

## **ИЗВЕСТКОВООБЖИГОВАЯ ПЕЧЬ КИПЯЩЕГО СЛОЯ**

В.А.Волохов, Е.С. Дмитриев, А.В.Волохов, К.М. Матулевский, В.И.  
Сагалевиц  
МЧ НПП "КАЛЬЦИТ", ДОННИИЧЕРМЕТ, ПК ООО "ВИДИЗ"

Производство флюсов является одной из наиболее масштабных и острых проблем черной металлургии, в особенности при производстве особо чистых сталей. Одновременно существует проблема рационального использования минералов, важнейшими из которых металлургические или флюсовые известняки. Несмотря на распространённость известняков в природе, запасы флюсовых известняков ограничены. По оценкам экспертов [1,2] мировые запасы химически чистых известняков составляют 2% от общего количества их ресурсов, соответственно, флюсовых известняков ещё меньше и они в значительной мере уже исчерпаны. Одновременно флюсовые известняки фракции 0 – 20мм накоплены в отвалах сотнями миллионов тонн и продолжают накапливаться (30-50% и более от добываемой горной массы) при текущей добыче и сортировке, адаптированной к архаичным способам обжига, осуществимым при условии потребления известняка крупнее 20, а то и 40, и 80мм. Ещё большим парадоксом является то, что полученную известь перед использованием либо измельчают, либо её применение в измельчённом или порошкообразном виде много эффективнее, но условия действующих производств не позволяют этого сделать, т.к. рассчитаны на крупную известь. При этом сам процесс дробления и, в особенности, помола извести в достаточной мере проблематичен и энергозатратен. Замкнутый круг.

В 50-х г.г. в США и в начале 60-х г.г. прошлого века в СССР началось интенсивное развитие метода псевдооживления или кипящего слоя (КС). Для обжига известняка фирмой Дорр-Оливер были построены печи КС производительностью вначале 100, а затем 1500т/сут. В СССР на Макеевском металлургическом (ММЗ) заводе была построена печь производительностью 300т/сут (КС-300). Затем на Руставском металлургическом заводе (РМЗ), Магнитогорском (ММК) и Карагандинском (КарМК) металлургических комбинатах были построены печи КС-150, КС-1000 и КС-1200. Две первые были ликвидированы вместе с экологически опасными аглофабриками, в технологический поток которых были включены, третья – находится в состоянии консервации из-за снижения потребления извести на КарМК., четвёртая, отчасти - по той же причине, отчасти - из-за отсутствия необходимого сырья, в основном – по причине технической неадаптивности была переделана на шахтную газовую печь со снижением в 6-7 раз производительности. Новым шагом в

развитии направления КС явилось создание печи КС-55 Таганрогского металлургического завода (ОАО "Тагмет").

Существует, по меньшей мере, 7 позиций, существенных для выбора технологии и аппарата для производства сталеплавильной извести:

1. Комплексное использование флюсового известняка;
2. Обеспечение совокупности показателей качества извести, включая ненормативные, обеспечивающих её эффективное применение в качестве основной компоненты ТШС;
3. Рациональное использование основных (топливо, электроэнергия) и вспомогательных (пар, сжатый воздух и др.) энергоносителей;
4. Экологическая и технологическая безопасность;
5. Возможности эффективной автоматизации и компьютеризации процесса, совместимость со смежными технологическими процессами;
6. Ремонтоспособность и ремонтпригодность основного и вспомогательного оборудования;
7. Возможность оптимизации и интенсификации процесса в соответствии с требованиями потребителей, адаптации к переменным параметрам исходного сырья и топлива.

В составе сталеплавильных комплексов наиболее целесообразно сооружение печей КС, а в ближайшем будущем они станут почти единственной возможностью производства известково-магнезиальных флюсов, поскольку:

1. КС является единственным промышленным агрегатом, эффективно перерабатывающим на известь известняк класса 3 - 12 или 3 - 20мм, т. е. имеющим практически неисчерпаемый источник сырья - известняк фракции 0 – 20мм, накопленный в отвалах сотнями миллионов тонн, например, в Комсомольском рудоуправлении их накоплено свыше 50 миллионов тонн на площади 150 га земельных угодий. Это сырьё пригодно для обжига на известь после удаления фракции 0 – 3мм, в которой в основном сосредоточены примеси (фракция 0 – 3мм может быть удалена и при обжиге в КС, но за счёт примесей ухудшится качество пылевидной извести, образующейся при обжиге и выделяемой в системе газоочистки).

В крупных частицах (фракция 3-12мм) примеси сосредоточены на их поверхности (дробление кусков известняка происходит в местах дефектов структуры, обогащённых примесями, поэтому, чем мельче дробление, тем больше обнажается примесей на поверхности частиц) и, не удаляемые при других способах обжига, в КС удаляются при истирании поверхности частиц с последующим уносом обогащённой примесями пыли с дымовыми газами. Таким образом, несколько повышенное истирание частиц извести, по сути, - единственный недостаток КС, - несомненное достоинство в плане повышения химической чистоты кусковой извести при использовании известняков с повышенным содержанием серы (S),

диоксида кремния ( $\text{SiO}_2$ ) и др., в том числе некондиционных по этому признаку.

