворює каменеподібну масу;
- у чавуні зростає вміст кремнію;
- фурми працюють інтенсивно з яскравим свіченням.
- На яке відхилення режиму доменної плавки вказували наведені ознаки і свідчення КВП?
- Якими причинами викликається це порушення?
- До яких наслідків може призвести таке порушення режиму доменної плавки?
- Які заходи вживають для усунення наведеного порушення режиму плавки?

Ситуація 2.2.20 (ЗГП)

На доменній печі при виплавці висококрем'янистих чавунів погіршали техніко-економічні показники, на що вказували наступні ознаки:

- прискорене горіння шлакових і повітряних фурм;
- різке зростання суми $\text{CO} + \text{CO}_2$ колошникового газу в осьовій зоні;
- зменшення швидкості опускання шихти перед випусками;
- збільшення загального перепаду статичного тиску газу;
- нерівномірність випусків чавуну по масі;
- збільшення виходу графіту і коксового дріб'язку під час випусків чавуну;
- значні коливання хімічного складу чавуну по випусках.
- На який розлад ходу доменної печі вказували наведені ознаки?
- Якими причинами викликається цей розлад?
- До яких наслідків в роботі доменної печі може призвести такий розлад?
- Як попереджають і як усувають цей вид розладу, якщо попередити його не

вдалося?

Ситуація 2.2.21 (ТХП)

В один з періодів роботи доменної печі різко погіршали якість чавуну і техніко-економічні показники плавки. Хід печі в цей період був у край нестійким і характеризувався наступними ознаками:

- тиск дуття зростає і стає нестійким;
 - на діаграмі колошникового газу виникають верхні піки;
 - температура колошникового і периферійного газу знижується, ширина доріжки зменшується;
 - схід шихтових матеріалів нерівний: виникають підстої і обриви, а паузи між опусканнями подач збільшуються;
 - зростає загальний перепад тиску газу в печі;
 - вміст двооксиду вуглецю у газі на периферії зростає на 3-4 %.
- Якому відхиленню від нормального ходу печі відповідають перераховані параметри плавки?
 - Що могло послужити причиною порушення роботи печі?
 - До яких наслідків може призвести тривала робота печі в такому режимі?
 - Яких заходів необхідно вжити для приведення печі в нормальний режим?

Ситуація 2.2.22 (НДП)

На доменній печі часто мінялася залізородна шихта, унаслідок переходу її роботи на різні види чавуну, завдяки чому зона когезії значно коливалася по висоті печі. Робота печі характеризується в край нестійким ходом:

- тиск і витрата дуття починають різко коливатися;
 - на діаграмах рівня засипу фіксуються підстої і обриви шихти;
 - часто виникають верхні і нижні підвисання;
 - на діаграмі колошникового газу реєструються верхні піки;
 - різниця температур кладки шахти по колу печі досягає 200- 300°C;
 - витрата коксу помітно збільшується при одночасному зниженні продуктивності печі.
- Про який розлад роботи доменної печі йде мова?
 - До яких наслідків в роботі печі може призвести цей розлад?
 - Якими причинами викликається таке порушення в ритмі роботи печі?

- Які технологічні дії роблять для попередження і усунення виниклого розладу?

Д.3. Розрахунок задувної шихти

Д.3.1. Призначення і особливості складання задувної шихти

Правильний вибір складу задувної шихти має велике значення. Вона повинна забезпечити не тільки одержання чавуну та шлаку встановленого складу, а й компенсувати додаткові витрати тепла на проходження таких процесів, як нагрівання плавильних матеріалів до температур, при яких нормально здійснюються процеси відновлення, утворюються чавун і шлак; відновлення оксидів заліза залізорудної частини шихти прямим шляхом, розплавлення підвищеної, в порівнянні із звичайною, кількістю шлаку.

Сукупністю усіх цих умов і пояснюється велика сумарна витрата коксу в задувних шихтах, яка складає від 2,5 до 3,5 т/т чавуну. Визначення рудного навантаження виконується з таким розрахунком, щоб вміст кремнію в чавуні перших випусків складав 3,0-4,0 %. Подальше, по мірі прогріву маси шихти і продуктів плавки, рудне навантаження підвищують для одержання чавуну, що вміщує 2,5-2,0% Si. Звичайне рудне навантаження задувної шихти складає 0,4-0,75 т/т коксу.

Для раціонального використання, необхідного для задувки коксу, його треба ділити на дві частини, з яких перша призначена для компенсації усіх теплових витрат в період завершеного теплообміну і складає так названу "нульову" шихту, друга розраховується на одержання заданих змістів чавуну та шлаку в передбаченні, що тепло від горіння коксу витрачається тільки на потреби власне металургійного процесу.

В перший період задувки треба понад усім прогріти кладку і завантажені в домну матеріали. Для цього в нижню частину завантажують холодні подачі /один кокс/. Звичайно, горні і заплечики заповнюються частиною "нульової" шихти, тобто одним коксом. Залишкова частина "нульової" шихти розміщується в розпарі і нижній частині /до 10% обсягу/ шахти. Причому кокс в цьому випадку завантажуються разом з матеріалами /вапняк, доменний шлак, конверторний шлак, кварцит/, призначеними для одержання заданої основності першого шлаку. Кварцит, в залежності від складу пустої породи, необхідний також для одержання заданого вмісту кремнію в чавуні. Решту обсягу шахти домни заповнюють

проміжними шихтами із залізомістких матеріалів. Причому кількість цих матеріалів збільшується в шихтах, які розташовані на більш високих горизонтах. Число проміжних шихт із змінним рудним навантаженням в загальній задувній шихті буває різним. Для доменних печей обсягом 2000-5000 м³ воно становить 5-13, в залежності від кількості компонентів в шихті і способу завантаження її в домну. При завантаженні в домну залізомісткої частини шихти із агломерату і залізної руди число цих шихт може бути не більш 5-6. Це забезпечує досить повільні переходи в тепловому режимі по висоті домни.

Не менш важливі при розрахунку задувної шихти є визначення змісту і відносної кількості шлаку. Як правило, кількість шлаку в задувній шихті змінюється від 0,8 до 1,9 т/т чавуну в залежності від способу завантаження в домну "нульової" шихти, що не вміщує залізорудних матеріалів. Важливо, щоб розрахунковий шлак, окрім відповідної характеристики по в'язкості, температурам плавлення, кристалізації та стійкості, мав склад, що мінімально впливає на вогнетривке футерування.

