

Научная статья
УДК 662.749.2
doi:10.37614/2949-1215.2023.14.1.021

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В УГОЛЬНОЙ ШИХТЕ МЕЛКОДИСПЕРСНОЙ КОКСОВОЙ ДОБАВКИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ КАЧЕСТВЕННОГО КОКСА

**Елена Владимировна Карунова¹, Василий Леонидович Викулов², Оксана Александровна Калько³,
Ирина Васильевна Сорокина⁴**

^{1, 2, 4}«Северсталь», Череповецкий металлургический комбинат, Череповец, Россия

^{1, 2, 3}Череповецкий государственный университет, Череповец, Россия

¹evkarunova@severstal.com, <http://orcid.org/0000-0002-8817-4907>

²vlvikulov@severstal.com

³oakalko@chsu.ru, <http://orcid.org/0000-0001-8158-5626>

⁴ivsorokina@severstal.com

Аннотация

Представлены результаты лабораторных и промышленных исследований коксовой пыли в качестве мелкодисперсной добавки к угольной шихте. Проводились исследования по коксованию экспериментальных угольных шихт с добавлением различного количества коксовой пыли, оценивались качественные характеристики полученного кокса. На основе результатов определен оптимальный с точки зрения технико-экономических показателей процент участия добавки в угольной шихте.

Ключевые слова:

доменное производство, кокс, уголь, прочность кокса, мелкодисперсные коксовые добавки

Для цитирования:

Использование в угольной шихте мелкодисперсной коксовой добавки для получения качественного кокса / Е. В. Карунова [и др.] // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Технические науки. 2023. Т. 14, № 1. С. 116–121. doi:10.37614/2949-1215.2023.14.1.021

Original article

USE OF A FINE COKE ADDITIVE IN COAL CHARGE TO OBTAIN QUALITY COKE

Elena V. Karunova¹, Vasily L. Vikulov², Oksana A. Kalko³, Irina V. Sorokina⁴

^{1, 2, 4}Severstal, Cherepovets Metallurgical Plant, Cherepovets, Russia

^{1, 2, 3}Cherepovets State University, Cherepovets, Russia

¹evkarunova@severstal.com, <http://orcid.org/0000-0002-8817-4907>

²vlvikulov@severstal.com

³oakalko@chsu.ru, <http://orcid.org/0000-0001-8158-5626>

⁴ivsorokina@severstal.com

Abstract

This paper presents the results of laboratory and industrial studies of coke dust as a finely dispersed additive to coal charge. Studies were carried out on the coking of experimental coal charges with the addition of various amounts of coke dust, and the quality characteristics of the obtained coke were evaluated. Based on the results obtained, the optimal percentage of additive participation in the coal charge was determined from the point of view of technical and economic indicators.

Keywords:

blast furnace production, coke, coal, strength of coke, finely dispersed coke additives

For citation:

Use of a fine coke additive in coal charge to obtain quality coke / E. V. Karunova [et al.] // Transactions of the Kola Science Centre of RAS. Series: Engineering Sciences. 2023. Vol. 14, No. 1. P. 116–121. doi:10.37614/2949-1215.2023.14.1.021

В современных условиях развития промышленности постоянно повышается энергопотребление и ужесточаются экологические требования к производственным процессам, что делает весьма актуальным создание новых энергосберегающих технологий, которые обеспечивают рециклинг различных отходов производств и снижение негативного воздействия на окружающую среду. Следует особо отметить, что полученные продукты должны удовлетворять определенным качественным характеристикам, а внедряемые технологии — минимизировать издержки производства.

Современная стратегия крупных металлургических предприятий заключается в производстве стали с низкими затратами и высоким качеством выпускаемой продукции, при этом максимальное внимание уделяется вопросам охраны окружающей среды и социальным проблемам. Для успешной реализации стратегических задач необходимо внедрение новых и усовершенствование уже существующих технологий, которые основаны на использовании низкзатратных или беззатратных проектов улучшения. Одним из приоритетных научно-технических направлений развития коксохимии является экономически целесообразное использование твердых отходов производства кокса.

