

КОКСОВЫЙ ОРЕШЕК – КОМПЕНСИРУЮЩЕЕ МЕРОПРИЯТИЕ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ГАЗОПРОНИЦАЕМОСТИ «СУХОЙ» ЗОНЫ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ*

А.В. Кузин (ДонНТУ, г. Донецк)

Установлено благоприятное влияние коксового орешка на газопроницаемость железорудного слоя шихты «сухой» зоны доменной печи. Определены оптимальные размеры коксового орешка, вводимого в состав железорудной шихты. Показано, что введение в доменную печь коксового орешка в смеси с железорудной шихтой в количестве 25 кг/т чугуна обеспечило снижение расхода металлургического кокса на 10,7 кг/т чугуна за счёт снижения потерь при высева мелочи и совершенствования технологии.

Доменное производство является первым и самым энергоёмким переделом чёрной металлургии, потребляющим до 70 % тепловой энергии. Современная технология доменной плавки неэффективна без применения дешёвых дополнительных видов топлива – пылеугольного топлива (ПУТ), природного газа (ПГ), мазута и др., которыми можно заменить до 40-50 % дорогого и дефицитного кокса.

Удельный расход основного топлива - кокса, примерно на 40 % определяющего себестоимость чугуна, на доменных печах Украины составил в 2006 г. около 500 кг/т чугуна, что на 30-50 % выше показателей, достигнутых за рубежом. Большие энергозатраты при производстве чугуна снижают конкурентоспособность отечественного металла на мировом рынке.

В настоящее время примерно половина мирового производства чугуна выплавлена в соответствии с требованиями современного технического уровня [1]. Современный уровень доменной технологии характеризуется содержанием в агломерате от 1 до 5 % мелочи крупностью 5-0 мм, практически полным выводом из состава доменной шихты сырого известняка и других флюсующих материалов, выходом шлака от 140 до 300 кг на 1 т чугуна, температурой дутья более 1100 °С, содержанием кислорода в дутье 23-32 %, давлением газа под колошником 150-250 кПа, применением низкозольного и низкосернистого ПУТ, основностью шлака (CaO/SiO_2) от 1,05 до 1,15 при содержании MgO 8-12 %, что обеспечивает получение легко-

* Работа выполнена под руководством д.т.н., профессора С.Л. Ярошевского. В работе принимали участие к.т.н., доцент Хлапонин Н.С. (ДонНТУ), к.т.н. Кузнецов А.М. (ОАО «ЕМЗ»)

плавкого устойчивого и гомогенного шлака [1-4].

При работе современной доменной печи значительно повышаются механические и химические нагрузки на кокс, что определяет повышение требований к его качеству, в первую очередь, к фракционному составу и прочности. Данная задача решается как за счёт улучшения качества использования угольной шихты и режима коксования, так и за счёт повышения эффективности подготовки кокса к доменной плавке.

1. Отечественный и зарубежный промышленный опыт подготовки кокса к плавке и использования коксового орешка

Известно, что наиболее эффективной для доменных печей среднего и большого объёмов является фракция кокса 40-80 мм, применение которой обеспечивает максимальный уровень производительности [5, 6].

Однако при использовании данной фракции кокса значительно увеличится выход отсева (фракции менее 40 мм) и кокса крупнее 80 мм. Комплексное и эффективное использование металлургического кокса может быть обеспечено путём предварительной подготовки металлургического кокса к доменной плавке за счёт высева из него фракции менее 40 мм и дробления фракции более 80 мм, выделения из отсева фракции 10-40 мм и последующей загрузки её в доменную печь в смеси с железорудной частью шихты.

Впервые совместную загрузку коксового орешка или металлургического кокса с железорудной частью шихты предложили и опробовали И.И. Коробов и В.И. Логинов [7-10]. Логиновым В.И. показано, что при смешивании кокса с агломератом на 12-25 % уменьшается газодинамическое сопротивление шихты по сравнению с послойной укладкой [10]. При этом наблюдается повышение степени использования СО на 1-3 %, повышение нагрева горна и, как следствие, увеличение содержания кремния в чугуна. Вследствие выше перечисленных причин производительность доменной печи увеличивалась на 1,5-4 % при одновременном снижении расхода кокса на 4-8 % [9, 10].