Тому основність шлаку, в залежності від вмісту сірки в коксі, повинна бути в межах $\text{CaO}:\text{SiO}_2 = 1,0-1,2$.

Залізомісткі матеріали повинні бути тривкими, по можливості бідними по вмісту заліза, легко відновлюваними, але з важкоплавкою порожньою породою.

Довгий час вважалося, що задувка домни на сирій кусковій руді найбільш раціональна. Але сучасна практика показала, що навіть часткова заміна сирої руди і вапняку офлюсованим агломератом приведе до покращення умов утворення і формування необхідного складу шлаку, полегшить регулювання теплового режиму горна і одержання чавуну заданого складу. Використання обкотишів в задувній шихті не рекомендується у зв'язку із їх недостатньою "гарячою" міцністю при відновленні. Уведення і поступове збільшення кількості обкотишів доцільно після досягнення нормального режиму роботи домни. У задувній шихті винос пилу практично рівний нулю і при розрахунку не враховується.

Д.3.2. Методичні вказівки до виконання розрахунку задувної шихти

Важливим елементом розрахунку задувної шихти є вибір початкових даних.

Початковими даними для розрахунку являються: хімічний склад чавуну;

основність шлаку; склад шихти; кількість та рудне навантаження /питома витрата коксу/ в проміжних шихтах; рудне навантаження в першому об'ємі шихти; маса коксової колоші /в залежності від об'єму скіпа/; насипні маси окремих компонентів шихти. Для спрощення рудне навантаження в першому об'ємі, його розподілення по висоті домни та необхідна основність шлаку задаються, виходячи з виробничого досвіду. Для домни, задувка якої буде проводитися, визначаються об'єми окремих елементів профілю.

Розрахунок починається з визначення кількості коксу для "нульової" шихти, яка займає об'єм горна, заплечиків, розпару і 10% об'єму шахти. Флюсуючи добавки для ошлакування золи коксу даються з коксом, заповнюючим об'єм розпару та 10% об'єму шахти домни. Розрахунок кількості коксу в кожний із об'ємів здійснюється по відомому об'єму частини домни та насипній масі коксу. Кількість флюсуючих додатків визначається по балансу кремнію і монооксиду кальцію. Якщо в ролі флюсу висувається конверторний шлак, то по визначенні його флюсуючої здібності необхідно враховувати, що частина кремнезему шлаку відновлюється до кремнію. Цей кремній переходить до чавуну, що утворився із конверторного шлаку /на відміну від вапняку в конверторному шлаці вміщується біля 2,0 % заліза/.

Кількість подач коксу та флюсуючих додатків визначається, виходячи із заданої маси коксової колоші.

Решта обсягу домни заповнюється однаковими по об'єму проміжними шихтами, які мають, окрім коксу та флюсів, залізорудні матеріали. Розрахунок кількості залізорудних матеріалів в кожній шихті визначають із заданих складу шихти та величини рудного навантаження. Після цього визначається кількість подач кожної із проміжних шихт.

По кожній із шихт визначається вихід чавуну та шлаку. Потім виконується перевірочний розрахунок змісту чавуну, інших параметрів плавки. Розрахунок задувної шихти приведений в додатку І. Завдання для самостійної роботи по розрахунку задувної шихти приведені в додатку 2.

Розрахунок

Задувної шихти для умов роботи домни $V_n = 2000\text{м}^3$ комбінату "Криворіжсталь"

1. Відправні дані:

1.1. Склад шихти:

агломерат фабрики НКГЗК;
залізна руда ;
конверторний шлак;
кокс

/ співвідношення агломерату і залісної руди 60 % : 40 % / .

1.2. Хімічний склад чавуну, %

Si	Mn	S	P	C	Fe	Σ
3,5	0,6	0,1	0,06	3,90	91,84	100,0

1.3 Основність шлаку /CaO:SiO₂/.

1.4. Умивка шихти 14,5 %

1.5. Насипна маса, т/м³

агломерату – 1,65; залісної руди – 2,1; коксу – 0,5; конверторного шлаку – 1,5.

1.6. Маса коксової колоші – 9 т.

1.7. Розподіл шихт по висоті домни:

0ш – до осі повітряних фурм / Ош - "нульова"

шихта /; 1ш – від фурм до розпару;

2ш – розпар і 10 % обсягу шахти;

3ш – 7ш завантажуються нормальними подачами з рудним

навантаженням: 3ш – 0,5 т/т, 4ш – 1,0 т/т, 5ш – 1,5 т/т, 6ш – 2,0 т/т,

7ш – 2,2 т/т.

1.8. Об'єми елементів домни, м³:

Горн до осі повітряних фурм - 254 м³

Від осі повітряних фурм до розпару –

284 м³ Розпар – 158,7 м³

Шахта – 1199,2

м³ Колошник –

129,9 м³.

Таблиця Д 3.1. Хімічний склад компонентів задувної шихти

Назва матеріалів	Вміст, %									
	Fe	Mn	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	FeO	MnO	S	CaO/SiO ₂
Залізна руда	49,37	-	15,87	1,64	1,36	3,0	11,5	-	0,04	-
Агломерат НКЗК-1	52,40	0,72	10,02	1,34	12,5	1,3	10,72	0,93	0,02	1,25
Зола коксу	19,16	-	44,74	10,22	3,92	1,26	-	-	-	-
Конверторний шлак	19,65	-	18,1	1,70	42,55	4,4	5,3	5,3	0,12	-

Технічний аналіз коксу: зола /А/ – 10,6 %, сірка /S/ – 1,66 %, летючі речовини /Л.Р/ – 1,0 %, волога /W/ – 3,9 %.