2. При обжиге в КС, наряду с отмеченным выше обогащением полезных окислов кальция и магния, известь приобретает особые свойства, качественно превосходя все промышленно вырабатываемые виды извести, ввиду того, что процесс обжига ведут при температуре  $920 - 940^\circ\text{C}$ , наиболее близкой к теоретической температуре диссоциации известняка, что не допускает пережога извести с соответствующим интенсивным ростом кристаллов и снижением её активности – одним из наиболее негативных, сопутствующих обжигу, явлений. Кроме того, в КС обеспечивается равномерный подвод теплоты ко всем обжигаемым частицам, следовательно их равномерный обжиг. Известно [1], что известь имеет кристаллическое строение: чистая  $\text{CaO}$  кристаллизуется в кубической системе с параметром решетки  $4,797\text{Å}$ . В зависимости от температуры и длительности обжига различают известь твердообожженную, среднеобожженную и мягкообожженную. Мягкообожжённая высокоактивная известь КС имеет следующие отличия (по сравнению с твердообожженной) [4]:

а) меньший размер зерна ( $1...3$  против  $20...50$  мкм и срастания кристаллов);

б) меньший эффективный радиус пор ( $2640$  против  $29000\text{Å}$ ) при более высокой общей пористости ( $52,25$  против  $23,3\%$ );

в) меньшую удельную плотность ( $1250$  против  $25708 \text{ кг/м}^3$  и более);

г) меньшую длительность гашения водой ( $0,5...3,0$  против  $10,0...30,0$  и более мин.);

д) меньшую твердость ( $2...3$  против  $3...4$  по шкале Мооса).

е) больший суммарный объём пор ( $0,3127 \cdot 10^{-3}$  против  $0,1582 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{кг}$ )

ж) большую суммарную поверхность пор ( $853,81$  против  $60,57 \text{ м}^2/\text{кг}$ );

3. Расход топлива на производство извести в КС находится на уровне  $135 - 145$  кг. усл. топлива/ т. извести, что соответствует мировому уровню. Дополнительные энергоносители в основном процессе не используются, за исключением сжатого воздуха, необходимого для регенерации рукавных фильтров газоочистных устройств, являющихся, впрочем, самостоятельным элементом по отношению к собственно рассматриваемой технологии. Расход электроэнергии составляет не более  $50 \text{ кВт-ч/т}$ , что на уровне других производителей извести. Её расход определяется в основном значительным разбавлением дымовых газов по температурным условиям эксплуатации применяемых серийных фильтровальных тканей, например от  $350-400$  до  $130^\circ\text{C}$ , и, связанным с этим использованием мощных дымососов. При использовании электрофильтров используются менее мощные дымососы.

4. Низкотемпературный (930 – 950<sup>0</sup>С), с коэффициентом избытка воздуха ( $\alpha$ ) не более 1,05, обжиг извести в КС характеризуется полным отсутствием окислов азота ( $\text{NO}_x$ ), а интенсивное перемешивание частиц извести, газа и воздуха в КС исключает образование угарного газа ( $\text{CO}$ ). Сера, содержащаяся в исходном известняке и не удалённая в результате истирания поверхности частиц с пылью, после диссоциации содержащего её пирита и перехода в газовую фазу, совместно с серой от сжигания газа адсорбируется пылевидной известью в результате совместного прохождения последней и дымовых газов, так, что последние также не содержат окислов серы ( $\text{SO}_x$ ). Отметим, что мягкообожжённая известь также является адсорбентом и для ( $\text{NO}_x$ ). Требуемый уровень ПДК по уносу пылевидной извести не представляет экологической опасности, так как обеспечивается, как указывалось в п.3, например, стандартными тканевыми фильтрами. Других экологических или иных опасностей производство извести в КС не представляет.

4. КС имеет возможность разделения всего теплового процесса на несколько независимых стадий термообработки (практически достаточно не более шести [6]: три стадии подогрева известняка, одна – его обжига и две – охлаждения готовой извести), например, организацией в печи зон, разделённых газораспределительными решётками; каждая зона автономно контролируется и управляется по температурному и газодинамическому режиму. При этом КС характеризуется коэффициентами тепло - и массообмена, на порядок превышающими аналогичные в других печах, что выражается в выравнивании температуры по всему объёму КС и позволяет регулировать её на каждой стадии термообработки с точностью не менее  $\pm 10^0$  С. Точно так же, по создаваемому перепаду давления, контролируется с точностью не менее  $\pm 50$ Па на каждой стадии и масса или порция единовременно обрабатываемого материала), что создаёт уникальные возможности автоматического контроля процесса.

