

УДК 622.788.3:669.162.1

П.П. Коваль<sup>(1)</sup>, провідний інженер  
 Ю.В. Мосейко<sup>(2)</sup>, доцент, канд. пед. наук  
 Ю.В. Куріс<sup>(2)</sup>, професор, доктор техн. наук  
 О.С. Воденнікова<sup>(2)</sup>, доцент, канд. техн. наук  
 Р.І. Безпалов<sup>(2)</sup>, доцент, канд. техн. наук  
 І.В. Коваленко<sup>(2)</sup>, студент

## ДОСЛІДЖЕННЯ Й УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ПІДГОТОВКИ ВАПНА ДО АГЛОМЕРАЦІЇ

<sup>(1)</sup> ПАТ «Металургійний комбінат «Запоріжсталь», м. Запоріжжя

<sup>(2)</sup> Запорізька державна інженерна академія

Представлены результаты исследований и усовершенствования технологии подготовки известняк агломерации с использованием определенных соотношений классифицированных фракций известняка и твердого топлива для условий ОАО «Металлургический комбинат «Запорожсталь». Использование усовершенствованной технологии позволит улучшить технико-экономические показатели процесса обжига известняка.

Ключевые слова: классификация фракций, известь, твердое топливо, конвейерная машина, агломерация

Подано результати досліджень й удосконалення технології підготовки вапна до агломерації з використанням певного співвідношення класифікованих фракцій вапняку та твердого палива для умов ВАТ «Металургійний комбінат «Запоріжсталь». Використання удосконаленої технології дозволить поліпшити техніко-економічні показники процесу випалювання вапняку.

Ключові слова: класифікація фракцій, вапно, тверде паливо, конвеєрна машина, агломерація

The results of researches and improvement of technology for preparation of lime to agglomeration with the use of certain correlations for the classified fractions of limestone and hard fuel for the conditions of OAJ «Metallurgical combine «Zaporozhstal'» are presented. The use of the improvement technology will allow to improve the technique-economy factors for limestone burning process.

Keywords: classification of fractions, lime, hard fuel, conveyor machine, agglomeration

*Вступ.* Одним з найбільш ефективних шляхів інтенсифікації процесу агломерації залізорудної сировини є застосування випаленого вапна у складі агломераційної шихти [1].

*Аналіз досягнень і публікацій.* У роботі [2] досліджено вплив вапна на процес агломерації під час його уведення до складу залізорудної суміші. Встановлено підвищення грудкуватості та газопроникності агломераційної шихти, а також зростання вертикальної швидкості її спікання. При цьому зафіксовано значне збільшення кількості мікрооб'ємів офлюсованої агломераційної шихти, які проходять через рідку фазу, ніж для агломерату, що одержують з шихти без витримки вапна з концентратом.

Уведення вапна кількістю 3...4 % від маси залізорудної частини до складу шихти призводить до значного підвищення продуктивності агломераційних машин і поліпшення якості одержаного агломерату [3]. Встановлено, що під час уведення 50 кг випаленого вапна на одну тону агломерату досягають підвищення темпе-

ратури шихти під час її термічної обробки на 40...45 °С, що сприяє швидшому протіканню процесу її спікання.

Як показали результати досліджень, що виконано у роботах [4,5], інтенсифікуюча дія випаленого вапна на процес спікання агломераційної шихти пов'язана, передусім, зі зменшенням газодинамічного опору шару грудкуватої суміші через зниження вмісту в ній дрібних фракцій, а також зростанням міцності окремих грудочок. Це відбувається завдяки в'язучим властивостям вапна, гідратаційне твердіння якого здійснюється за схемою «розчинення - колоїдне станове вище - кристалізація» [6].

Зниження гідродинамічного опору агломераційної шихти призводить до зростання швидкості фільтрації газу в шарі, якого спікають, а отже, і збільшення питомої витрати повітря на процес спікання, внаслідок чого вертикальна швидкість зазначеного процесу та питома продуктивність агломераційної машини безперервно зростають.

