

РОЗДІЛ «МЕТАЛУРГІЯ. ЗВАРЮВАННЯ»

УДК 669.162

КРЯЧКО Г.Ю., к.т.н., доцент
БЕЛЯЕВ Ю.В., інженер
ЛЕБЕДЬ Ю.К.*, інженер
САФИНА-ВАЛУЕВА Л.А., к.т.н., доцент

Днепродзержинский государственный технический университет
* ПАО «Днепровский металлургический комбинат им. Ф.Э.Дзержинского»

ВЛИЯНИЕ ШЛАКОВОГО И ДУТЬЕВОГО РЕЖИМОВ РАБОТЫ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ НА ТЕМПЕРАТУРУ ВЫПУСКАЕМОГО ЧУГУНА

Введение. Известно положительное влияние перегрева чугуна на показатели сталеплавильного производства [1, с.107]. Технология и показатели конвертерной плавки зависят от температуры чугуна, определяемой, прежде всего, ходом доменного процесса. При прочих равных условиях концентрация углерода в чугуне, заливаемого в конвертер, отвечает состоянию насыщения и возрастает с повышением его температуры. Последняя увеличивает поступление теплоты на конвертерную плавку по двум линиям: за счет последующего окисления углерода растет ее физический и химический потенциал.

Кроме того, в самом доменном производстве повышение температуры выпускаемого из печи металла приводит к уменьшению его потерь, а также способствует увеличению продолжительности эксплуатации ковшевого парка, препятствуя зарастанию горловин ковшей настылями.

На температуру выпускаемого из доменной печи металла влияет ряд шихтовых и технологических факторов, среди которых наиболее весомым по данным работ [2, 3] является качество загружаемого в печь кокса. В качестве значимых рассматриваются и другие факторы, в частности один из параметров дутьевого режима – расход природного газа [3]. Отмечается, что факторами повышения нагрева чугуна при увеличении расхода природного газа являются уменьшение окисленности металла у фурм и уменьшение доли монооксида железа в первичных шлаках за счет сокращения прямого восстановления.

Фактором, безусловно влияющим на температуру чугуна в горне, является шлаковый режим плавки. В.В.Михайлов [4] не без основания считал, что температура перехода первичного, образованного в зоне распара и заплечиков, шлака во вполне подвижное состояние является главным фактором, регулирующим температуру в горне. Чем эта температура будет выше, тем выше будет температура горна, а, следовательно, вытекающих из него шлака и чугуна.

В качестве аргументов в пользу своего утверждения автор [4] использовал результаты выплавки доменных сплавов при легко- и тугоплавких первичных шлаках. В частности, опираясь на результаты исследований уральских и украинских металлургов, В.В.Михайлов отмечал, что при переходе на офлюсованные агломераты (основностью 0,7-1,5) и при сохранении прежних условий процесса, температура горна повышалась.

Мнение [4] разделяли и другие исследователи [5, 6], полагая, что тугоплавкие шлаки «греют» горн, легкоплавкие – «охлаждают». В то же время в монографии [5] и учебнике [6] аргументы в пользу указанного мнения отсутствуют.

В недавних работах [2, 7] получены данные о зависимости температуры чугуна от основности шлака – косвенного показателя его физических свойств. К сожалению, авторы [2] не произвели статистическое оценивание достоверности связи, ограничившись замечанием о том, что увеличение основности CaO/SiO_2 на 0,1 сопровождалось

повышением температуры чугуна на 26°C. Возможно статистическому оцениванию воспрепятствовал недостаточный объем выборки – 24 единичных суточных периода. Следует учитывать и то, что основность шлака в определенной мере может быть функцией нагрева печи в целом вследствие изменения условий восстановления кремния [8].

Более представительная выборка (2433 данных выпусков), произведенная на ДП № 5 ОАО «ММК им. Ильича» [7], также позволила установить зависимость температуры чугуна от соотношения $(CaO+MgO)/SiO_2$ - с увеличением основности нагрев возрастал. Необходимо заметить, что характер зависимостей нагрева чугуна от основности шлака, полученных в работах [2, 7] отличался. В исследовании [2] с повышением основности шлака влияние его физических свойств на температуру чугуна ослаблялось, в то время как в работе [7] усиливалось.