2. Розрахунок витрати коксу в шихті 0, 1 і 2
 - 2.1 Витрата коксу в 0ш складі: $(254 \cdot 0,5) / 0,855 = 148,5 \text{ т}$,
де 254 – об'єм горна до осі повітряних фурм, м^3 ,
0,855 – коефіцієнт уминки матеріалів
0,5 – насипна маса коксу, $\text{т} / \text{м}^3$
 - 2.2. кількість подач коксу 0ш: $148,5 / 18 = 8,25$ подач,
де 18 – маса коксу в холостій подачі, $\text{т} / \text{подачу}$ приймаю 9 подач.
 - 2.3. Витрата коксу в 1 шихті складі: $286 \cdot 0,5 / 0,855 = 167,25 \text{ т} = 167 \text{ т}$,
де 286 – об'єм домни від осі повітряних фурм до розпару, м^3
 - 2.4. Визначаємо кількість подач цієї шихти: $167 / 18 = 9,27$ подач.
 - 2.5.1. Об'єм домни для 2 шихти: $158,7 + 1199,2 \cdot 10 / 100 = 278,6 \text{ м}^3$,
де 1199,2 – об'єм шахти, м^3 .
 - 2.5.2. Витрата коксу в 2 шихті: $278,6 \cdot 0,5 / 0,855 = 162,9 \text{ т} = 163 \text{ т}$
 - 2.5.3. Кількість подач 2 шихти: $163 / 9 = 18,1$ подач,
де 9 – кількість коксу в подачі при завантаженні по системі КШК, т.
Приймаємо 18 подач.
 - 2.5.4. Сумарна витрата коксу 1ш та 2ш: $167 + 163 = 330 \text{ т}$
 - 2.6. Розрахунок витрати конверторного шлаку в 2 шихті:
 - 2.6.1. В одній тоні коксу вміщується кремнезему:
 $1000 \cdot ((100 - 3,9) / 100) \cdot 0,106 \cdot 0,4474 = 45,57 \text{ кг/т}$,
де 0,106 – частка золи в коксі
3,9 – вологість коксу, %
0,4474 – частка SiO_2 в золі коксу.
 - 2.6.2. Кількість CaO , яку треба внести конверторним шлаком: $45,57 \cdot 1,15 = 52,41 \text{ кг/т коксу}$,
де 1,15 – основність шлаку.
 - 2.6.3. Вихід чавуну з 1 т конверторного шлаку: $1,0 \cdot 0,1965 / 0,9184 = 0,201 \text{ т/т}$,
де 0,1965 – частка заліза в конверторному шлаці
0,9184 – частка заліза в чавуні
 - 2.6.4. Кількість SiO_2 , яка необхідна для одержання вмісту кремнію в чавуні: $0,201 \cdot 0,035 \cdot 60 / 28 = 0,015 \text{ т/т} = 15 \text{ кг/т конверторного шлаку}$
 - 2.6.5. Флюсуюча здібність 1-ї тони конверторного шлаку складі: $42,55 - (18,1 - 1,5) \cdot 1,15 = 23,45 \%$,
де 42,55 – вміст CaO у конверторному шлаці,
% 18,1 – вміст SiO_2 у конверторному шлаці, %
1,5 – кремнезем конверторного шлаку, що відновлюється у вигляді кремнію в чавун, %
 - 2.6.6. Витрата кремнезему 1-ї тони коксу: $52,41 / 0,2345 = 233,5 \text{ кг}$
 - 2.6.7. Кількість конверторного шлаку для ошлакування кремнезему 1-ї та 2-ї шихти: $233,5 \cdot 330 / 1000 = 73,76 \text{ т}$
 - 2.6.8. Витрата конверторного шлаку у подачу 2-ї шихти: $73,76 / 18 = 4,1 \text{ т}$

2.7. Уточнений об'єм 2-ї шихти:

$$278,6 + (73,76 / 1,5) \cdot 0,855 = 320,6 \text{ м}^3$$

3. Розрахунок проміжних шихт з заданим рудним навантаженням:

3.1 Необхідно завантажити проміжними шихтами решту об'єму

$$\text{домни: } 2000 - (254 + 286 + 320,6) = 1139,4 \text{ м}^3$$

3.1. Об'єм однієї шихти

$$\text{складає: } 1139,4 / 5 = 228 \text{ м}^3,$$

де 5 – кількість проміжних шихт.

3.2. Розрахунок кількості компонентів 3-ї шихти при рудному навантаженні 0,5 т/т коксу:

Визначаємо витрату залізорудної частини шихти в подачу: $9 \cdot 0,5 = 4,5 \text{ т}$,

в тому числі: агломерату $4,5 \cdot 0,6 = 2,7 \text{ т}$; залізної руди $4,5 \cdot 0,4 = 1,8 \text{ т}$.

3.2.3. Розрахунок витрати конверторного шлаку в

подачу: а) орієнтовний вихід чавуну з 1-ї подачі

складе:

$$(9 \cdot 0,106 \cdot 0,961 \cdot 0,916 + 2,7 \cdot 0,524 + 1,8 \cdot 0,4937) / 0,9184 = 2,7 \text{ т},$$

де 0,524 й 0,4937 – частка заліза в агломераті й руді відповідно;

0,961 – частка сухої маси в скіповому коксі;

0,916 – частка заліза в золі

коксу; 0,106 – частка золи в

коксі.

б) вноситься SiO_2 компонентами шихти:

$$9 \cdot 0,106 \cdot 0,961 \cdot 0,4474 + 2,7 \cdot 0,1002 + 1,8 \cdot 0,1587 = 0,97 \text{ т},$$

де 0,1002 та 0,1587 – частка SiO_2 в агломераті й руді

відповідно. в) переходить SiO_2 в шлак:

$$0,97 - 2,7 \cdot 0,035 \cdot 60/28 = 0,77 \text{ т}$$

г) необхідно внести CaO для ошлакування SiO_2 :

$$0,77 \cdot 1,15 = 0,89 \text{ т}$$

д) вноситься CaO золою коксу, агломератом та залізною рудою:

$$9 \cdot 0,106 \cdot 0,961 \cdot 0,0392 + 2,7 \cdot 0,125 + 1,8 \cdot 0,0136 = 0,398 \text{ т},$$

де 0,0392; 0,125; 0,0136 – частка CaO в золі коксу, агломераті та залізній руді відповідно.

е) витрата конверторного шлаку

$$\text{складає: } (0,89 - 0,398) / 0,2345 = 2,09 \text{ т},$$

де 0,2345 – флюсуюча здібність конверторного шлаку в частках одиниці.

3.2.4. Об'єм подачі 3-ї шихти складе:

$$(9 / 0,5 + 2,7 / 1,65 + 1,8 / 2,1 + 2,09 / 1,5) \cdot 0,855 = 18,7 \text{ м}^3$$

3.2.5. Кількість подач 3-ї шихти

$$\text{складає: } 228 / 18,7 = 12,19 \text{ подач}$$

Приймаю 12 подач.