Вплив випаленого вапна на вихід агломерату проявляється у підвищенні його міцності завдяки поліпшенню умов створення мінералів у

зоні підігрівання та створення розплаву, а також зниженню його в'язкості [7] та підвищенню температурного рівня спікання через зниження витрати теплоти на розкладання сполук кальцію.

Заміна вапняку в агломераційній шихті на еквівалентну кількість вапна впливає на всі складові, від яких залежить питома продуктивність агломераційної машини, зокрема, на насипну масу шихти, вертикальну швидкість її спікання та вихід з шихти придатного агломерату.

Вертикальна швидкість спікання шихти, що визначають як частку від ділення висоти шару на загальний час її спікання, є швидкістю руху фронту горіння твердого палива шихти, яка є прямо пропорційною до швидкості фільтрації газу в шарі, що спікають, та його теплоємності, а також зворотно пропорційною до уявної теплоємності агломераційної шихти та залежить від параметрів горіння твердого палива.

Збільшенню зазначеної швидкості спікання також сприяє зменшення уявної об'ємної теплоємності агломераційної шихти завдяки зниженню витрат теплоти на дегідратацію  $Ca(OH)_2$  у порівнянні з витратами теплоти на дисоціацію  $CaCO_3$ .

Така обставина дозволяє понизити вміст твердого палива в агломераційній шихті, що, в свою чергу, підвищує насипну масу шихти та збільшує продуктивність агломераційної машини. На збільшення швидкості вертикального спікання шихти під час використання вапна у складу суміші з твердим паливом також впливає каталітична дія вапна на процес горіння палива [8]. Активація палива вапном призводить до зменшення розмірів пакету вуглецевих атомів і дезорієнтації їх у зонах сушіння та підігрівання шихти. Окрім того, причиною прискорення процесу горіння твердого палива, якого оброблено вапном, може також служити створення пероксиду кальцію  $CaO_2$  з його гідроксиду  $[Ca(OH)_2]$ , розкладання якого супроводжується виділенням атомарного кисню.

Вплив подавання вапна до агломераційної шихти на вихід придатного агломерату проявляється через його міцнісні властивості, які залежать від витрати активного вапна на процес спікання. Збільшення вмісту активного вапна в агломераційній шихті спричинює екстремальний характер змінювання міцності агломерату, що пов'язано з неоднозначним сумарним результатом дії окремих чинників, які протилежно впливають на міцність агломерату [5]. В той же час із збільшенням вмісту активного вапна в агломераційній шихті зростає вертикальна швидкість її

спікання, а, отже, і швидкість охолодження агломерату. Останнє [9] супроводжується збільшенням кількості скловидних фаз і рівня внутрішніх напружень у структурі агломерату, які знижують його міцнісні характеристики. З такої причини після досягнення деякого збільшення міцності агломерату, під час подальшого зростання додавання активного вапна до агломераційної шихти, починається зниження значень зазначеного показника.

Величина оптимального вмісту активного вапна в агломераційній шихті залежить від ряду чинників, які можна поділити на три групи:

- склад і властивості шихти;
- показники технологічного режиму спікання;
- якість і спосіб подавання вапна до агломераційної шихти.

Серед чинників першої групи на вміст активного вапна найбільше впливає гранулометричний склад залізородної частини шихти, що обумовлено різною потенційною здатністю сипкого матеріалу певної фракції до поліпшення газопроникності його насипної маси у процесі створення грудочок й одночасного їх зміцнення. Така здатність є тим вищою, чим більше складає вміст дрібних фракцій в агломераційній шихті, а, отже, тим вищим є оптимальний вміст активного вапна.