В странах СНГ имеется опыт использования коксового орешка, однако указанная технология пока не получила широкого промышленного применения. Причинами данного обстоятельства являются незавершенность научного и экспериментального обоснования технологического режима с применением коксового орешка, низкое качество применяемого коксового орешка [11, 12].

Коксовый орешек за рубежом стали интенсивно внедрять одновременно с расширением применения пылеугольного топлива (ПУТ). Так, «...в настоящее время общей практикой для стран Европейского союза является использование в доменной шихте также более мелкого кокса, в виде класса 10-35 мм, в количестве до 100 кг/т чугуна» [13].

Статистической обработкой среднегодовых показателей работы доменных печей предприятий Европы в 1994-1996 гг. показано, что при введении в шихту 5-30 % коксового орешка (от расхода кокса) коэффициент замены орешком близок к 1, производительность печи сохраняется на исходном уровне. Одновременно повсеместно приняты меры по улучшению прочности кокса, прежде всего, по горячей прочности (CRS) [14].

В 2000 г. ПУТ использовалось более чем в 25 развитых странах мира. Причем, в подавляющем большинстве случаев применение ПУТ сочеталось с использованием коксового орешка в количестве от 8 до 40 %. Так, например, доменная печь № 9 фирмы TKS Hamborn ($V_{\text{раб}}=1833 \text{ м}^3$), работающая с вдуванием на 1 т чугуна более 150 кг ПУТ и загружающая 116,8 кг коксового орешка, имела расход скипового кокса 209,2 кг при производительности 2,92 т/($\text{м}^3 \cdot \text{сутки}$) [15].

Нами предпринята попытка обоснования оптимального режима подготовки кокса к плавке в технологических условиях Украины.

2. Аналитическое исследование и физическое моделирование влияния загрузки коксового орешка в смеси с железорудной частью доменной шихты на основные показатели доменного процесса

Сопrotивление движению газового потока или потeрю напора газа в слое (ΔP , Па) оценивали по уравнению Дарси-Вейсбаха

$$\Delta P = f \cdot \frac{H \cdot (1 - \varepsilon) \cdot w^2 \cdot \rho}{d_{\text{ч}} \cdot \varepsilon^3} \cdot \frac{1}{2}, \quad (1)$$

где f - коэффициент сопротивления; H - высота слоя, м; ε - порозность, доли единицы; ρ - действительная плотность газа, $\text{кг}/\text{м}^3$; w - действительная скорость газа (на всё сечение печи), м/с; $d_{\text{ч}}$ - эквивалентный диаметр частиц, м.

Коэффициент сопротивления f и критерий Рейнольдса (Re) определены по формулам

$$f = 1,75 + \frac{150}{Re}; \quad (2)$$

$$Re = \frac{1}{1 - \varepsilon} \cdot \frac{w \cdot d_{\text{ч}}}{\nu} \quad (3)$$

где ν - кинематическая вязкость газа, $\text{м}^2/\text{с}$.

При определении ΔP в железорудном слое шихты в формулах (1) и (3) предлагается вместо величины ε использовать приведенную порозность материала ($\varepsilon_{\text{пр}}$), а при введении коксового орешка в железорудный слой – приведенную порозность смеси (5):

$$\varepsilon_{\text{пр}} = \varepsilon + n \cdot V_g \cdot (1 - \varepsilon) \quad (4)$$

$$\varepsilon_{np}^{см} = \varepsilon_{np}^м \cdot V_м + \varepsilon_{np}^o \cdot V_o \quad (5)$$

где n - пористость материала, доля единицы; V_g - объемная доля пор, доступных прохождению газа, доля единицы; ε_{np} - приведенная порозность соответственно рудного материала и коксового орешка, доля единицы; $V_м$ и V_o - объемная доля соответственно рудного материала и коксового орешка в их смеси, доля единицы.

Для оценки газопроницаемости определили отношение $\Delta P_{смеси} / \Delta P_{аглом.}$ Для одних и тех же условий работы доменной печи при определении этого отношения величины w , ε и $d_{ч}$ в формуле (1) можно сократить, а отношение $f_{смеси} / f_{аглом.}$ всегда будет меньше единицы. Более подробно данная методика изложена [16, 17].