Постановка задачи и методика исследования. Задачей настоящего исследования являлась оценка влияния шлакового и дутьевого режимов работы доменной печи на температуру выпускаемого чугуна применительно к современным условиям плавки. Необходимость проведения исследования обусловлена с одной стороны противоречивостью мнений о влиянии отдельных факторов на физический нагрев горна, с другой стороны - отсутствием данных, подтверждающих определяющее влияние свойств шлака на нагрев горна при работе печей на современных шихте и дутьевых параметрах.

Настоящее исследование выполнено по материалам работы доменной печи № 9 ПАО «Днепропетровский металлургический комбинат им. Ф.Э.Дзержинского (ДМКД)» объемом 1386 м³. ДП № 9 отличается от типового проекта углубленным горном (3400 против 3200 мм) и мертвым слоем (1100 против 450), а также количеством воздушных фурм – 18 против 16. Печь оснащена двумя чугунными летками и типовым двухконусным засыпным аппаратом. Температуру чугуна измеряли термопарой погружения ТПР 0290М с пределами измерений 800-1800°C с использованием вторичного прибора «Digitemp». Допускаемое запаздывание информации 10с, технологический допуск – ± 20°C. Взаимосвязь параметров изучали с помощью программных средств «STATISTICA».

Результаты работы. Массив выборки за период с 01.01. по 31.07.2008 составил 213 единичных суточных периода. В анализируемый период доменная печь работала в основном на местном и алчевском коксе. Доля агломерата в шихте составила 85%, окатышей – 15%. Показатели работы приведены в табл.1.

Таблица 1 – Показатели работы доменной печи № 9 ПАО «ДМКД» в анализируемый период

Показатель	Период 01.01.08 – 31.07.08
1	2
Производство, т/сутки	2888
Расход топлива, кг(м ³)/т чугуна:	
кокса	488
антрацита	14
природного газа	69
Дутье:	
расход, нм ³ /мин	2754
избыточное давление, кПа	255
температура, °С	1104
концентрация кислорода, %	24,6
Состав чугуна, %	
Si	0,75
Mn	0,25
S	0,021

Продолжение таблицы 1

1	2
Температура чугуна, °С	1489
Шлак:	
шлак, кг/т чугуна	
CaO/SiO ₂	1,23
(CaO+MgO)/SiO ₂	1,37
содержание, %:	
MgO	5,53
Al ₂ O ₃	5,95
MnO	0,20
Na ₂ O	0,51
K ₂ O	0,44
FeO	0,37
L _s	73
Избыточное давление колошникового газа, кПа	120

При проверке массива данных на нормальность распределения (рис.1) было установлено, что максимальной частоте выпусков с нагревом чугуна 1490-1500°С (37,6 % от числа наблюдений, рис.1, а) соответствовала работа печи с основностью CaO/SiO₂ 1,21-1,23 (36,6% от количества наблюдений, рис.1, б) и (CaO+MgO)/SiO₂ 1,34-1,38 (50,2% от числа наблюдений, рис.1, в). В 43,7% единичных суточных периодов содержание кремния составило 0,7-0,8%.

Некоторые характеристики исследуемого массива данных (табл.2) свидетельствуют о низкой вариативности температуры чугуна на выпуске (0,8%) и высокой – содержания кремния в металле (12,0%). Связь между указанными показателями нагрева печи оценивается коэффициентом корреляции 0,45.