Коксовая пыль — один из техногенных отходов коксохимических предприятий, образующийся в процессе работы аспирационных установок при выполнении различных технологических операций, связанных с производством кокса (рассортировки валового кокса, сухого тушения кокса, перегрузках кокса и т. д.). В среднем на одном коксохимическом предприятии в год может образовываться 18 000–20 000 т коксовой пыли [1], которая практически не находит применения из-за сложности с ее погрузкой и транспортировкой. Поэтому ее утилизация для коксохимических производств является весьма актуальной проблемой.

Основное направление переработки мелких классов кокса — это производство брикетов [2, 3] и добавление их в шихту для коксования [4, 5]. Анализ литературных источников подтвердил, что проблема утилизации мелких классов кокса периодически возникает на многих предприятиях [6]. До недавнего времени коксовая пыль, образующаяся при коксохимическом производстве ПАО «Северсталь», экспортировалась. Однако в сложившихся геополитических условиях появилась необходимость использования данного продукта в технологической цепочке комбината.

Технология использования мелкодисперсных коксовых добавок подразумевает добавление образующегося на предприятии отхода аспирации — коксовой пыли — в угольную шихту с последующим получением доменного кокса в процессе высокотемпературного коксования. Коксовая пыль в процессе коксования сама по себе является инертным веществом. Из-за высокой пористости и большой удельной площади поверхности она имеет большую площадь контакта с жидким материалом активных частиц, связь между которыми обуславливается адсорбцией твердых частиц в жидкой фазе. С одной стороны, коксовая пыль уменьшает усадку полукокса и количество выхода летучих материалов на этапе затвердевания, снижая усадку материала на двух этапах. С другой стороны, из-за своей пористой структуры она позволяет уменьшить напряжение, возникающее при сжатии коксового пирога, и снизить пористость кокса.

Технология использования мелкодисперсных добавок при производстве кокса кроме возможности утилизации техногенных отходов также имеет ряд преимуществ, например, позволяет расширить сырьевую базу коксования, снизить закупочную стоимость шихты, позволяет воздействовать на процессы, протекающие на стадии пластического состояния, для улучшения прочностных свойств кокса и увеличения выхода его крупных классов. Изменение характера термического разложения шихт при использовании коксовой добавки объясняется улучшением сорбционного взаимодействия связующего с наполнителем и протеканием в сорбированной массе низкотемпературных реакций поликонденсации, приводящих к выделению легколетучих продуктов с образованием более высокомолекулярных продуктов уплотнения. Таким образом, создаются условия для глубокого протекания поликонденсационных процессов с образованием более устойчивых углеродистых систем [7], но наряду с этим существует вероятность снижения прочностных свойств кокса после реакции с диоксидом углерода (CSR, %).

Данная работа направлена на определение оптимальной доли участия (процента по массе) коксовой пыли в угольной шихте, при котором возможно получение кокса заданного качества.

В рамках лабораторных исследований определялись: 1) возможность участия коксовой добавки в угольной шихте для коксования; 2) влияние определенного процента добавки коксовой пыли на качественные характеристики получаемого кокса.

Лабораторные исследования проводились в несколько этапов. Первоначально в качестве коксовой добавки рассматривалась коксовая мелочь — отсев кокса, имеющий крупность от 0 до 10 мм. Установлено, что внесение в угольную шихту данного продукта значительно снижает качественные характеристики как по показателю CSR («горячей» прочности кокса), так и по показателям M40 / M10 («холодной» прочности

кокса). Дальнейшие эксперименты подтвердили, что негативное влияние на качество кокса связано непосредственно с крупностью коксовой добавки. Поэтому для второго этапа исследований в качестве добавки использовали угольную пыль, имеющую крупность 0 до 0,5 мм.

Лабораторные коксования выполнялись сериями с обязательным участием «нулевой» базы, поэтому результаты влияния процента коксовой добавки на качество получаемого кокса могут быть представлены в виде абсолютного и относительного изменений, что имеет несомненную практическую значимость.