Вплив основності агломераційної шихти на оптимальний вміст у ній активного вапна проявляється через кількість основного флюсу, яку необхідно вводити до складу шихти. Оскільки додавання флюсу до агломераційної шихти, як правило, інтенсифікує процес спікання, дія іншого інтенсифікатора, яким служить активне вапно, знижується. Як наслідок, оптимальне значення активного вапна в агломераційній шихті під час збільшення її основності зменшується. Слід зазначити про наявність аналогічного впливу на інтенсифікуючу дію вапна вмісту в шихті вертання залишків. Так, зменшення у шихті вертання залишків, що означає збільшення виходу придатного агломерату, сприяє підвищенню оптимального вмісту в агломераційній шихті активного вапна.

Під час аналізу впливу технологічних параметрів агломераційного виробництва на величину оптимального вмісту активного вапна в агломераційній шихті, видно, що вже само по собі змінювання витрати активного вапна, що подають до агломераційної шихти, спричинює необхідність коригування виробництва агломерату (вологість шихти, вміст палива, режим грудку-

вання) для досягнення максимальної продуктивності агломераційної машини.

Поліпшення якості вапна (підвищення його активності, зменшення фракційності) та вдосконалення способів уведення до шихти (грудкування з дрібнозернистою частиною шихти, накочення на задалегідь грудкувату шихту) сприяє збільшенню оптимального вмісту активного вапна. Ефективність використання вапна у такому разі зростає за рахунок залучення до корисної роботи значної кількості активного вапна, що міститься в агломераційній шихті.

На ВАТ «Металургійний комбінат «Запоріжсталь» випалене вапно для виробництва офлюсованого агломерату одержують з використанням конвеєрної машини типу КМ-14. При цьому вапняк і тверде паливо піддають послідовному перемішуванню у барабані змішувача та зволоженню до 2,0 %. Далі одержану суміш укладають у шар висотою 600 мм на колосникові візки та переміщують під запальним горном, де послідовно відбуваються процеси запалення твердого палива та наступного випалювання підготовленої суміші.

Недоліком такої технології слід зазначити низький ступінь випалювання вапняку (не більше 60...65 %), що пов'язано з нерівномірністю розподілу рівня температури за висотою шару суміші вапняку та твердого палива через нерівномірне розміщення твердого палива в об'ємі суміші та нерівномірне просмоктування повітря через переріз шару.

Завданням дослідження є вдосконалення технології підготовки вапна у складі суміші для агломерації шляхом усереднювання фракційного складу та визначення оптимального складу компонентів, як в об'ємі суміші, так і за висотою шару на колосникових візках.

Головна частина досліджень. Вирішення поставленого завдання здійснювали дозованим змішуванням класифікованих фракцій вапняку (-3 мм, +3 -10 мм, +10 мм) в співвідношенні (3...10), (75...90) і (5...20) % відповідно [8] з

класифікованими фракціями твердого палива (-3 мм, +3 -7 мм, +7 мм) у співвідношенні (5...15), (70...90) і (5...15) % відповідно [9].

На першому етапі досліджень вивчали вплив співвідношення трьох вищезгаданих фракцій вапняку, розглянутих у зазначеному діапазоні на показники процесу його випалювання; на другому етапі – досліджували вплив співвідношення трьох класифікованих фракцій твердого палива (-3 мм, +3 -7 мм, +7 мм), розглянутих у діапазоні (5...15) : (70...90) : (5...15) % відповідно у суміші з раціональними фракціями вапняку, виявленими на першому етапі досліджень.

Під час виконання першого етапу здійснювали дозування трьох фракцій вапняку (шляхом регулювання проміжку колосникових ґрат молоткостій дробарки, а також змінювання положень шибєрних затворів на бункерах стрічкового дозатора) в діапазоні змінювання (3 : 90 : 7), (3 : 85 : 12) і (5 : 80 : 15) % за масою відповідно. Після дозування вапняку зазначених фракцій здійснювали їх змішування з твердим паливом у шнековому змішувачі з наступним зволоженням шихти до 2,0 % і випаленням одержаної суміші за існуючою технологічною інструкцією.