3.4. Розрахунок кількості компонентів 4-ї шихти при рудному навантаженні 1,0 т/т коксу:

3.4.1. Визначаємо витрату залізорудної частини шихти в

подачу: $9,0 \cdot 1,0 = 9 \text{ тон}$,

в тому числі: агломерату $9 \cdot 0,6 = 5,4 \text{ т}$;

залізної руди $9 \cdot 0,4 = 3,6 \text{ т}$.

3.4.2. Розрахунок витрати конверторного шлаку в подачу:

а) орієнтовний вихід чавуну з однієї подачі складе:

$$(9 \cdot 0,106 \cdot 0,961 \cdot 0,916 + 5,4 \cdot 0,524 + 3,6 \cdot 0,4937) / 0,9184 = 5,21 \text{ т},$$

де 0,524 й 0,4937 – частка заліза в агломераті та руді відповідно;
0,961 – частка сухої маси в скіповому коксі;
0,916 – частка заліза в золі коксу;
0,106 – частка золи в коксі.

б) вноситься SiO_2 компонентами шихти:

$$9 \cdot 0,106 \cdot 0,961 \cdot 0,4474 + 5,4 \cdot 0,1002 + 3,6 \cdot 0,1587 = 1,523 \text{ т},$$

де 0,1002 й 0,1587 - частка SiO_2 в агломераті та руді відповідно.

в) переходить SiO_2 в шлак:

$$1,523 - 5,21 \cdot 0,035 \cdot 60/28 = 1,1 \text{ т}$$

г) необхідно внести CaO для ошлакування SiO_2 :

$$1,1 \cdot 1,15 = 1,27 \text{ т}$$

д) вноситься CaO золою коксу, агломератом та залізною рудою:

$$9 \cdot 0,106 \cdot 0,961 \cdot 0,0392 + 5,4 \cdot 0,125 + 3,6 \cdot 0,0136 = 0,76 \text{ т},$$

де 0,0392; 0,125; 0,0136 – частка CaO в золі коксу, агломераті та залізній руді відповідно.

е) витрата конверторного шлаку в подачу складе:

$$(1,27 - 0,76) / 0,2345 = 2,17 \text{ т},$$

де 0,2345 – флюсуюча здібність конверторного шлаку.

3.4.3. Об'єм подачі 4-ї шихти складе:

$$(9 / 0,5 + 5,4 / 1,65 + 3,6 / 2,1 + 2,17 / 1,5) \cdot 0,855 = 21 \text{ м}^3$$

3.4.4. Кількість подач 4-ї шихти складе:

$$228 / 21 = 10,85 \text{ подач}$$

Приймаємо 11 подач.

3.5. Розрахунок кількості компонентів 5-ї шихти при рудному навантаженні 1,5 т/т коксу:

3.5.1. Визначаємо витрату залізорудної частини шихти в

подачу: $9 \cdot 1,5 = 13,5 \text{ т}$,

в тому числі: агломерату $13,5 \cdot 0,6 = 8,1 \text{ т}$;

залізної руди $13,5 \cdot 0,4 = 5,4 \text{ т}$.

3.5.2. Розрахунок витрати конверторного шлаку в подачу:

а) орієнтовний вихід чавуну з однієї подачі складе:

$$(9 \cdot 0,106 \cdot 0,961 \cdot 0,916 + 8,1 \cdot 0,524 + 5,4 \cdot 0,4937) / 0,9184 = 7,72 \text{ т},$$

де 0,524 та 0,4937 – частка заліза в агломераті й руді відповідно;
0,961 – частка сухої маси в скіповому коксі;
0,916 – частка заліза в золі коксу;
0,106 – частка золи в коксі.

б) вноситься SiO_2 компонентами шихти:

$$9 \cdot 0,106 \cdot 0,961 \cdot 0,4474 + 8,1 \cdot 0,1002 + 5,4 \cdot 0,1587 = 2,08 \text{ т},$$

де 0,1002 та 0,1587 - частка SiO_2 в агломераті й руді відповідно.

в) переходить SiO_2 в шлак:

$$2,08 - 7,72 \cdot 0,035 \cdot 60/28 = 1,5 \text{ т}$$

г) необхідно внести CaO для ошлакування SiO_2 :

$$1,5 \cdot 1,15 = 1,73 \text{ т}$$

д) вноситься СаО золю коксу, агломератом та залізною рудою:

$$9 \cdot 0,106 \cdot 0,961 \cdot 0,0392 + 8,1 \cdot 0,125 + 5,4 \cdot 0,0136 = 1,12 \text{ т,}$$

де 0,0392; 0,125; 0,0136 – частка СаО в золі коксу, агломераті та залізній

руді відповідно.

е) витрата конверторного шлаку складає:

$$(1,73 - 1,12) / 0,2345 = 2,6 \text{ т,}$$

де 0,2345 – флюсуюча здібність конверторного шлаку.

3.5.3. Об'єм подачі 5-ї шихти складе:

$$(9 / 0,5 + 8,1 / 1,65 + 5,4 / 2,1 + 2,6 / 1,5) \cdot 0,855 = 23,2 \text{ м}^3$$

3.5.4. Кількість подач 5-ї шихти складе:

$$228 / 23,2 = 9,83 \text{ подачі.}$$

Приймаємо 10 подач.

3.6. Розрахунок кількості компонентів 6-ї шихти при рудному навантаженні 2,0 т/т коксу:

3.6.1. Визначаємо витрату залізорудної частини шихти в

подачу: $9 \cdot 2,0 = 18 \text{ т,}$

в тому числі: агломерату $18 \cdot 0,6 = 10,8 \text{ т;}$

залізної руди $18 \cdot 0,4 = 7,2 \text{ т.}$

3.6.2. Розрахунок витрати конверторного шлаку в подачу:

а) орієнтовний вихід чавуну з однієї подачі складе:

$$(9 \cdot 0,106 \cdot 0,961 \cdot 0,1916 + 10,8 \cdot 0,524 + 7,2 \cdot 0,4937) / 0,9184 = 10,22 \text{ т,}$$

де 0,524 та 0,4937 – частка заліза в агломераті та руді відповідно;

0,961 – частка сухої маси в скіповому коксі;

0,916 – частка заліза в золі коксу;

0,106 – частка золи в коксі.

б) вноситься SiO₂ компонентами шихти:

$$9 \cdot 0,106 \cdot 0,961 \cdot 0,4474 + 10,8 \cdot 0,1002 + 7,2 \cdot 0,1589 = 2,64 \text{ т,}$$

де 0,1002 та 0,1589 – частка SiO₂ в агломераті і руді відповідно.