Расчёты показали, что существенное влияние на перепад давления газа оказывает введение первых порций коксового орешка в количестве от 10 до 30 % (по отношению к расходу кокса), определяющих улучшение газопроницаемости рудной линзы шихты от 9,5-10 до 12,5-13,7 % соответственно. Дальнейшее увеличение расхода коксового орешка практически не сказывается на газопроницаемости рудной линзы. Наиболее целесообразно использовать коксовый орешек минимальным размером 10 мм, а максимальным – 40 мм (рис. 1).

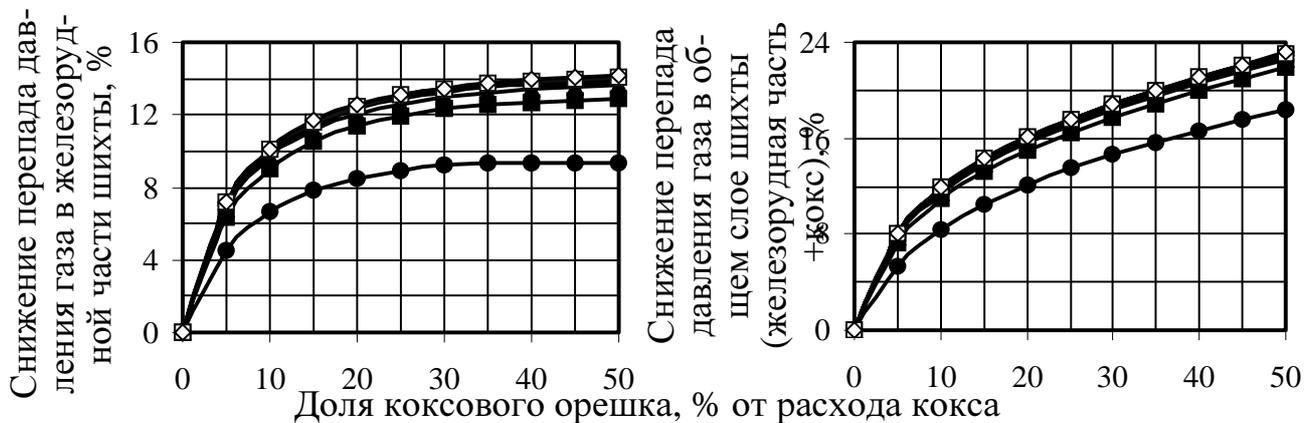


Рисунок 1 – Снижение перепада давления газа в верхней части доменной печи при ведении коксового орешка и кокса в железорудную часть шихты:

фракция коксового орешка и кокса
 ● 5-15 ■ 10-20 ▲ 15-25 ◆ 20-30 ○ 25-35 □ 10-40 ◇ 40-80

Введение металлургического кокса в железорудную часть шихты оказывает такое же качественное и количественное влияние, как и коксовой орешек фракции 10 - 40 мм. Однако введение в железорудную часть шихты коксового орешка более предпочтительно, поскольку предопределяет возможность снижения прихода в доменную печь фракции менее 10 мм.

Также было оценено влияние отсевов кокса крупностью от 0 до 15-40 мм на газопроницаемость шихты при их загрузке в смеси с железорудной шихтой. Данное мероприятие не улучшает газопроницаемость слоя шихты: лишь при использовании отсева кокса фракции 40 - 0 мм газопроницаемость слоя смеси сохраняется на базовом уровне. Ввиду этого, применение коксового орешка с содержанием фракции 10 - 0 мм более 5 % существенно снижает эффективность его использования в смеси с железорудной шихтой.

Оценено влияние загрузки коксового орешка в смеси с железорудной частью шихты на производительность доменной печи и удельный расход кокса. Установлено, что введение в железорудную часть шихты коксового орешка в количестве 10-30 % от расхода кокса обеспечивает повышение производительности печи на 1,65-3 % [16, 17].