Таблица 2 – Статистические характеристики массива выборки данных о работе доменной печи № 9 ПАО «ДМКД» в анализируемый период

Показатель	Значения			Среднеквадратичное отклонение	Коэффициент вариации, %
	среднее	max	min		
Основность шлака					
CaO/SiO ₂	1,23	1,29	1,17	0,022	1,8
(CaO+MgO)/SiO ₂	1,37	1,46	1,31	0,028	2,0
Температура чугуна, °С	1489	1517	1444	12,5	0,8
Содержание кремния в чугуне, %	0,75	0,98	0,48	0,09	12,0

Существование надежной связи между модулями основности и температурой выпускаемого чугуна (рис.2, а, б) подтверждает устоявшееся мнение о роли первичных и промежуточных шлаков в качестве теплоносителя и конденсатора тепла в доменном процессе. Как и в ранее приведенной работе [2], количественное влияние свойств шлака на нагрев чугуна оказалось близким по величине воздействия. При увеличении модулей основности на 0,1 температура возрастала на 23-24°С.

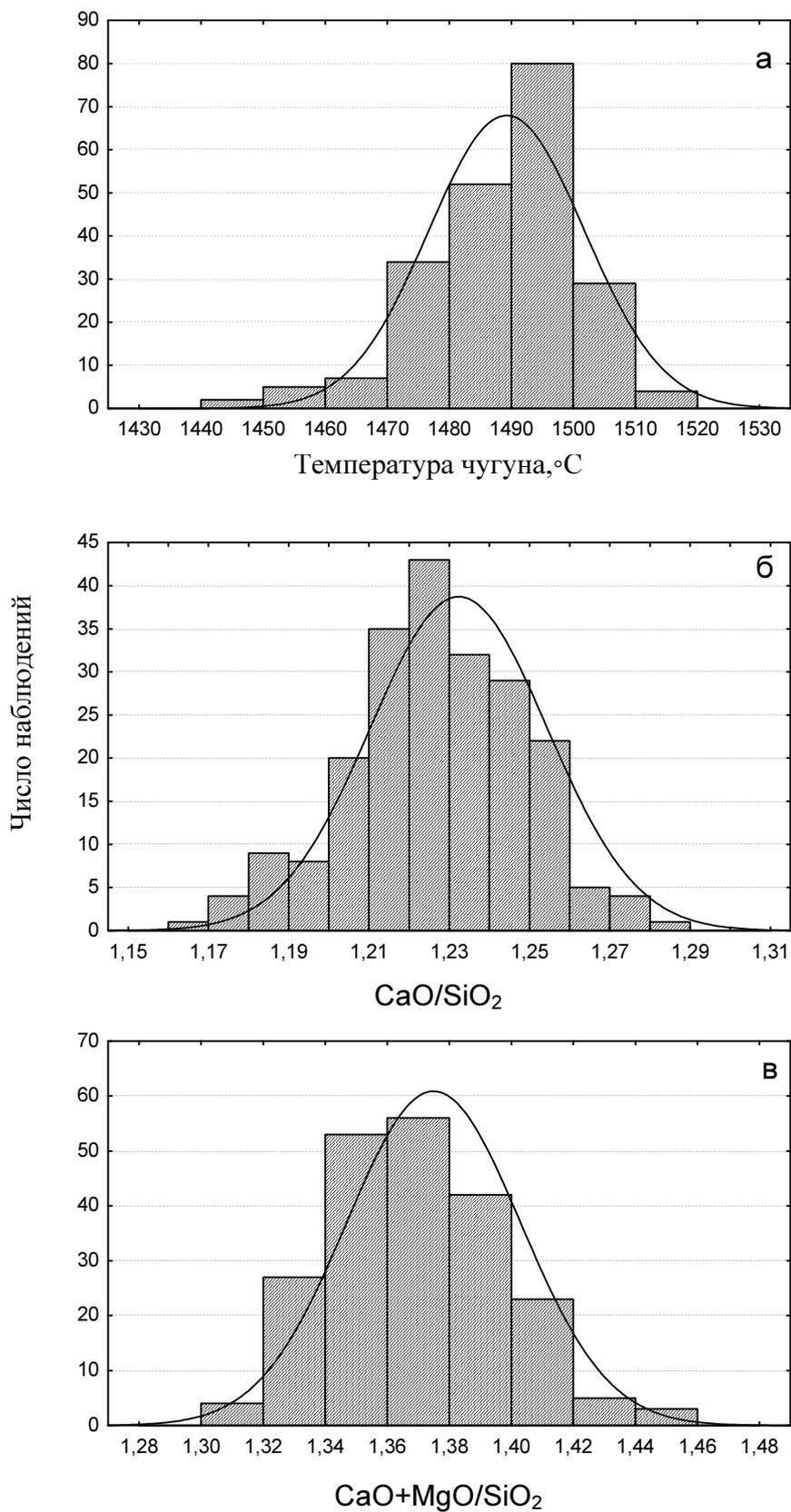


Рисунок 1 – Гистограммы температуры чугуна (а) и основности шлака (б, в) в исследуемый период