в) переходить SiO₂ в шлак:

$$2,64 - 10,22 \cdot 0,035 \cdot 60/28 = 1,87 \text{ т}$$

г) необхідно внести СаО для ошлакування SiO₂:

$$1,87 \cdot 1,15 = 2,15 \text{ т}$$

д) вноситься СаО золю коксу, агломератом та залізною рудою:

$$9 \cdot 0,106 \cdot 0,961 \cdot 0,0392 + 10,8 \cdot 0,125 + 7,2 \cdot 0,0136 = 1,48 \text{ т,}$$

де 0,0392; 0,125; 0,0136 – частка СаО в золі коксу, агломераті та залізній

руді відповідно.

е) витрата конверторного шлаку складає:

$$(2,15 - 1,48) / 0,2345 = 2,86 \text{ т,}$$

де 0,2358 – флюсуюча здібність конверторного шлаку.

3.6.3. Об'єм подачі 6-ї шихти складе:

$$(9 / 0,5 + 10,8 / 1,65 + 7,2 / 2,1 + 2,86 / 1,5) \cdot 0,855 = 25,54 \text{ м}^3$$

3.6.4. Кількість подач 6-ї шихти складе:

$$228 / 25,54 = 8,92 \text{ подачі.}$$

Приймаємо 9 подач.

3.7. Розрахунок кількості компонентів 7-ї шихти при рудному навантаженні 2,2 т/т коксу:

3.7.1. Визначаємо витрату залізорудної частини шихти в подачу:

$$9 \cdot 2,2 = 19,8 \text{ т,}$$

$$\text{в тому числі: агломерату} \quad 19,8 \cdot 0,6 = 11,88 \text{ т;}$$

$$\text{залізної руди} \quad 19,8 \cdot 0,4 = 7,92 \text{ т.}$$

3.7.2. Розрахунок витрати конверторного шлаку в подачу:

а)орієнтовний вихід чавуну з однієї подачі складе:

$$(9 \cdot 0,106 \cdot 0,961 \cdot 0,916 + 11,88 \cdot 0,524 + 7,92 \cdot 0,4937) / 0,9184 = 11,23 \text{ т,}$$

де 0,524 та 0,4937 – частка заліза в агломераті і руді відповідно;

0,961 – частка сухої маси в скіповому коксі;

0,916 – частка заліза в золі коксу;

0,106 – частка золи в коксі.

б)вноситься SiO_2 компонентами шихти:

$$9 \cdot 0,106 \cdot 0,961 \cdot 0,4474 + 11,88 \cdot 0,1002 + 7,92 \cdot 0,1587 = 2,928 \text{ т,}$$

де 0,1002 та 0,1587 - частка SiO_2 в агломераті й руді відповідно.

в)переходить SiO_2 в шлак:

$$2,928 - 11,23 \cdot 0,035 \cdot 60/28 = 2,09 \text{ т}$$

г)необхідно внести CaO для ошлакування SiO_2 :

$$2,09 \cdot 1,15 = 2,4 \text{ т}$$

д) вноситься CaO золою коксу, агломератом та залізною рудою:

$$9 \cdot 0,106 \cdot 0,961 \cdot 0,0392 + 11,88 \cdot 0,125 + 7,92 \cdot 0,0136 = 1,63 \text{ т,}$$

де 0,0392; 0,125; 0,0136 – частка CaO в золі коксу, агломераті та залізній

руді відповідно.

е) витрата конверторного шлаку складе:

$$(2,4 - 1,63) / 0,2345 = 3,28 \text{ т,}$$

де 0,2345 – флюсуюча здібність конверторного шлаку.

3.7.3. Об'єм подачі 7-ї шихти складе:

$$(9 / 0,5 + 11,88 / 1,65 + 7,92 / 2,1 + 3,28 / 1,5) \cdot 0,855 = 26,8 \text{ м}^3$$

3.7.4. Кількість подач 7-ї шихти складе:

$228 / 26,8 = 8,51$ подачі.

Приймаємо 8 подач.

4. Розрахунок кількості шихтових матеріалів першого об'єму завантаженої шихти. Результати розрахунку зведені у таблицю Д.3.2.

Таблиця Д.3.2.

Назва шихти	Витрата матеріалів, т				Кількість подач	Рудне навантаження, т/т коксу	Те ж з урахуванням флюсу, т/т коксу
	Кокс	Агломерат	Залізна руда	Конверторний шлак			
0ш	148,5	-	-	-	9	0	0
1ш	167,25	-	-	-	10	0	0
2ш	162,9	-	-	73,76	18	-	0,45
3ш	108	32,4	21,6	25,08	12	0,5	0,73
4ш	99	59,4	39,6	23,78	11	1,0	1,24
5ш	90	81,0	54,0	26,0	10	1,5	1,79
6ш	81	97,2	64,8	25,74	9	2,0	2,32
7ш	72	95,04	63,36	26,24	8	2,2	2,56

5. Розрахунок виходу чавуну першого об'єму завантаженої шихти: $(928,65$

$$\cdot 0,106 \cdot 0,961 \cdot 0,1916 + 365,04 \cdot 0,524 + 243,36 \cdot 0,4937 + 200,6 \cdot$$

$$0,1965)/0,9184 = 401,75 \text{ т}$$

6. Розрахунок виходу шлаку з першого об'єму завантаженої шихти за чотирма компонентами

$(\text{SiO}_2, \text{CaO}, \text{MgO}, \text{Al}_2\text{O}_3)$:

- а) внесено SiO_2 коксом, агломератом, залізною рудою та конверторним шлаком:

$$928,65 \cdot 0,106 \cdot 0,961 \cdot 0,4474 + 365,04 \cdot 0,1002 + 243,36 \cdot 0,1587 + 200,6 \cdot 0,181 =$$

$$153,83 \text{ т}$$

- б) кількість SiO_2 , що перейшла в шлак, з урахуванням витрат SiO_2 на відновлення кремнію в чавун:

$$153,83 - 401,75 \cdot 0,035 \cdot 60/28 = 123,7 \text{ т}$$

в) внесено СаО шихтовими матеріалами:

$$928,65 \cdot 0,106 \cdot 0,961 \cdot 0,0392 + 365,04 \cdot 0,125 + 243,36 \cdot 0,0136 + 200,6 \cdot 0,4255 = 138,0 \text{ т}$$