На рисунке 1 представлены зависимости влияния процента коксовой пыли в составе шихты на «холодные» и «горячие» прочностные характеристики кокса. Экспериментально установлено, что влияние процента коксовой добавки на прочностные характеристики кокса не является линейным, рекомендованный процент коксовой добавки в составе шихты не более 5 %. Как видно из приведенных данных, при использовании в лабораторном эксперименте 5 % коксовой пыли не выявлено ухудшения прочности кокса по показателю M10, наметилась тенденция по небольшому улучшению показателя M40, но наблюдалось снижение «горячей» прочности по показателю CSR.

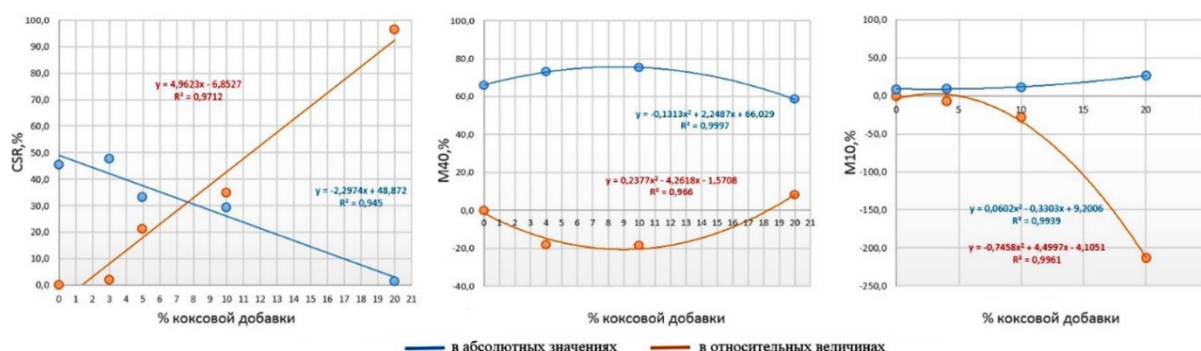


Рис. 1. Графики зависимости процента коксовой добавки в составе шихты на показатели прочности кокса

Анализ исследовательских данных, полученных на лабораторной установке для коксования, показал, что при проведении испытаний в промышленных условиях целесообразно: 1) использовать только коксовую пыль как мелкодисперсную коксовую добавку с содержанием класса -0,5 мм не менее 95 %; 2) вводить в состав шихты для коксования не более 5 % коксовой пыли; 3) применять добавку в качестве замены углей отошающей группы.

Промышленный эксперимент проводили в коксовом цехе № 1 коксоагломерационного производства ПАО «Северсталь» с целью оценки влияния 5 %-й коксовой добавки в шихте на качество кокса. За базовые значения для сравнения был принят сопоставимый период использования равноценной угольной шихты без коксовой добавки. В период проведения эксперимента отсутствовали изменения заданных технологических параметров работы коксовой батареи, то есть можно обоснованно полагать, что результаты промышленного эксперимента и базового периода получены в максимально приближенных друг к другу условиях.

Качественные характеристики кокса, полученного из угольной шихты с 5 %-й коксовой добавкой, и качественные характеристики кокса, полученного в базовый период, приведены в таблице. Как видно из таблицы, показатели технического анализа и «холодная» прочность по M10 не изменились. Показатель «холодной» прочности M40 и средний размер куса выросли, а показатель «горячей» прочности CSR снизился, но остался в границах лабораторного прогноза.