Для оценки изменения удельного расхода кокса за основу принята зависимость удельного расхода кокса на выплавку чугуна от гранулометрического состава рудной части доменной шихты. Было предложено зависимость «содержание мелочи 5-0 мм в рудной части шихты – удельный расход кокса на выплавку чугуна» пересчитать на новую, более универсальную: «перепад давления газа в верхней части шахты доменной печи – удельный расход кокса на выплавку чугуна».

Показано, что уменьшение массовой доли мелочи 5-0 мм в агломерате от 25 до 6,25 % обеспечит снижение перепада давления газа в слое агломерата в верхней части доменной печи на 31,9 %. Расчёты показали, что уменьшение массовой доли мелочи 5-0 мм в слое агломерата и, соответственно, общего перепада давления газа в слое материалов на 1 % снижают удельный расход скипового кокса на 0,23 %. Также показано, что аналогичное улучшение газопроницаемости шихты при совместной загрузке в доменную печь 10-30 % коксового орешка фракции 10-40 мм в смеси с агломератом может обеспечить снижение расхода скипового кокса на 2,62-4,21 % [18].

Для условий ОАО «Енакиевский металлургический завод» (ОАО «ЕМЗ») выполнены комплексные расчёты эффективности различных вариантов использования коксового орешка собственного производства (от 2 до 6,6 % по отношению к сумме «скиповой кокс + коксовый орешек») и коксового орешка собственного производства + покупного (10, 20 и 30 % по отношению к сумме «скиповой кокс + коксовый орешек»). Расчёты показали, что при использовании коксового орешка только собственного производства в количестве от 11,4 до 37,4 кг/т чугуна и размере отверстий на нижних ситах коксового грохота 25 и 40 мм суммарная экономия металлургического кокса на 1 т чугуна составит 15,8 и 19,9 кг. При расходе коксового орешка фракции 10-40 мм собственного производства + покупного в количестве 10, 20 и 30 % (36,2+20,5 кг; 32,3+81,7 кг; 28,5+143,6 кг) при

размере отверстий на нижних ситах коксового грохота 40 мм суммарная экономия металлургического кокса на 1 т чугуна составит соответственно 23,8, 32,4 и 36,9 кг (3,97; 5,40 и 6,15 %) по сравнению с базовым расходом металлургического кокса 600 кг. Такая экономия металлургического кокса обеспечивается за счёт увеличения степени использования металлургического кокса в печи, снижения перепада давления газа в верхней части шахты печи и снижения поступления в доменную печь со скиповым коксом и коксовым орешком фракции менее 10 мм.

Для подтверждения аналитического исследования относительно влияния коксового орешка на газопроницаемость слоя смеси было проведено физическое моделирование на модели, размер которой составил 1/35 от натуральной величины «сухой» зоны доменной печи объемом 1033 м³ (диаметр 0,2 м; высота 0,5 м).

На рис. 2 приведены аналитическая и экспериментальная зависимости перепада давления от расхода коксового орешка в смеси с агломератом, подтверждающие их сходство, как по характеру зависимости, так и по абсолютным значениям снижения перепада.

Подтверждено также, что особенно эффективным является введение коксового орешка в количестве до 10 % от расхода кокса, что обеспечивает снижение перепада давления газа в слое смеси агломерата и коксового орешка на $\approx 10\%$.

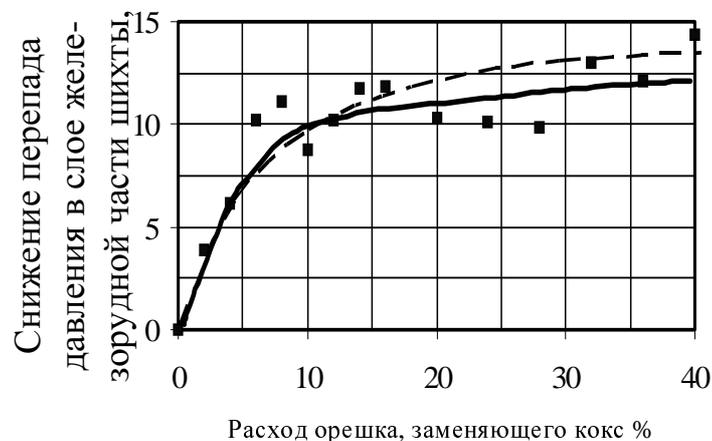


Рисунок 2 – Зависимость влияния расхода коксового орешка на перепад давления газа в железорудном слое:

- экспериментальная;
- аналитическая (см. рис .1).