г) внесено MgO шихтовими матеріалами:

$$928,65 \cdot 0,106 \cdot 0,961 \cdot 0,0126 + 365,04 \cdot 0,013 + 243,36 \cdot 0,03 + 200,6 \cdot 0,044 = 22,1 \text{ т}$$

д) внесено Al₂O₃ шихтовими матеріалами:

$$928,65 \cdot 0,106 \cdot 0,961 \cdot 0,2022 + 365,04 \cdot 0,0134 + 243,36 \cdot 0,0164 + 200,6 \cdot 0,017 = 31,42 \text{ т}$$

е) вихід шлаку за чотирма компонентами:

$$123,7 + 138,0 + 22,1 + 31,42 = 315,22 \text{ т}$$

На підставі таблиці П. 1.2., розрахунку виходу чавуну та шлаку визначаємо витрату матеріалів та вихід шлаку на 1 тону чавуну:

Витрату матеріалів т/т приймаємо:

Коксу	2,31
Агломерату	0,909
Залізної руди	0,606
Конверторного шлаку	0,499

Вихід шлаку на 1 тону чавуну склав 0,785 т.

Перевірка вмісту сірки в чавуні:

Вноситься сірки шихтовими матеріалами, т:

Коксом	15,43
Агломератом	0,073
Залізною рудою	0,097
Конверторним шлаком	0,240
Всього	15,83

За формулою С. Т. Ростовцева вміст сірки в чавуні складе: $[S] = S_{\text{зал}} / (L_s \cdot n + 1)$

Розрахунок кількості залишкової сірки:

Приймаємо, що в перший період задувки вся сірка розподіляється між чавуном та шлаком.

Тоді, $S_{\text{зал}} = 15,83 \cdot 100 / 401,75 = 3,94$ кг сірки на 100 кг чавуну

Приймаємо $L_s = 60$.

Тоді $[S] = 3,94 / (60 \cdot 0,785 + 1) = 0,082 \%$

З А В Д А Н Н Я

на виконання різних варіантів розрахунку задувної шихти

Варі-анти	Склад шихти	Склад чавуну, %	Основ-ність	Умин-ка, %	Маса коксо-вої коло-ші	Насипна маса матеріалів, т/м ³	Корис-ний обсяг домни, м ³
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Агломерат НКГЗК - 50% Залізна руда Криворізького родовища – 50 % Конверторний шлак Кокс	Si – 3.0% S – 0.1% C – 4.1% Mn – 0.9% P – 0.06% Fe – 91.84%	1.18	14.0	9.0	Агломерат – 1.65 Залізна руда – 2.1 Кокс -0.5 Конверт. шлак – 1.5	2000
2	Агломерат ЮГЗК – 60% Залізна руда Криворізького родовища – 40% Конверторний шлак Кокс БКХЗ	Si – 3.5% S – 0.1% C – 3.9% Mn – 0.6% P – 0.6% Fe – 91.84%	1.15	14.5	6.0	—"	1386
3	Агломерат ДМК - 60% Залізна руда Криворізького родовища – 40% Конверторний шлак	Si – 3.0% S – 0.1% C – 4.2% Mn – 0.8% P – 0.06% Fe – 91.84%	1.2	15.0	7.0	—"	1719

	Кокс БКХЗ						
4	Агломерат ММК - 70% Залізна руда Магнітогорсько го родовища – 30% Вапняк Кокс ММК	Si - 2.5% S – 0.1% C – 4.4 % Mn – 0.6% P – 0.06% Fe – 93.15%	1.19	14.5	9.0	–"–	2000
5	Агломерат ОХМК - 60% Залізна руда ОХМК - 40% Вапняк Кокс ОХМК	Si – 2.5% S – 0.1% C – 4.2% Mn – 0.8% P – 0.06% Fe – 92.34%	1.15	14.0	6.0	–"–	1513

6	Агломерат НКГЗК - 60% Залізна руда Криворізького родовища – 40 % Конверторний шлак Кокс БКХЗ	Si – 3.5% S – 0.2% C – 3.85% Mn – 0.5% P – 0.05% Fe – 91.9%	1.0	14.5	10.0	Аглом ерат – 1.65 Залізн а руда – 2.1 Кокс - 0.5 Конве рт.шла к – 1.5	5000
7	Залізна руда Криворізького родовища – 100 % Вапняк Кокс БКХЗ	Si – 4.0% S – 0.08% C – 4.2% Mn – 0.6% P – 0.05% Fe – 91.07%	1.0	15.0	3.2	–"–	1033
8	Агломерат ДМК - 60% Залізна руда Криворізького родовища – 40%	Si – 3.5% S – 0.1% C – 3.9% Mn – 0.6% P – 0.06% Fe – 91.84%	1.15	14.5	9.0	–"–	2300

	Вапняк Кокс БКХЗ						
9	Агломерат НКТГОК - 70% Залізна руда Криворізького родовища – 30% Вапняк Кокс БКХЗ	Si – 4.0% S – 0.1% C – 4.1% Mn – 0.6% P – 0.05% Fe – 91.15%	1.07	14.5	3.2	—"	1033
10	Агломерат "Запоріжсталь" - 80% Залізна руда Білозерського родовища – 30% Вапняк Кокс ЗКХЗ	Si – 3.0% S – 0.12% C – 4.3% Mn – 0.7% P – 0.05% Fe – 91.83%	1.05	14.0	9.0	—"	2000
11	Агломерат ПГЗК - 100% Вапняк Кокс ККХЗ	Si – 3.2% S – 0.1% C – 3.95% Mn – 0.8% P – 0.06% Fe – 91.89%	1.07	15.0	6.0	—"	1513
12	Агломерат ДМК - 80% Залізна руда Криворізького родовища – 20% Конверторний шлак Кокс БКХЗ	Si – 4.0% S – 0.2% C – 4.0% Mn – 0.7% P – 0.07% Fe – 91.03%	1.15	14.5	3.2	—"	1033

Д.4. Умовні позначення

П, К_{пв} - продуктивність (т/добу), питома витрата коксу (кг/т);

КВКО - коефіцієнт використання корисного об'єму доменної печі, м³·добу/т;

V_п - корисний об'єм доменної печі, м³;

$\text{SiO}_{2\text{п}}$ - кількість кремнезему, що вноситься агломератом, обкотишами і коксом у піч за подачу, кг;

$\text{SiO}_{2\text{А}}$, $\text{SiO}_{2\text{Б}}$, $\text{SiO}_{2\text{О}}$ і $\text{SiO}_{2\text{К}}$ - вміст кремнезему в агломератах А та Б, обкотишах і золі коксу, %;