Застосування класифікованих фракцій дозволяє формувати шар суміші вапняку та твердого палива з найбільш рівномірним розподілом фракцій за його перерізом. Такого розподілу для зазначеної суміші забезпечує краще розпушування матеріалу за обсягом колосникового візка, а також значний ступінь просмоктування повітря через шар шихти. Як наслідок, знижується розрідження у вакуум-камерах і підвищується ступінь використання теплової енергії твердого палива.

Під час визначення оптимального співвідношення класифікованих фракцій вапняку виконували зіставлення й аналіз базового періоду роботи випалювальної машини тривалістю дві доби та трьох експериментальних періодів аналогічної тривалості (табл. 1).

**Таблиця 1** – Результати попередніх досліджень роботи конвеєрної машини для базового та дослідних періодів

Показник	Базовий період	Дослідні періоди		
		I	II	III
Співвідношення фракцій вапняку -3 мм, +3 -10 мм, +10 мм відповідно у суміші, %	-	3 : 90 : 7	3 : 85 : 12	5 : 80 : 15
Витрата вапняку, т/доба	600	900	890	900
Витрата палива, т/доба	60	86	88	87
Висота шару, мм	600	650	650	650
Швидкість руху візків машини, м/хв.	0,59	0,43	0,44	0,43
Розрідження у вакуум-камерах, кПа	4,90	4,70	4,80	4,60
Ступінь випалювання вапняку, %	65,0	72,0	78,0	82,0
Виробництво вапна, т/доба	400	620	600	610

Як свідчать результати аналізу впливу розглянутих класифікованих фракцій вапняку в суміші з твердим паливом на показники процесу випалювання агломерату, найбільш раціональним періодом роботи конвеєрної машини служить режим III, що характеризується нижченаведеними показниками: розрідження у вакуум-камерах – 4,6 кПа, ступінь випалювання вапняку – 82 % і продуктивність випалювальної машини – 610 т/доба.

Удосконалену технологію випалювання вапняку піддавали випробуванню під час підготовки флюсу для спікання агломерату на конвеєрній машині КМ-14 агломераційного цеху ВАТ

«Металургійний комбінат «Запоріжсталь», при цьому тривалість базового періоду роботи машини та періоду промислових випробувань складала п'ятнадцять діб.

Дозовані фракції вапняку (відповідно 45, 720, 135 т/доба) змішували із заданою кількістю твердого палива (87 т/доба) у шнековому змішувачі. Одержану суміш уклали на колосниковий візок машини як шар висотою 650 мм і піддавали випалюванню. Під час випалювання значення розрідження у вакуум-камерах досягає 4,6 кПа, ступінь випалювання вапняку – 82 %, а виробництво вапна зростає до 620 т/доба (табл. 2).

**Таблиця 2** – Техніко-економічні показники роботи конвеєрної машини у базовий період і період промислових випробувань

Показник	Базовий період	Дослідні періоди
Співвідношення фракцій вапняку -3 мм, +3 -10 мм, +10 мм відповідно у суміші, %		5 : 80 : 15
Витрата вапняку (загальний), т/доба:	600	900
Витрата вапняку (за фракціями), т/доба	-	45 : 720 : 135
Витрата палива, т/доба	60	87
Висота шару суміші, мм	600	650
Швидкість руху візків машини, м/хв.	0,59	0,43
Розрідження у вакуум-камерах, кПа	4,90	4,60
Ступінь випалювання вапняку, %	66,0	82,0
Виробництво винищити, т/доба	410	620

Вплив співвідношення трьох класифікованих фракцій твердого палива (-3 мм, +3 -7 мм, +7 мм) у діапазоні змінювання (5...15) : (70...90) : (5...15) % відповідно на показники процесу випалювання з раціональним співвідношенням фракцій вапна (період III) вивчали на другому етапі досліджень. При цьому зіставляли базовий період роботи конвеєрної машини тривалістю

три доби та три експериментальні періоди аналогічної тривалості.