6. КС не требует для изготовления конструкций привлечения машиностроительных мощностей (как, например вращающиеся печи) и изготавливается силами заводских механических служб, не содержит нестандартного оборудования. Стандартное покупное оборудование включает: воздухоудувку, дымосос, розжиговую горелку с вентилятором, исполнительные однооборотные механизмы (типа МЭО), циклоны, рукавные фильтры. Ремонту подлежит: один раз в год  $\sim 10\%$  футеровки (в зоне действия кипящих слоёв) отделённой специальными горизонтальными металлическими кольцами; керамическая решётка 2-й зоны подогрева арочной конструкции предполагается к замене 2 раза в год (может быть заменена металлической со сроком использования до 10 лет, такая замена готовится для КС-55 ОАО "ТАГМЕТ"). Других видов ремонта, кроме профилактических, для КС не предполагается. Загрузка печи и выход в рабочий режим из холодного состояния осуществляется за

8-10 ч, технологическая остановка и полная разгрузка печи - за это же время.

7. Коэффициенты тепло - и массообмена в КС, на порядок превышающими аналогичные в других печах, позволяющие осуществлять точный контроль процесса, обеспечивают и большую на порядок производительность по сравнению с шахтными печами при одинаковом объёме рабочего пространства. Одновременно имеется ряд разработок, способных кардинально повысить эксплуатационные возможности КС в рамках действующей технологии производства мягкообожжённой извести (мягкообожжённого доломита), например применение кислорода, железосодержащих добавок, пылеугольного топлива и др. В КС имеется возможность создания модульных конструкций, когда мощность наращивается простым тиражированием элементов (печь КС-55 ОАО "ТАГМЕТ" – в модульном исполнении).

Однако, из выделенных 7 приоритетов, несмотря на очевидную значимость каждого, определяющим в выборе технологии производства извести в кипящем слое, в частности для внепечной обработки стали, явилось всё-таки то, что известь, полученная в КС, обладает целым рядом уникальных свойств, которые обеспечивают, по мнению [4,5], сокращение продолжительности и увеличение скорости её полной ассимиляции сталеплавильным шлаком по сравнению с известью вращающихся печей в 1,9, а по сравнению с известью шахтных печей в 3,7 раза.

Промышленный опыт [5] сравнительных плавов на извести вышеуказанных агрегатов показал также, что при доля неусвоенной шлаком извести КС, соответственно, в 3,5 и в 4,5 раза меньше.

Для двухпозиционной установки "печь-ковш" (УПК), мартеновского цеха ОАО "Таганрогский металлургический завод" (ОАО "Тагмет") потребовалась высококачественная известь. Результаты [4,5] были получены в отношении кислородно-конвертерной плавки и прямым доказательством преимущества извести КС для условий УПЧ не являлись.

К счастью, специалисты ОАО "ТАГМЕТ" не обошли вниманием весьма интересный, но неостребованный до тех пор, эпизодический опыт обработки стали в ковше известью печи КС Макеевского металлургического комбината [7] с достижением 76% степени её десульфурации. Результатом явилось создание в 2001г. на ОАО "ТАГМЕТ" в составе УПК известковообжигового комплекса с печью КС производительностью 55 т/сут (КС-55).

Технологическая схема комплекса КС-55 (рис.1) включает в себя: закрытый склад на месячный запас известняка (1) с грейферным краном; скиповый подъёмник (2) с приёмным бункером; печь КС-55 (3); саморазгружающиеся бадьи и мульды (4); систему очистки газов от печи и аспирационных систем по схеме: циклоны (5), рукавный фильтр (6), дымосос (7), дымовую трубу ~25 м (8); воздуходувку) (9); розжиговой

вентилятор с горелкой ГНП - 4; пульт управления; газораспределительный пункт; электрическую подстанцию. В составе комплекса находится специализированная химическая лаборатория, обеспечивающая контроль качества сырья и продукции.

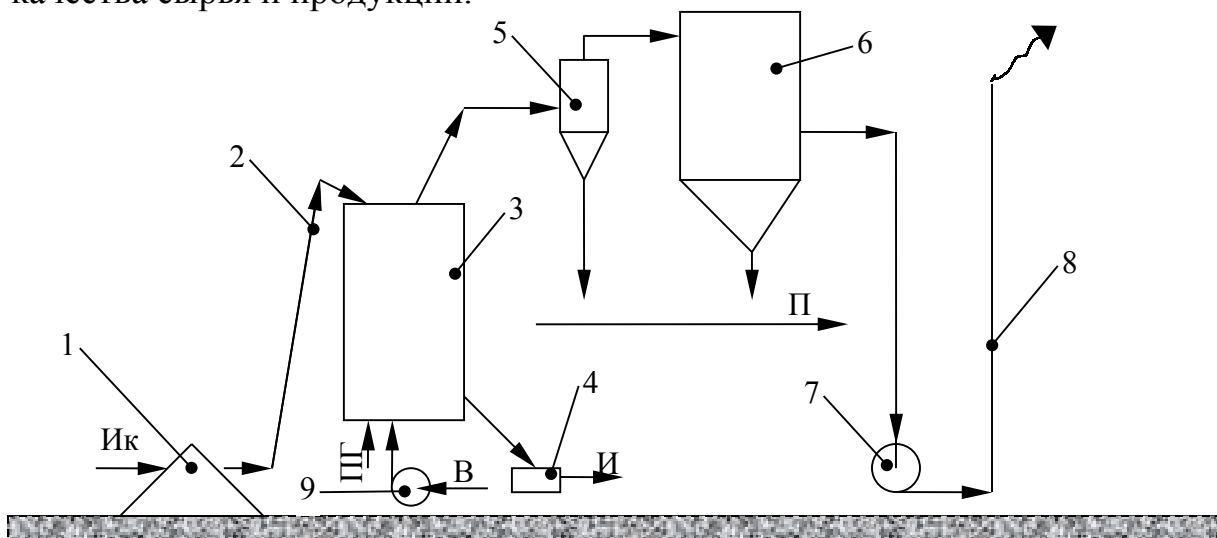


Рис. 1. Технологическая схема комплекса печи КС-55.