$\text{CaO}_{\text{А}}$, $\text{CaO}_{\text{Б}}$, $\text{CaO}_{\text{О}}$ і $\text{CaO}_{\text{К}}$ - вміст вапна в агломератах А та Б, обкотишах і золі коксу, %;

$\text{В}_{\text{А}}$, $\text{В}_{\text{Б}}$, В і $\text{В}_{\text{К}}$ - винесення пилу з подачі агломератів А та Б, обкотишів і коксу, кг;

$\text{Fe}_{\text{А}}$, $\text{Fe}_{\text{Б}}$, $\text{Fe}_{\text{О}}$ і $\text{Fe}_{\text{К}}$ - вміст заліза в агломератах А та Б, обкотишах і золі коксу, %;

$\text{Fe}_{\text{ч}}$, $\text{Si}_{\text{ч}}$, $\text{Mn}_{\text{ч}}$, $\text{P}_{\text{ч}}$, $\text{S}_{\text{ч}}$ і $\text{C}_{\text{ч}}$ - склад чавуну, %;

$\text{CaO}_{\text{из}}$, $\text{MgO}_{\text{из}}$, $\text{SiO}_{2\text{из}}$ - вміст у вапняку вапна, магnezії і кремнезему, %;

А , L , W - зола, летючі і волога коксу;

$\text{M}_{\text{а}}$, $\text{M}_{\text{о}}$, $\text{M}_{\text{к}}$ - маса агломерату, обкотишів і коксу у подачі, кг;

$\text{Ш}_{\text{из}}$, $\text{Ш}_{\text{пв}}$ - вихід шлаку за подачу, кг; і на тону чавуну, кг/т;

$\text{O}_{\text{ш}}$ - основність шлаку;

$\text{CaO}_{\text{ф}}$ - флюсуюча здатність вапняку, %;

$\text{R}_{\text{д}}$ - ступінь прямого відновлення, частки одиниці;

O_2 , H_2 , CO , N_2 , CO_2 - вміст газів у дутті і горнових газах;

$\text{H}_2\text{O}_{\text{д}}$ - вміст води у дутті;

L_s - коефіцієнт розподілу сірки між чавуном і шлаком;

$\text{P}_{\text{н}}$ - рудне навантаження.

Д.5. Атомні маси деяких елементів

Метали: Свинець (Pb) = 207; Вольфрам (W) = 184; Молібден (Mo) = 96; Цинк (Zn) = 65; Мідь (Cu) = 65; Кобальт (Co) = 59; Нікель (Ni) = 59; Залізо (Fe) = 56; Марганець (Mn) = 55; Хром (Cr) = 52; Ванадій (V) = 51; Титан (Ti) = 48; Кальцій (Ca) = 40; Калій (K) = 39; Кремній (Si) = 28; Алюміній (Al) = 27; Магній (Mg) = 24; Натрій (Na) = 23.

Неметали: Миш'як (As) = 75; Сірка (S) = 32; Фосфор (P) = 31; Вуглець (C) = 12;

Гази: Хлор (Cl) = 35; Фтор (F) = 19; Кисень (O) = 16; Азот (N) = 14; Водень (H) = 1;

Д.6. Види чавунів

Таблиця Д.6.1. Чавун переробний (ДВСТ 805-95)

Марка чавуну	Масова частка, %			
	Кремній	Марганець (Групи 1 – 4)	Фосфор (Клас А,Б,В,Г)	Сірка (Категорія 1-5)
П1	0,5 – 0,9	0,5 - 1,5	0,1 – 0,3	0,01 – 0,05
П2	до 0,5			
ПЛ1	0,9 – 1,2	0,3 – 1,5	0,08 – 0,3	
ПЛ2	0,5 – 0,9			
ПФ1	0,9 – 1,2	1,0 – 2,0	0,3 – 2,0	0,03 – 0,07
ПФ2	0,5 – 0,9			
ПФ3	до 0,5			
ПВК1	0,9 – 1,2	0,5 – 1,5	0,02 – 0,05	0,015 – 0,025
ПВК2	0,5 – 0,9			
ПВК3	до 0,5			

Таблиця Д.6.2. Чавун ливарний (ДВСТ 4832-95)

Марка Чавуну	Масова частка, %			
	Кремній	Марганець (группа 1–4)	Фосфор (клас А–Д)	Сірка (катег. 1–4)
Л1	3,2 – 3,6	< (0,3 – 1,5)	0,08 – 1,2	0,02 – 0,05
Л2	2,8 – 3,2			
Л3	2,4 – 2,8			
Л4	2,0 – 2,4			
Л5	1,6 – 2,0			
Л6	1,2 – 1,6			
ЛР1	3,2 – 3,6	< (0,3 – 1,0)	0,08 – 0,12	0,005 – 0,010
ЛР2	2,8 – 3,2			
ЛР3	2,4 – 2,8			
ЛР4	2,0 – 2,4			
ЛР5	1,6 – 2,0			
ЛР6	1,2 – 1,6			
ЛР7	0,8 – 1,2			

Таблиця Д.6.3. Феросплави доменні

Марка Феросплаву	Масова частка, %			
	Кремній	Марганець	Фосфор	Сірка
СИ10	9,0 – 13,0	Не більше 3,0	0,20	0,04
СИ15	13,1 і більше			
Зч1–Зч8	< 2,0	10,0 – 25,0	< (0,18 – 0,22)	< 0,03
Мн5–Мн7	< 0,9 – 1,8	70,0 – 75,1 і більше	< (0,35 – 0,5)	< 0,02