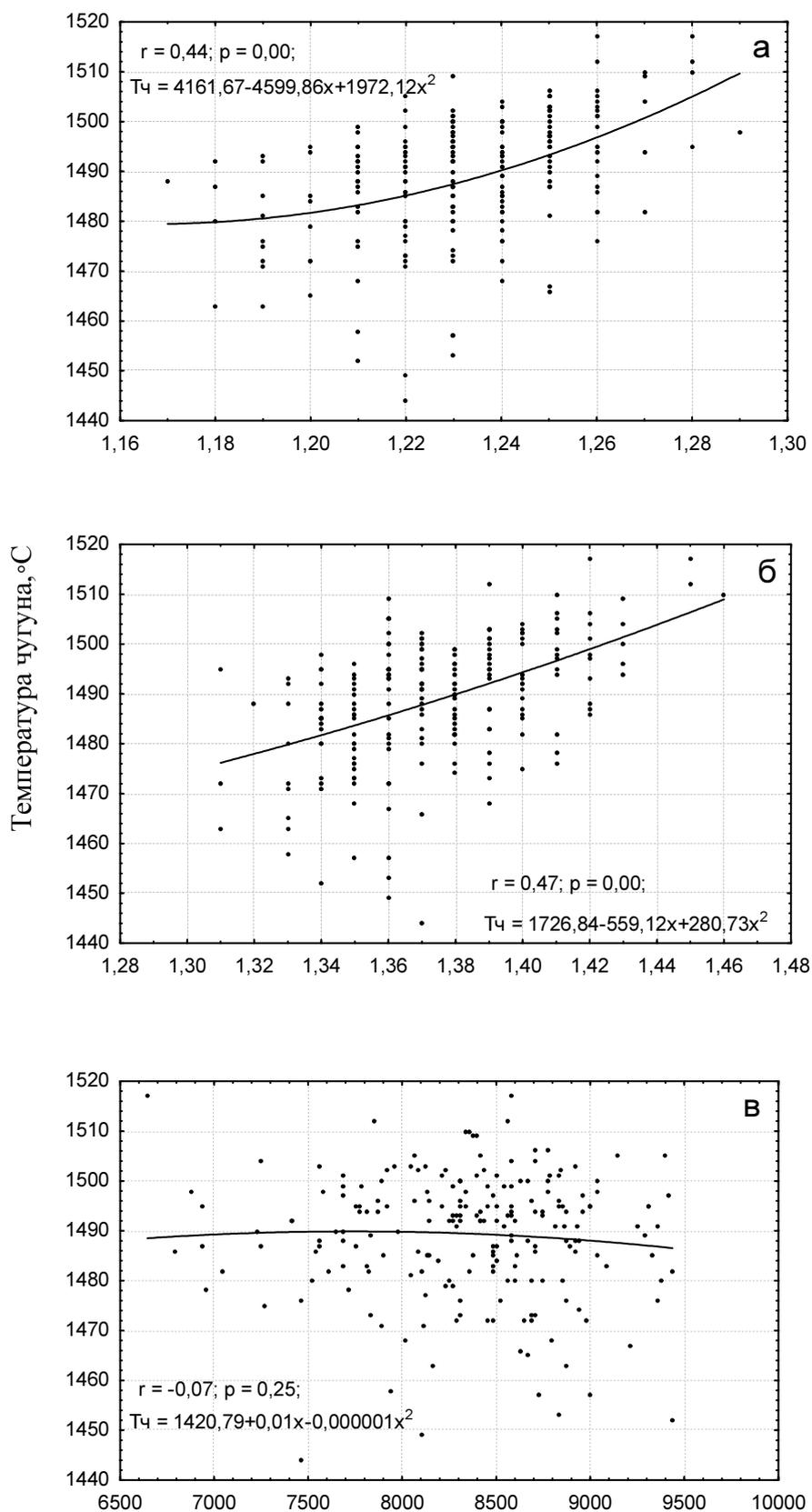


Рисунок 2 – Зависимость температуры чугуна от основности шлака (а, б) и расхода природного газа (в) в исследуемый период

В то же время значимой связи между расходом природного газа и физическим нагревом металла не обнаружено (рис.2, в). Использование в качестве характеристики дутьевого режима отношения расхода природного газа ($Q_{\text{пр}}$, м³/мин) к приходу кислорода в печь с дутьем и кислорода обогащения ($Q_{\text{к}}$, м³/мин) показало, что в пределах изменения этого показателя 0,17-0,23 коэффициент корреляции между переменными $Q_{\text{пр}} / Q_{\text{к}}$ и температурой чугуна составил 0,13.

Таким образом, можно утверждать, что «греющее» влияние природного газа, замедляющее окислительные процессы на фурмах, не замечено, более того, судя по отрицательному знаку коэффициентов корреляции зависимостей $t_{\text{ч}} = f Q_{\text{пр}}$ и $t_{\text{ч}} = f Q_{\text{пр}} / Q_{\text{к}}$, наблюдается небольшой «охлаждающий» эффект.

Что касается охлаждения горна в результате активизации прямого эндотермического восстановления элементов, окисленных на фурмах, то следует обратить внимание на результаты работы [9]. Авторы указанного исследования путем вертикального зондирования доменной печи установили обратную зависимость между нагревом горна и температурой в шахте. Активизация процесса окисления на фурмах сопровождается уносом тепла в шахту и последующим возвратом тепла в низ печи в виде более подготовленных материалов – полупродуктов плавки.

Поэтому при форсированном ходе печи температура чугуна выше, несмотря на больший приход окислителя с дутьем и более интенсивное окисление на фурмах. Следует принять во внимание и тот факт, что коксовая насадка в таком случае лучше прогревается газами, несущими тепло окисления элементов на фурмах. Это, в свою очередь, способствует прогреву продуктов плавки, дренирующихся через насадку.