1-склад известняка, 2- скиповый подъёмник, 3 - печь кипящего слоя, 4- самораскрывающаяся бадья или мульда; 5 - циклоны, 6 - рукавный фильтр, 7 – дымосос, 8 - дымовая труба, 9 - воздуходувка. Аббревиатура: Ик – известняк, ПГ – природный газ, В – воздух, И – известь, П – пыль извести, уловленная системой очистки).

К обжигу приняты отвалы известняка Жирновского месторождения (Тацинский район, Ростовской области) обогащённые до фракции 3-12мм. Известняк прочный, плотный, мелкокристаллический, практически не имеющий гидратной влаги и поверхностных примесей. Массовая доля карбонатов кальция и магния ( $\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$ ) в известняке составляет  $\geq 94\%$ , серы не более 0,06%. Крупность известняка изменяется в основном в пределах (2,5 - 15) мм. При этом доля крупного (более 15 мм) достигает 10%, доля мелочи (менее 3 мм) – 16%. В качестве топлива для обжига известняка принят природный газ Ставропольского месторождения, калорийностью  $\sim 7900$  ккал/м<sup>3</sup>.

Схема работает следующим образом.

Известняк подают на крытый склад 1 железнодорожными вагонами и укладывают в штабель. Со штабеля грейферным краном известняк направляют в приёмный бункер, скиповый подъёмник 2 и в расходный бункер печи. Из бункера питателем известняк направляют в печь 3, являющуюся четырёхзонным агрегатом, состоящим из двух зон подогрева известняка, зоны обжига и зоны охлаждения извести

В печи 3 известняк обжигают. Получаемую известь загружают в самораскрывающиеся бадьи или мульды (4) и направляют на УПК.

Продукты сгорания, уходящие из печи, подвергают очистке в циклонах (5), рукавном фильтре (6) и дымососом (7) сбрасывают в дымовую трубу 9. Воздух подают в печь воздуходувкой (8).

Фотография комплекса печи КС- 55 представлена на рис. 2.

Печь выдаёт 55 т/сут извести крупностью (3...12) мм с массовой долей  $(CaO + MgO)_{общ.} \geq 92\%$  и временем гашения - 30-60 сек.

Масса пыли, улавливаемая системой газоочистки, составляет 7-8т/сут, что не превышает 12,5 – 13,01% от суммарной (63т/сут) производительности печи, что в 2 раза меньше проектной. Крупность пыли составляет (0...1) мм. Массовая доля в ней  $(CaO + MgO)_{общ.} \sim 75- 80\%$ . Время гашения 4-5 мин.

Основные технико-экономические показатели КС-55 представлены в табл. 1.

Таблица 1.

|   |              |
|---|--------------|
| Размер известняка, мм                                     | 3 – 12       |
| Объем печи, м <sup>3</sup>                                | 17           |
| Общая производительность печи, т/сут                      | 62 – 68      |
| В том числе кусковой извести, выданной из зоны охлаждения | 55 - 60      |
| Расход воздуха на печь, м <sup>3</sup> /ч                 | 3400 – 4000* |
| Давление воздуха перед печью, Кпа                         | 40 – 60      |
| Расход газа на печь, м <sup>3</sup> /ч                    | 320 – 380    |
| Расход электроэнергии, кВт · ч/т                          | 40 – 45      |
| Дымовые газы на выходе из печи:                           |              |
| количество, м <sup>3</sup> /ч                             | 5000 – 6000  |
| температура, °С   | 350 – 400    |
| Массовая доля $(CaO + MgO)_{общ.}$ , %:                   |              |
| в кусковой извести  | 92 – 96      |
| в пылевидной извести                                      | 75 – 85      |
| Расходный коэффициент известняка, кг/кг извести           | 1,7 – 1,9    |

\*- расход воздуха (газа) увеличивается до 4000 (380) м<sup>3</sup>/ч при увеличении среднего размера обрабатываемого известняка или мощности газогорелочных устройств, соответственно производительность КС-55 увеличивается до 70 т/сут.

Для производителей и потребителей извести печи кипящего слоя весьма существенным обстоятельством является эволюция размеров, или среднего содержания фракций исходного известняка по отношению к размерам готовой извести, которые определяют аэродинамические характеристики, в частности скорости витания частиц, и степень пригодности извести по этому параметру в последующих металлургических переделах. Эволюция размеров частиц, полученная при

обжиге на известь известняка Жирновского месторождения представлена гистограммами на рис. 3-10 и может быть использована для сравнительного прогноза и оценки перспектив разработки других известняковых или доломитовых отвалов.