Література

1. Политехнический словарь. Гл. ред. акад. И.И. Артоболевский. – М.: Советская энциклопедия, 1976. – 608с.
2. Волков Ю.П., Шпарбер Л.Я., Гусаров А.К. Технолог-доменщик: Справочник. – М.: Металлургия, 1986. – 263 с.
3. Жеребин Б.Н. Практика ведения доменной печи. – М.: Металлургия, 1980. – 248с.
4. Исследование влияния систем загрузки на газопроницаемость доменной шихты в подаче // В.Н.Ковшов, В.Г.Чистяков, Петренко В.А., Терещенко Н.В.- В сб. Металлургия и коксохимия. – К.: Техника, 1979. – №62. – С.30-34.
5. Химический энциклопедический словарь. Гл. ред. И.Л.Кнунянц. – М.: Советская энциклопедия, 1983. – 792с.
6. Доменное производство: Справочник. В 2-х т. Том 2. Под ред. И.П. Бардина. – М.: Металлургиздат, 1963. – 647 с.
7. Ковшов В.Н., Петренко В.А., Верещак В.И. Оптимизация доменного процесса. – Днепропетровск: Арт-Пресс, 1997. – 108 с.
8. Свойства жидких доменных шлаков. Справочное пособие // В.Г.Воскобойников, Н.Е. Дунаев, А.Г. Михалевич и др. – М.: Металлургия, 1975. – 184 с.
9. Иващенко В.П., Терещенко В.С. Методические указания по решению производственных ситуаций на специальной практике. – Днепропетровск: ДметИ, 1984. – 36с.
10. Плискановский С.Т., Полтавец В.В. Неполадки в работе доменных печей: Учебник. – Днепропетровск: Пороги, 2002. – 301 с.
11. Гладков Н.А., Петренко В.А., Васюченко А.И. Выплавка феррохрома в доменной печи. – Днепропетровск: Институт технологии, АРТ-ПРЕСС, 2003. – 76с.
12. Ковшов В.Н., Петренко В.А. Экспериментальные исследования движения шихты и газа в доменной печи. – Днепропетровск: Институт технологии, 1996. – 124 с.
13. Тараканов А.К. Внедрение автоматизированных систем управления технологическим режимом доменной плавки. – Днепропетровск: УРС НТО, УРП НТО ЧМ, 1987. – 67с.

14. Петренко В.А., Ковшов В.Н., Ткач А.Я. Оптимизация шлакового режима доменной плавки для улучшения качества чугуна. – Металл и литьё Украины, 2002. – №3-4. – С.14-17.

ЗМІСТ

ВСТУП	2
1. Підготовка доменної печі до експлуатації	6
1.1. Підготовка доменної печі до задування	6
1.2. Сушка доменної печі	9
1.3. Задування доменної печі	9
2. Управління доменною піччю	25
2.1. Технологічні режими доменної плавки	26
2.1.1. Сировинні умови	26
2.1.2. Режим завантаження	30
2.1.3. Дуттьовий режим	38
2.1.4. Тепловий і шлаковий режими	39
2.2. Хід печі (рух шихти)	44
3. Ознаки, за якими судять про хід доменної печі	47
3.1. Візуальні ознаки	48
3.2. Аналітичні ознаки	50
3.3. Приладові ознаки	51
3.3.1. Розташування та устрій датчиків КВП на доменній печі	53
3.3.2. Аналіз показників приладів	55
4. Керування ходом доменної печі	62
4.1. Керування способами впливу на хід доменної печі	63
4.2. Аналіз способів впливу на роботу доменної печі	65
4.3. Ведення доменної печі із застосуванням методів оптимізації	71
4.4. Вибір і оптимізація режимів роботи доменних печей	73
5. Розлади ходу доменних печей, їх попередження та усунення	75
5.1. Периферійний хід	75

5.2. Центральний хід	77
5.3. Канальний хід	78
5.4. Тугий хід печі	79
5.5. Холодний хід печі	80
5.6. Гарячий хід печі.....	81
5.7. Перекіс поверхні засипу.....	83
5.8. Підвисання шихти	83
5.9. Захарачення горна.....	85
5.10. Настилі	86
6. Особливості технології виплавки різних видів чавуну	87
7. Автоматизоване управління доменним процесом.....	92
7.1. Автоматизоване управління тепловим режимом доменної плавки	92
7.1.1. Методи і раціональні принципи побудови алгоритмів управління тепловим станом доменної печі	92
7.2. Автоматизоване управління газодинамічним режимом доменної плавки	95
7.2.1. Технологічні принципи автоматизованого управління ходом доменних печей	95
8. Пуск доменної печі після ремонтів II і III розрядів.....	96
8.1. Пуск печі після ремонту II розряду	96
8.2. Пуск печі після ремонту III розряду	98
9. Робота у доменної печі	99
9.1. Випуск чавуну і шлаку з доменної печі.....	99
9.2. Спостереження за пристроями, що охолоджують, і зміна їх.....	101

9.3. Зупинка доменної печі	103
10. Ремонт і видувка доменних печей	108

Додатки

Д.1. Технологічні розрахунки деяких показників доменної плавки	112
Д.1.1. Спрощений перевірочний розрахунок шихти	112
Д.1.2. Коректування шихти при зміні зольності й вологості коксу.....	116
Д.1.3. Визначення витрати дуття на фурмах доменної печі.....	118
Д.1.4. Розрахунок, коректування дуття, природного газу і коксу при зміні тиску газу під колошником	121
Д.1.5. Визначення кількості і складу горнового газу при зміні складу дуття	122
Д.1.6. Розрахунок зміни маси коксу у подачі при зміні температури і вологості дуття	124
Д.1.7. Визначення залізорудного складу подачі при зміні шихтових умов	127
Д.1.8. Перешихтовка на чавун іншої марки	128
Д.1.9. Розрахунок добової продуктивності доменної печі.....	131
Д.1.10. Розрахунок витрати коксу при зміні змісту заліза у залізорудній частині шихти	132
Д.1.11. Розрахунок кількості води в швах кладки доменної печі.....	135
Д.1.12. Розрахунок діаметру вставок у фурми при задуванні печі	137
Д.2. Технологічні неполадки доменної печі.....	139
Д.2.1. Приклад технологічної ситуації, її пояснення і вживання заходів	139
Д.2.2. Технологічні ситуації.....	140
Д.3. Розрахунок задувної шихти	152
Д.3.1. Призначення і особливості складання задувної шихти.....	152
Д.3.2. Методичні вказівки до виконання розрахунку задувної шихти	154

Д.4. Умовні позначення	166
Д.5. Атомні маси деяких елементів	167
Д.6. Види чавунів	169
Література	171

КОВШОВ В.М., ІВАЩЕНКО В.П., БОЧКА В.В., ПЕТРЕНКО В.О.

ТЕХНОЛОГІЯ ДОМЕННОЇ ПЛАВКИ

Підписано до друку 5.12.2014. Формат 60х84/16. Ум. друк. арк. 10,35.
Тираж 300 пр. Зам. № О_5404.

Видано та віддруковано в ТОВ «Акцент ПП»
вул. Ларіонова, 145, м. Дніпропетровськ, 49052
тел. (056) 794-61-04(05)

*Свідцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 4766 від 04.09.2014.*