Выводы. Получены данные, подтверждающие существование надежной связи между модулями основности и температурой выпускаемого из доменной печи чугуна. С увеличением основности повышаются тугоплавкость шлака и температура металла на выпуске. «Греющее» влияние дополнительного природного газа, вдуваемого в горн, замедляющее окислительные процессы на фурмах, не замечено, что объясняется спецификой воздействия природного газа на распределение температур по высоте печи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бойченко Б.М. Конвертерное производство стали: теория, технология, качество стали, конструкции агрегатов, рециркуляция материалов и экология: учебник / Бойченко Б.М., Охотский В.Б., Харлашин П.С. – Днепропетровск: РВА «Днепр-ВАЛ», 2006. – 454 с.
2. О влиянии качества кокса на показатели работы доменной печи / Цимбал Г.Л., Чичев И.В., Алексеева С.В., Карпенко Н.Л. // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2006. – № 4. – С.31-36.
3. Влияние шихтовых и технологических факторов на температуру выпускаемого из доменной печи чугуна / Лялюк В.П., Дмитренко К.А., Товаровский И.Г. [и др.] // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2010. – № 1. – С.23-26.
4. Михайлов В.В. О регулировании температуры горна шахтных печей физико-химическими свойствами шлака / В.В.Михайлов // Форсирование доменной плавки: труды научной конференции по теоретическим вопросам металлургии чугуна. – Днепропетровск, май 1961 г. – М.: Metallurgizdat, 1963. – С.179-182.
5. Готлиб А.Д. Доменный процесс / А.Д.Готлиб. – М.: Металлургия, 1966. – 503 с.
6. Ефименко Г.Г. Металлургия чугуна / Ефименко Г.Г., Гиммельфарб А.А., Левченко В.Е. – К.: Высшая школа. Головное издательство, 1988. – 351 с.
7. Выплавка низкосернистого передельного чугуна при работе доменной печи на сернистом коксе / В.В. Климанчук, В.А.Струтинский, Н.В.Косолап [и др.] // *Металл и литье Украины*. – 2007. – № 4. – С.3-8.