Руководствуясь данными рис. 3-10 можно, например, прогнозировать содержание в извести фракции 0-3 или 0-5мм, при известном гранулометрическом составе известняка, что существенно при расчёте скоростей витания частиц в сталеплавильном агрегате и величин пылеуноса. Суммарным результатом обжига, например, известняка Жирновского месторождения является изменение среднего геометрического диаметра частиц от  $d_1 = 8,56$  (известняк) до  $d_2 = 6,87$  (известь) мм. При этом рост размеров частиц исходного известняка обуславливает требуемое увеличение размеров частиц извести по уравнению:

$$d_2 = 0,18 d_1 + 5,31; r = 0,139 \pm 0,082. \quad (5)$$

Для осуществления столь тонкого процесса, как выпечная обработка стали, чрезвычайно важное значение имеют не только массовая доля (>90%) оксидов кальция и магния в извести с минимальным количеством "недопала", обеспечивающая сокращение электроэнергии на  $2,07\text{кВт} \cdot \text{ч/т}$  стали, но и весь комплекс её физико – химические свойств и параметров, их взаимосвязь и взаимное влияние.

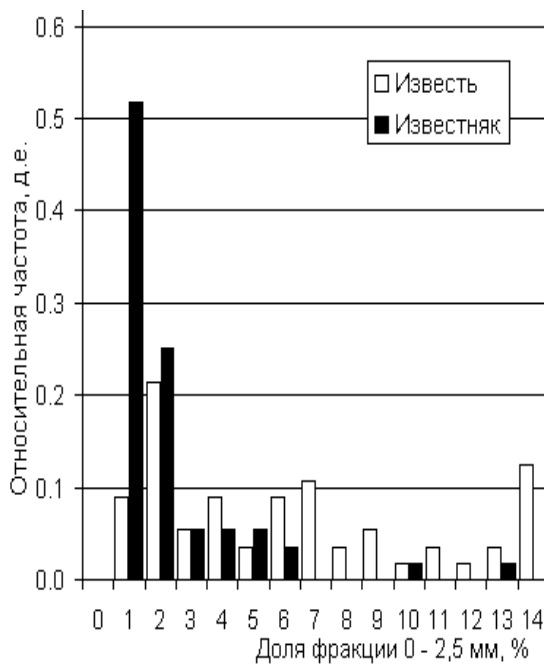


Рис.3

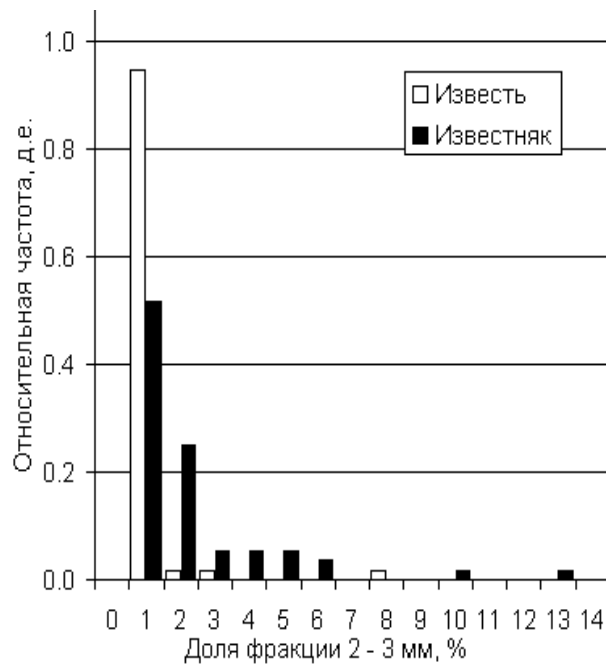


Рис.4



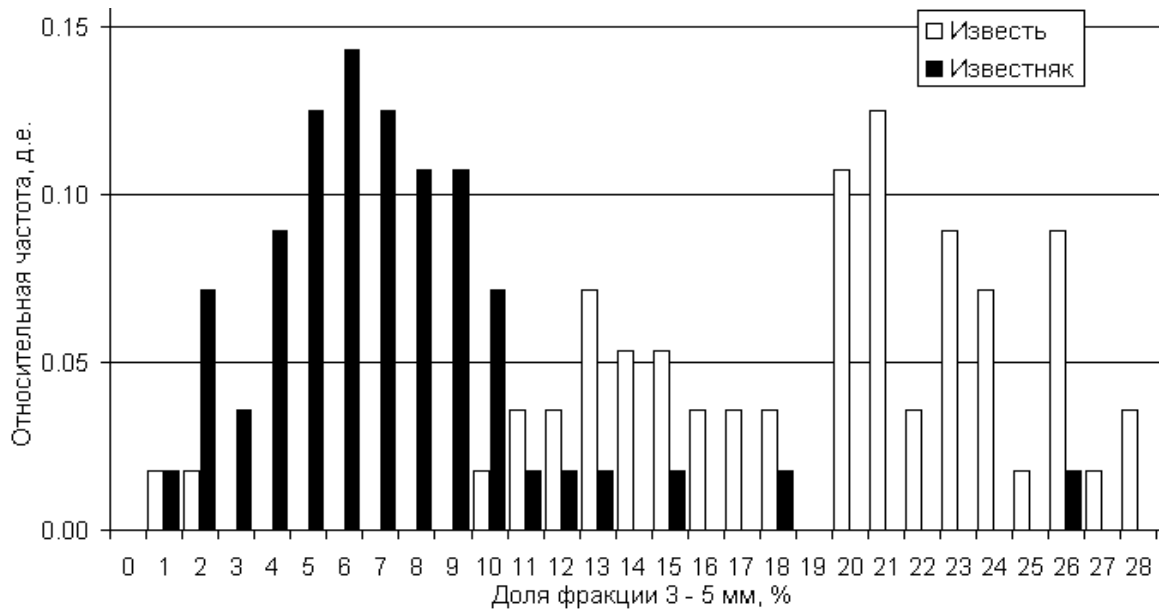


Рис.5

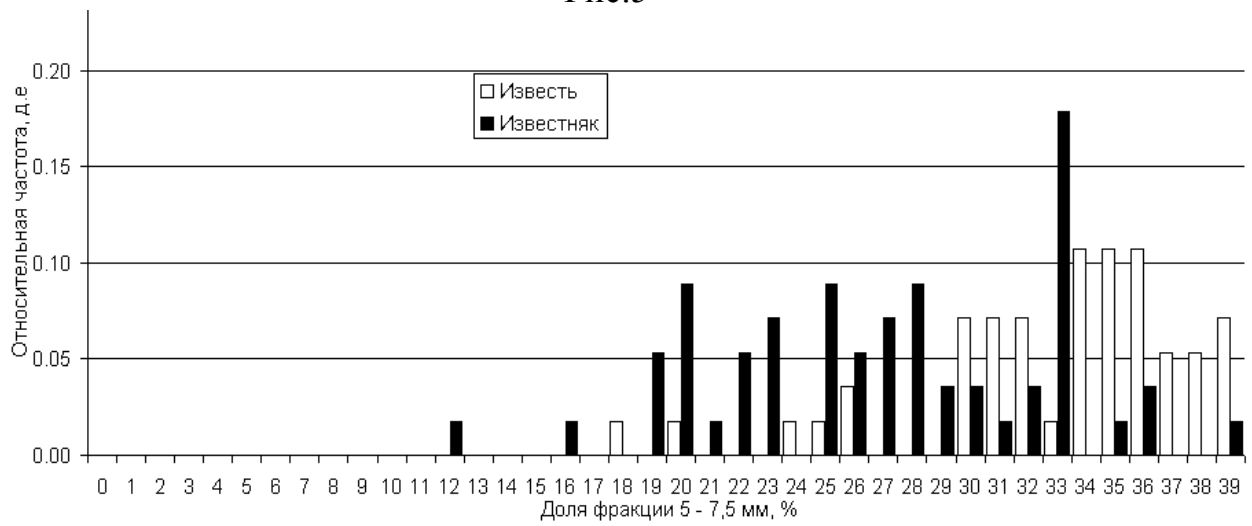


Рис.6