Дозування фракцій твердого палива виконували шляхом регулювання проміжку між нижніми валками чотирьохвалкової дробарки у діапазоні змінювання (5...15), (70...90) і (5...15) % відповідно.

Результати другого етапу досліджень подано у табл. 3.

**Таблиця 3** – Показники роботи випалювальної машини КМ-14 для базового та дослідних періодів

Показник	Базовий період	Дослідні періоди		
		I	II	III
Співвідношення фракцій вапняку -3 мм, +3 -7 мм, +7 мм відповідно у суміші, %	-	15 : 70 : 15	10 : 80 : 10	7 : 85 : 8
Витрата палива, т/доба	87	87	85	84
Витрата вапняку, т/доба	900	900	900	900
Висота шару, мм	650	650	650	650
Швидкість руху візків машини, м/хв.	0,43	0,43	0,43	0,43
Розрідження у вакуум-камерах, кПа	4,60	4,80	4,60	4,50
Ступінь випалювання вапняку, %	82,0	82,1	82,3	83,5
Виробництво вапна, т/доба	610	610	620	630

З результатів випробувань випливає, що найбільш раціональним є період із співвідношенням фракцій твердого палива (7 : 85 : 8) %,

коли досягають кращих результатів: розрідження у вакуум-камерах – 4,5 кПа, ступінь випалю-

вання вапняку – 83,5 % і продуктивність випалювальної машини – 630 т/доба.

Під час промислових випробувань три дозовані фракції вапняку (-3 мм; +3 -10 мм, +10 мм) у кількості 45, 720 і 135 т/доба змішували в шнековому змішувачі з трьома дозованими фракціями твердого палива (-3 мм; +3 -7 мм; +7 мм) у кількості 6, 71 і 7 т/доба. Одержану суміш

уклали як шар висотою 650 мм на конвеєрну машину КМ-14 і здійснювали випалювання вапняку за прийнятою технологією.

Результати зіставлення техніко-економічних показників існуючої технології випалювання вапняку (базовий період) тривалістю 10 діб і вдосконаленого її варіанту аналогічної тривалості подано у табл. 4.

**Таблиця 4** – Техніко-економічні показники роботи конвеєрної машини для базового періоду та періоду промислових випробувань

Показник	Базовий період	Період промислових випробувань
Співвідношення фракцій:		
- твердого палива -3 мм, +3 -7 мм, ++7 мм;	-	7 : 85 : 8
- вапняку -3 мм, +3 -10 мм, +10 мм відповідно у суміші, %	5 : 80 : 15	5 : 80 : 15
Витрата вапняку (загальний), т/доба:	900	900
Витрата вапняку (за фракціями), т/доба	45 : 720 : 135	45 : 720 : 135
Витрата палива (загальний), т/доба	87	84
Витрата палива (за фракціями), т/доба	-	6 : 71 : 7
Висота шару суміші, мм	650	650
Швидкість руху візків машини, м/хв.	0,43	0,43
Розрідження у вакуум-камерах, кПа	4,60	4,50
Ступінь випалення вапняку, %	82,0	83,0
Виробництво вапна, т/доба	610	630

Під час промислових випробувань досягнуто нижченаведені показники: ступінь випалювання вапняку – 83,0 %, продуктивність конвеєрної машини КМ-14 – 630 т/доба із значенням розрідження у вакуум-камерах, що складає 4,5 кПа, тобто вдосконалена технологія підготовки вапняку до випалювання дозволяє поліпшити роботу випалювальної машини типу КМ-14.

#### Висновки.

1. Вдосконалено технологію підготовки випаленого вапна для агломерації з використанням класифікованих дозованих фракцій вапняку та

твердого палива для умов ВАТ «Металургійний комбінат «Запоріжсталь».