Качественные характеристики кокса

Показатель		Кокс из шихты базового состава	Кокс из шихты с 5 % добавкой коксовой пыли
1		2	3
Технический анализ	Влага	0,3	0,3
	Ad, %	10,8	10,9
	Vdaf, %	0,8	0,7
	Sd	0,61	0,58

Окончание таблицы

1		2	3
Ситовый анализ, %	> 80	16,0	5,7
	60–80	48,8	41,9
	40–60	21,3	30,9
	25–40	9,3	15,4
	0–25	4,6	6,1
Средний размер куска		62,8	62,8
Прочностные характеристики, %	M40, %	75,1	67,2
	M10, %	7,6	7,7
	CSR, %	36,2	44,2
	CRI, %	41,2	38,3

По результатам проведенного промышленного эксперимента можно утверждать, что: 1) разработана и опробована схема подачи мелкодисперсной коксовой добавки в шихту для коксования; 2) подтверждено отсутствие влияния коксовой добавки на технико-эксплуатационные характеристики коксовой батареи; 3) установлено отсутствие повышения ампеража при выдаче кокса и уноса мелких классов с коксовым газом; 4) показана неизменность значения показателя НРХ в смоле; 5) при введении добавки наблюдается укрупнение куска кокса; 6) зависимости по влиянию 5 %-й мелкодисперсной коксовой добавки на качественные характеристики кокса, полученные в лабораторных условиях, подтвердились в промышленных условиях.

На рисунке 2 представлены графики отличия качественных характеристик кокса от базовых значений. На основании полученных в лабораторных условиях зависимостей рассчитаны прогнозные значения качественных характеристик кокса при введении в угольную шихту 5 %-й коксовой добавки. Как видно из представленных графиков, тенденция изменения качественных характеристик кокса совпадает с данными, полученными в лабораторных условиях.

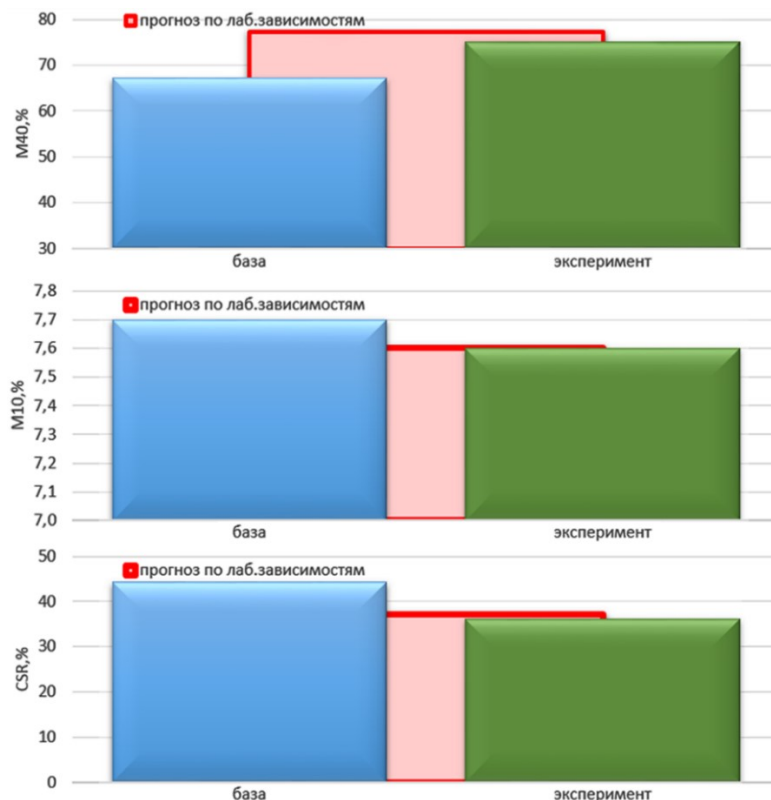


Рис. 2. Сравнение качественных характеристик кокса, полученных в экспериментальный и базовый периоды

В течение 2022 г. технология использования мелкодисперсной коксовой добавки была разработана и внедрена на всех блоках коксовых батарей. Сейчас на ПАО «Северсталь» коксовую пыль используют как один из компонентов основного сырья для производства кокса, что позволяет замещать дорогой спекающийся уголь и снижать закупочную стоимость угольной шихты. Предложенная технология позволяет одновременно решать экологические и экономические вопросы при отсутствии рынков сбыта коксовой пыли. Подтверждённый экономический эффект от реализации данной технологии составляет 29 млн руб. в месяц (348 млн руб. в год).