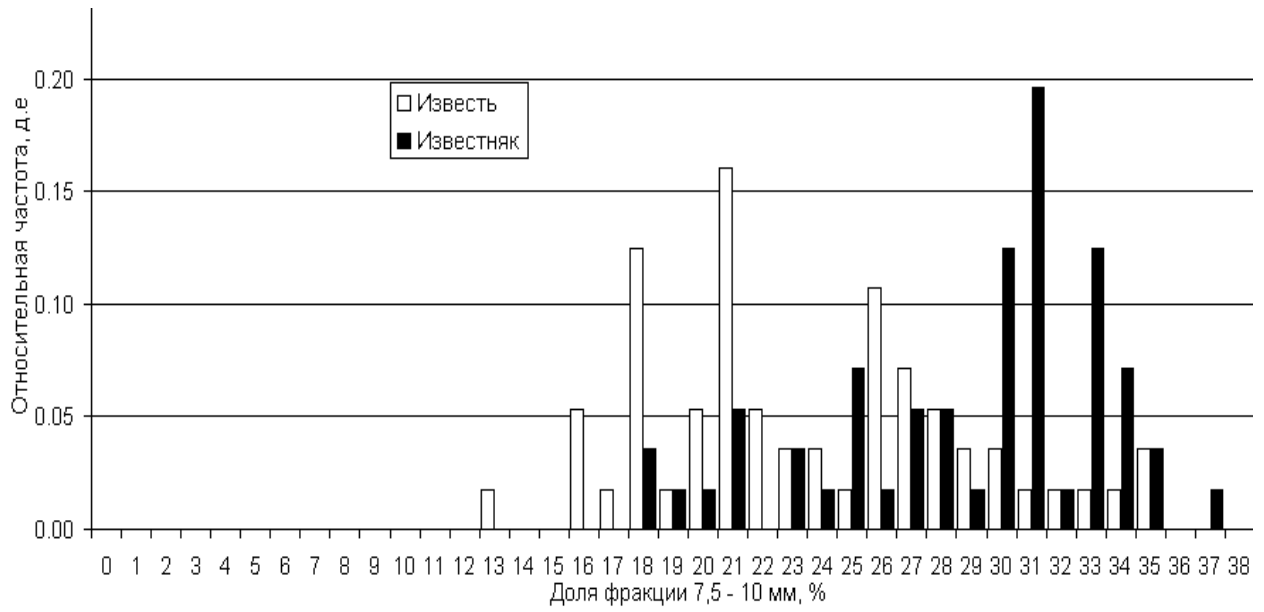


Рис.7

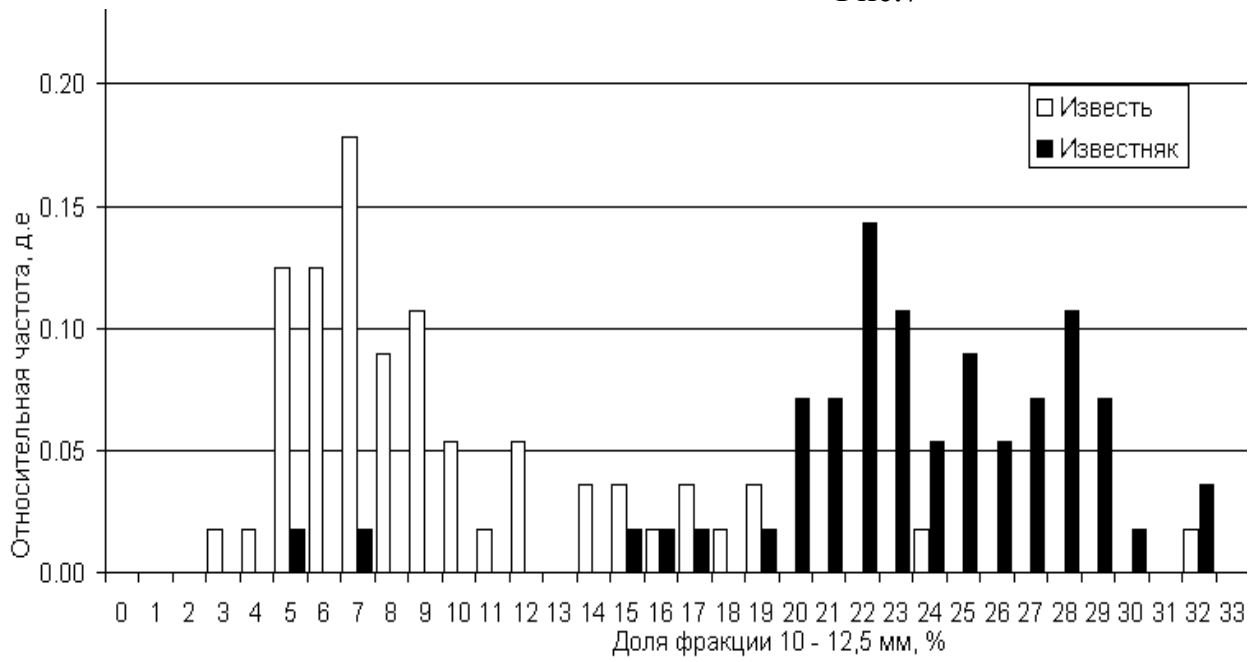


Рис.8

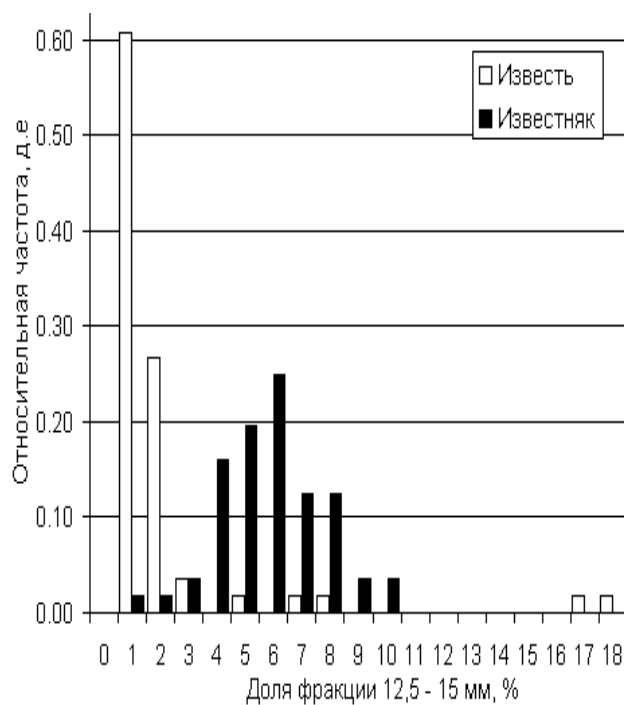


Рис.9

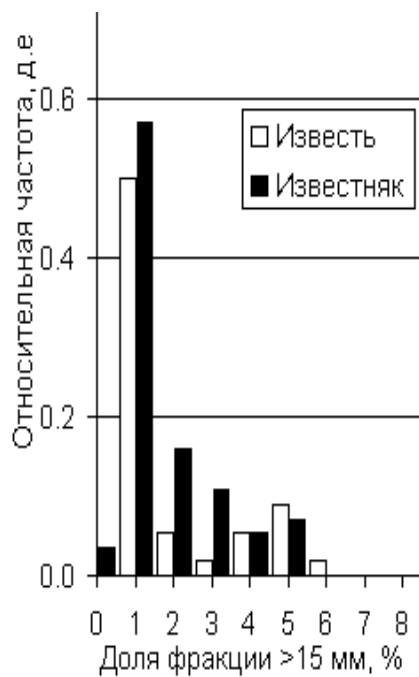


Рис.10

Соответственно высоким (> 93,0% CaF<sub>2</sub>) должно быть и качество применяемого плавикового шпата, что в сравнении со шпатом с CaF<sub>2</sub> =62,0% также даёт снижение расхода электроэнергии на 1,03 кВт· ч/т стали [8-10]. Комплексная оценка свойств извести, как шлакообразующего реагента, предпринятая, одними из первых в отечественной практике, авторами [4], видимо требует дальнейшего развития в современных условиях, когда на первый план выходят проблемы энерго - и ресурсосбережения.

Применение извести печи КС-55 фракции 3-12мм на установке "печь - ковш " в количестве 12 - 16кг/т. стали (в зависимости от необходимой степени десульфурации) при наведении шлака, наряду с общим решением проблемы дефицита извести, дало положительный технологический эффект и позволило сократить длительность обработки 2-х ковшей стали на 0,37 ч при общей её длительности 1,5 ч, а также сократить время на формирование шлака и ускорить десульфурацию при обработке 2-х ковшей на 0,12 ч. Степень десульфурации при выпуске металла составляет 55 -70% от исходного содержания серы в металле мартеновской печи. Пылевидная известь совместно с избытком кусковой используется для шихтовки мартеновских печей и для других нужд.