2. Реалізація такої технології дозволяє забезпечити оптимальний розподіл температури за об'ємом шару випалюваного вапняку. При цьому досягають збільшення (від 600 до 650 мм) висоти шару, зниження (від 4,9 до 4,5 кПа) розрідження у вакуум-камерах, підвищення (від 66,0 до 83,0 %) ступеню випалювання вапняку, а також збільшення (від 410 до 630 т/доба) продуктивності випалювальної машини.

#### Бібліографічний список

1. **Розенгарт, Ю. И.** Об оптимальном содержании извести в аглошихте [Текст] / Ю. И. Розенгарт, О. Г. Федоров, С. Г. Савельев // *Металлургия и коксохимия* : научн.-техн. сборник. – Киев : Техніка, 1984. – Вып. 84. – С. 11-16. – Библиогр.: с. 15-16 (Металлургия чугуна).
2. **Острик, П. Н.** Физико-химические свойства офлюсованного агломерата [Текст] / П. Н. Острик, Д. Л. Киссин, В. Г. Чуб и др. // *Металлургия и коксохимия* : научн.-техн. сборник. – Киев : Техніка, 1965. – Вып. 1. – 4-12. – Библиогр.: с. 12 (Металлургия чугуна).
3. **Бернштейн Р. С.** Повышение эффективности агломерации [Текст] / Р. С. Бернштейн. – М. : *Металлургия*, 1979. – 144 с. – Библиогр.: с. 142-143. – 2500 экз.
4. **Каменов Р. Д.** Об оптимальном содержании активной СаО в извести [Текст] / Р. Д. Каменов, С. Г. Савельев, Н. М. Панчешный // *Проблемы производства и использования извести в черной металлургии*. – Днепропетровск : Промінь, 1979. – С. 59-60. – Библиогр.: с. 60.
5. **Савельев, С. Г.** Применение в агломерационной шихте извести разной степени обжига [Текст] / С. Г. Савельев, Р. Д. Каменов, О. Г. Федоров, Н. М. Панчешный / *Известия вузов. Черная металлургия*. – 1980. – № 3. – С. 24-26. – Библиогр.: с. 26.
6. **Менковский, М. А.** Связующие вещества в процессе окускования горных пород [Текст] / М. А. Менковский. – М. : *Недра*, 1977. – 183 с. – Библиогр.: 181-182. – 2150 экз.

7. **Парфенов, А. М.** Основы агломерации железных руд [Текст] / А. М. Парфенов. – 2-е испр. и доп. – М. : Metallurgiya, 1961. – 320 с. – Библиография в конце каждого раздела. – 2750 экз.
8. **Борисов, В. М.** К вопросу о влиянии извести на горение агломерационного топлива [Текст] / В. М. Борисов, С. В. Вандарьев, Л. С. Агафонникова, А. С. Близнюков // Проблемы производства и использования извести в черной металлургии. – Днепропетровск : Промінь, 1979. – С. 71-72. – Библиогр.: с. 72.
9. **Вегман, Е. Ф.** Теория и технология агломерации [Текст] / Г. Ф. Вегман. – М. : Metallurgiya, 1974. – 286 с. – Библиогр.: с. 274-283. – 3000 экз.
10. **Пат. 56767 Україна, МПК С22 В1/20.** Спосіб підготування флюсу для агломерації [Текст] / П. П. Коваль, В. Д. Ашихмин, М. В. Крутас; заявник і патентоволодарь ВАТ «Запоріжсталь». – № 2002097195; заявл. 04.09.2002; опубл. 15.05.2003.
11. **Пат. 70513 Україна, МПК С22 В1/20.** Спосіб підготування флюсу для агломерації [Текст] / П. П. Коваль, В. І. Набока, В. М. Булава, Г. А. Громак; заявник і патентоволодарь ВАТ «Запоріжсталь». – № 20031110500; заявл. 21.11.2003; опубл. 15.10.2004.

Стаття надійшла до редакції 07.09.2016 р.  
Рецензент, проф. Г.О. Колобов

Текст даної статті знаходиться на сайті ЗДІА в розділі Наука  
<http://www.zgia.zp.ua>