3. Качество получаемого коксового орешка и эффективность его использования в доменной печи

На доменных печах № 1, 3 и 4 ОАО «ЕМЗ» исследованы режимы и

результаты подготовки кокса к доменной плавке. Рассевы производили при помощи ручных сит с квадратными ячейками на классы: +25, 25-10, 10-5 и 5-0 мм.

Оценено качество отсева кокса, а также коксового орешка, получаемого на грохотах барабанного типа. Показано, что коксовый орешек, получаемый таким образом, содержал 11,2-19,7 % фракции 10-0 мм. В отсеве кокса и коксовом орешке класса 5-0 мм содержалось 19,45-19,75 % золы, что в 1,57 раза больше, чем в коксе. В отсеве кокса фракции +10 мм, коксовом орешке и коксе содержание золы было практически равным. Содержание фракции 10-0 мм в коксовом орешке, получаемом на вибрационных грохотах, составило около 5 %, что в 2-4 раза меньше, чем при производстве его на грохотах барабанного типа.

Установлены особенности работы коксовых грохотов с использованием металлических и резиновых сит. Показано, что период эксплуатации резиновых сит составил 8-12 месяцев, в то время как металлических – 2-4 месяца. Причем, в течение этого срока ширина щели на резиновых ситах практически не изменилась, а на металлических – увеличилась с 25-28 до 32-36 мм, что определяло повышение выхода отсева кокса с 7-8 до 12 %, нестабильность фракционного состава отсева и скипового кокса. При этом выход фракции, пригодной для выделения коксового орешка, увеличивается от 33,3 до 51,9-53,3 %. Резиновые и металлические сита обеспечивали низкое (0,73-0,89 %) содержание фракции 10-0 мм в скиповом коксе. При этом, однако, на резиновых ситах количество отсева было на 20,6 % меньше, а содержание фракции 10-0 мм в отсеве в 1,7 раза выше, что свидетельствует о качественно более высоком уровне эффективности грохочения.

Указанные преимущества резиновых сит и виброгрохотов создают предпосылки для улучшения качества подготовки кокса к доменной плавке. Результаты расчёта показывают, что увеличение размера отверстий на нижнем сите коксового грохота с 25 до 40 мм обеспечивает повышение среднемассового диаметра кусков скипового кокса с 51,95 до 56,62 мм, коэффициента однородности его фракционного состава – с 72,4 до 84,6 %, порозности коксовой линзы – на 2,5 % (отн.). Использование виброгрохотов для выделения из отсева кокса коксового орешка значительно улучшает его фракционный состав.

На доменной печи № 1 ОАО «ЕМЗ» объёмом 1386 м³ получение коксового орешка на грохотах вибрационного типа освоено в марте 2003 г. При этом размер отверстий на нижнем сите коксового грохота был увеличен с 28 до 32-36 мм. Из отсева кокса выделяли коксовый орешек крупностью 15-32(36) мм. Коксовый орешек из отдельного шихтового бункера загружали вагон-весами последним компонентом в скип с окатышами при системе загрузки шихты АОККК– 1,5 м. Объёмная доля коксового орешка в железорудной части шихты составляла 5-7 %. В результате перегрузок

коксовый орешек перемешивался с железорудной шихтой.

Применение качественного коксового орешка (содержание класса 10-0 мм – около 5 %) в количестве 25 кг/т чугуна в доменной печи № 1 ОАО «ЕМЗ» способствовало экономии приведенного к равным условиям металлургического кокса в количестве 10,7 кг/т чугуна (2 %): при этом 6,7 кг сэкономлено за счёт снижения потерь кокса, что повысило степень использования металлургического кокса в доменной печи с 94,5 до 95,6 %, а 4 кг скипового кокса сэкономлено за счёт улучшения газопроницаемости шихты и совершенствования технологии доменной плавки.