Окупаемость затрат по печи КС-55 ОАО "Тагмет" составила 1,1 года.

Известково-обжиговый комплекс печи КС-55 удостоен премии смотр-конкурса по ресурсо-энергосбережению и автоматизации производственных процессов на горно-обогатительных и

металлургических предприятиях России и СНГ, объявленного Международным союзом металлургов Союзом горнопромышленников России, Центром информационных технологий МСМ и Санкт-Петербургской электротехнической компанией, внедрённых в производство в период с 1996 г.

На печи КС-55 наряду с обжигом базового сырья – известняка Жирновского месторождения, осуществлён мягкий обжиг доломита Данковского и Докучавского месторождений, с последующим использованием в качестве сталеплавильного флюса и огнеупорного материала. Ближайшей перспективой распространения печей КС является их сооружение на Докучаевском флюсо - доломитовом и Высокогорском горнообогатительном комбинатах, на заводах ЗАО "ТМК".

### Литература

1. Бойнтон Р.С. Химия и технология извести. – М.: Стройиздат, 1972. - 240 с.
2. Айнштейн В.Г., Баскаков А.П. Псевдоожигание. – М.: Химия, 1991. – 399 с.
3. Десульфурация стали шлаком / Г. Грунер, Г.-Э. Вимер, Ф. Барденхойер, В. Фикс // Чёрные металлы. -1979. - №11. -С. 7-13.
4. Третьяков Е.В., В.К. Дидковский. Шлаковый режим кислородно-конвертерной плавки.- М.: Металлургия. 1972. - 144с.
5. Эффективность использования мягкообожжённой извести при переделе фосфористых чугунов в конвертере / В.И. Богомяков, Г.В. Польшиков, Ю.И. Шишкин и др. // Чёрная металлургия. Бюллетень научно-технической информации. – 1988. - №11. – С. 31-32.
6. Дементьев В.М. Тепловые расчёты многозонных печей с кипящим слоем – М.: Металлургия, 1971. – 184 с.
7. А.с. 1541280 (СССР), МКИ<sup>3</sup> С 21 С 7/00, 1/02. Способ внепечной обработки жидкой стали / А.И. Мастицкий, В.И. Шевченко, С.П. Терзиян и др. (СССР). –№443994/23 – 02; заявл. 24.05.88; опубл. Б.И., 1990, №5.
8. В.А. Вихлевщук, В.С. Харахулах, С.С. Бродский. Ковшевая доводка стали. – Днепропетровск.: Системные технологии. 2000.- 190 с.
9. Пути ресурсосбережения при внепечной обработке стали/ Д.А. Дюдкин, С.Е. Гринберг, А.В. Грабов и др.// Сталь, 2002. -№3. – С. 55-57.
10. Выплавка качественной низколегированной стали в кислородных конвертерах с внепечным рафинированием/ П.И. Югов, А.Г.Шалимов, С.В.Колпаков и др.// Сталь, 1978. -№11. – С. 993-996.

Поступила в редакцию 12.01.04