8. Крячко Г.Ю. Пространственная неравномерность восстановления кремния и развитие критических явлений в горне доменной печи / Г.Ю.Крячко // Известия вузов. Черная металлургия. – 2005. – № 5. – С.16-19.
9. Исследование взаимосвязи между температурой в шахте доменной печи и параметрами процесса / Б.П.Довгалюк, А.И.Парфенов, Н.М.Ярошенко [и др.] // Сталь. – 1975. – № 12. – С.1073–1075.

Поступила в редколлегию 19.12.2011.

УДК 669.162

РУДЕНКО М.Р., к.т.н., доцент
МУСІЄНКО К.А., к.т.н., доцент
РУДЕНКО Р.М., студент
КУНДІРЕНКО Г.В., студент

Дніпродзержинський державний технічний університет

ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ПІДГОТОВКИ ФЛЮСІВ В УМОВАХ АГЛОМЕРАЦІЙНОГО ЦЕХУ ПАТ «ДНІПРОВСЬКИЙ МЕТКОМБІНАТ»

Вступ. Стан агломераційного виробництва ПАТ «Дніпровський меткомбінат» характеризується інтенсивним залученням у металургійну переробку тонкозернистих матеріалів – концентратів і залізовмісних відходів металургійних виробництв – з явною тенденцією безперервного підвищення їхньої частки в аглошихті. Зменшення крупності шихти з уведенням зазначених матеріалів супроводжується погіршенням її газопроникності й зниженням продуктивності агломашин. Додавка кожних 10 % концентрату в шихту за даними [1] знижує продуктивність агломераційних машин на 2,6-3,3 %. Вапно – продукт випалення вапняку – широко застосовується при різних способах згрудкування залізородної сировини як інтенсифікатор процесу спікання на багатьох аглофабриках СНД.

На витрату твердого палива в агломераційному процесі великий вплив має якість підготовки компонентів шихти (дроблення, здрібнювання, усереднення), а також її змішування й згрудкування. Підвищення сталості хімічного складу шихтових матеріалів забезпечує стабілізацію процесу спікання й зниження витрати палива. У зв'язку з тенденцією, що намітилася у світовій практиці агломераційного виробництва, питання підвищення частки тонкодисперсних концентратів у шихті, підготовки флюсу набувають великого значення. Встановлено, що зменшення верхньої межі крупності флюсів до 0,003 м забезпечує повнішу взаємодію флюсу із залізородною частиною шихти.

Постановка задачі. Метою роботи є дослідження технології здрібнювання сирих флюсів в молоткових дробарках роторного типу, визначення ситового складу вапняку на різних етапах підготовки, ефективності роботи поверхонь, що просівають.

Методика досліджень. У бункери молоткових дробарок агломераційного цеху надходить вапняк крупністю $0 \div 0,080$ м. Стадію дроблення здійснюють у п'яти молоткових дробарках типу ДМРІЕ 14,5×1,3–1000. Продукт дроблення розсіюється на три фракції. Фракція $0 \div 0,004$ м надходить у бункери шихтового відділення. Фракція $0,004 \div 0,012$ м надходить у відділення випалу вапняку і $> 0,0012$ м повертається на повторне дроблення. При зупинці випалювальних машин фракція $0,004 \div 0,012$ м надходить на повторне дроблення. Після дроблення вапняк розсіюється на вібраційних грохотах типу ГТТ-42 з поверхнею, що просіває, типу плетене решето, закріплене в коробі.