При работе доменной печи с введением коксового орешка в смеси с железорудной шихтой время контакта газа-восстановителя с оксидами железа повысилось на 0,021 с (5,3 %), а коэффициент полезного действия тепла в печи – на 0,49 % (абс.), расход условного топлива снизился на 4,3 кг/т чугуна (табл. 1).

В результате выполненных исследований установлено:

1. Расчётным путём установлено влияния коксового орешка на газопроницаемость железорудного слоя шихты в «сухой» зоне доменной печи. Показано, что на газопроницаемость шихты существенно влияет введение первых порций коксового орешка: снижение перепада давления газа в железорудной линзе составило 9,5-13,7 % при загрузке с шихтой 10-30 % коксового орешка (от расхода кокса).
2. Определены оптимальные размеры коксового орешка, вводимого в состав железорудной шихты – от 10 до 40 мм. При этом содержание фракции 10 – 0 мм не должно превышать 5 %.
3. Показано, что увеличение размера отверстий на нижнем сите коксового грохота с 25 до 40 мм обеспечивает улучшение качества скипового кокса и газопроницаемости коксовой насадки в печи: среднемассовый диаметр кусков скипового кокса повышается с 51,95 до 56,62 мм, коэффициент однородности фракционного состава – с 72,4 до 84,6 %, порозность коксовой линзы повышается на 2,5 % (отн.).
4. Установлено, что коксовый орешек, получаемый на грохотах вибрационного типа, содержал фракции 10-0 мм около 5 %, что в 2-4 раза меньше, чем при его производстве на грохотах барабанного типа.
5. На доменной печи № 1 ОАО «ЕМЗ» проведено промышленное исследование влияния на показатели доменной плавки загрузки в печь качественного коксового орешка в смеси с железорудной частью шихты. Использование коксового орешка фракции 15-32(36) мм в количестве 25 кг/т чугуна способствовало экономии 10,7 кг металлургического кокса на 1 т чугуна (2 %).

Таблица 1 – Показатели работы доменной печи № 1 ОАО «ЕМЗ»
объемом 1386 м³ без и с применением коксового орешка

Показатели	Численное значение показателей в периодах	
	базовый	опытный
Производство чугуна, т/сутки	2571	2565
Производство чугуна приведенное, т/сутки	2571	2550
Расход сухого скипового кокса, кг/т чугуна	511	466
Расход коксового орешка, кг/т чугуна	1	25
Сумма приведенного к равным условиям расхода кокса и коксового орешка, кг/т чугуна	512	508
Потери кокса при отсеивании мелочи, кг/т чугуна	30,5	23,8
Расход шихтовых материалов, кг/т чугуна:		
агломерат ЕМЗ	879	1113
окатыши СевГОК	766	576
Дутье:		
расход, м ³ /мин	2865	2804
температура, °С	1018	1034
содержание O ₂ , %	23,9	24,1
расход природного газа, м ³ /т чугуна	113	127
Химический состав чугуна, %:		
Si	0,84	0,78
S	0,030	0,032
Основность шлака CaO/SiO ₂ , ед.	1,23	1,23
Выход шлака, кг/т чугуна	411	413
Степень использования СО, %	41,43	41,42
Теоретическая температура горения, °С	1977	1945
Время контакта газа-восстановителя с оксидами Fe, с	0,376	0,397
Расход условного топлива, кг/т чугуна	653,8	649,5
Коэффициент полезного действия тепла, %	77,05	77,54

Литература

1. Савчук Н.А., Курунов И.Ф. Доменное производство на рубеже XXI века // Новости черной металлургии за рубежом. - 2000.- Часть II.- Приложение 5. - М.: ОАО «Черметинформация». – 42 с.
2. Эффективность и перспективы применения кислорода в доменной плавке / С.Л. Ярошевский, В.А. Ноздрачев, А.И. Бабиц и др. // Збірник наукових праць Донецького національного технічного університету. Серія: Металургія. Випуск 8. – Донецьк: ДонНТУ, 1999. – С. 39-55.
3. Перспективные режимы доменной плавки с применением пылеугольного топлива для технологических условий доменных цехов Украины /С.Л. Ярошевский, А.И. Ковалёв, А.М. Кузнецов и др. // Збірник науко-

- вих праць Донецького державного технічного університету. *Металургія*. Випуск 31. – Донецьк: ДонНТУ, 2001. – С. 33-43.
4. Mülheims K., Peters M., Lungen H.B. Review of ECSC research work in ironmaking // 3rd International Conference Science and Technology Ironmaking, June 16-20, 2003, Proceedings, Düsseldorf. - P. 1-11.
 5. Опыты по применению кокса различной крупности в доменных печах /В. Айзенхут, К. Энгель, В. Крафт и др. // *Черные металлы*. - 1979.- № 2. – С. 25-30.
 6. Тайхерт Э., Гупта В.Н. Влияние различной крупности кокса на режим работы доменной печи с горном диаметром 7,8 м // *Черные металлы*. - 1976.- № 14-15. – С. 19-23.
 7. Влияние равномерного распределения гранулометрического состава шихты по окружности колошника на работу доменной печи /И.И. Коробов, В.Н. Ковшов, К.И. Котов и др. // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. - 1968.- № 5. – С. 1-4.
 8. Изучение различных приемов загрузки доменной печи и выбор наиболее рациональной /И.И. Коробов, В.Н. Ковшов, А.Ф. Мищенко и др. // *Сталь*. - 1972.- № 5. – С. 418-419.
 9. Загрузка доменной печи смесью агломерата и кокса / В.И. Логинов, С.М. Соломатин, А.Т. Корж и др.// *Бюллетень ЦНИИЧМ*. – 1974. – № 17 – С. 33-35.
 10. Влияние смешивания рудного сырья с коксом на газодинамические условия и технико-экономические показатели доменной плавки / В.И. Логинов, А.Л. Берин, С.М. Соломатин и др.// *Сталь*. – 1977. – № 5 – С. 391-394.
 11. Разработка режима загрузки и опыт применения мелкофракционного кокса в мощной доменной печи /В.А. Доброскок, Ю.В. Липухин, И.Ф. Курунов и др. // *Сталь*. – 1998. – № 8. – С. 7-13.
 12. Работа доменных печей с использованием кокса мелких фракций /Л.Д. Никитин, М.Ф. Марьясов, В.П. Горбачёв и др. // *Металлург*. – 1999. – № 1.– С. 38-39.
 13. Ухмылова Г.С. Требования европейских доменщиков к качеству кокса // *Кокс и химия*. - 2001.- № 4. – С. 24-26.
 14. Эффективность использования кокса фракции менее 40 мм в доменной плавке / С.Л. Ярошевский, В.А. Ноздрачев, А.П. Чеботарев и др. // *Металлург*. – 2000. – № 12. – С. 32-35.
 15. Кузин А.В., Ярошевский С.Л., Хлапонин Н.С. Влияние коксового орешка при введении его в железосодержащий слой шихты на газопроницаемость «сухой» зоны доменной печи // *Металл и литье Украины*. – 2004 . – № 3-4. – С. 22-24.
 16. Кузин А.В., Ярошевский С.Л., Хлапонин Н.С. Аналитическое исследование влияния кокса мелких фракций на газопроницаемость «сухой»

- зони доменной печи // Труды международной научно-технической конференции посвященной 70-летию КГГМК «Криворожсталь» «Теория и практика производства чугуна». – Кривой Рог, 24-27 мая, 2004 г. – Кривой Рог: КГГМК «Криворожсталь», 2004 – С. 369-374.
17. Кузин А.В., Ярошевский С.Л., Хлапонин Н.С. Влияния кокса мелких фракций на газопроницаемость «сухой» зоны доменной печи // Труды международной научно-технической конференции «Сталий розвиток гірничо-металургійної промисловості». - Том 2. - Кривой Рог, 18-22 мая, 2004 г. – Кривой Рог: Криворізький технічний університет, 2004 - С. 58-63.
18. Влияние перепада давления газа в верхней части доменной печи на расход кокса / Н.С. Хлапонин, С.Л. Ярошевский, А.В. Кузин и др. // Наукові праці Донецького нац. техн. ун-ту. Серія: Металургія. Випуск 73. – Донецьк: ДонНТУ, 2004. – С. 90-94.

© Кузин А.В. 2007