В целом по результатам проведенных экспериментов можно сделать следующие выводы.

1. Ведение в шихту для коксования коксовых добавок не влияет на технико-эксплуатационные характеристики работы коксовых батарей.
2. Коксовая мелочь без дополнительной обработки (дробления) негативно влияет на качество кокса.
3. Для минимизации негативного влияния на качество кокса коксовая добавка должна иметь мелкодисперсный состав ($-0,5$ мм), а её доля в шихте должна не превышать 5 %.
4. Так как коксовая добавка выполняет роль отошающего компонента шихты, она должна замещать высокометаморфизованные угли.
5. При использовании мелкодисперсной коксовой добавки укрупняется средний размер куска кокса.
6. Подтверждено положительное влияние 5 %-й мелкодисперсной коксовой добавки на показатель качества кокса М40.
7. Использование коксовой пыли в шихте для коксования позволяет утилизировать техногенный отход, повысить экологичность производства и получить дополнительный экономический эффект.

Список источников

1. Солодов В. С., Черкасова Т. Г., Субботин С. П. и др. Анализ возможности применения брикетов из коксовой мелочи в ваграночном производстве ПАО «Кокс» // Кокс и химия. 2019. № 10. С. 18–20.
2. Михновец Д. Н., Дубиняк К. П. Перспективы утилизации коксовой мелочи // Литье и металлургия. 2012. № 3 (67). С. 307–308.
3. Марченко В. А. Разработка способов и технических средств классификации и брикетирования коксовой мелочи // Труды международной научно-практической конференции. Энергетическая безопасность России. Новые подходы к развитию угольной промышленности. Кемерово, 08–11 октября 2013 года. Кемерово, 2013. С. 182–184.
4. Кузниченко В. М., Сытник А. В., Курбак С. С. Технологические аспекты использования коксовой пыли УСТК в шихте для трамбования при производстве доменного кокса // Углекимический журнал. 2015. № 3. С. 32–36.
5. Швед В. С., Березин А. В. Коксовая пыль как компонент угольной шихты // Кокс и химия. 2009. № 5. С. 19–21.
6. Зеленский О. И. Современные направления использования неспекающих добавок в производстве кокса // Углекимический журнал. 2013. № 3. С. 32–34.
7. Еремин А. Я., Глянченко В. Д., Чевлытко Н. К. и др. О механизме действия спекающих органических добавок // Кокс и химия. 1985. № 12. С. 5–7.

References

1. Solodov V. S., Cherkasova T. G., Subbotin S. P. etc. Analiz vozmozhnosti primeneniya briketov iz koksovoj melochi v vagranochnom proizvodstve PAO "Koks" [Analysis of the possibility of using briquettes from coke breeze in the cupola production of PJSC Koks]. *Koks i himiya* [Coke and chemistry], 2019, no. 10, pp. 18–20. (In Russ.).
2. Mikhnovets D. N., Dubinyak K. P. Perspektivy utilizatsii koksovoj melochi [Prospects for recycling coke breeze]. *Lit'e i metallurgiya* [Casting and metallurgy], 2012, no. 3 (67), pp. 307–308. (In Russ.).
3. Marchenko V. A. Razrabotka sposobov i tekhnicheskikh sredstv klassifikatsii i briketirovaniya koksovoj melochi [Development of methods and technical means of classification and briquetting of coke breeze]. *Trudy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. Energeticheskaya bezopasnost' Rossii. Novye podhody k razvitiyu ugol'noj promyshlennosti* [Proceedings of the International scientific and practical conference. Energy security of Russia. New approaches to the development of the coal industry]. Kemerovo, 08–11 October 2013. Kemerovo, 2013, pp. 182–184. (In Russ.).
4. Kuznichenko V. M., Sytnik A. V., Kurbak S. S. Tekhnologicheskie aspekty ispol'zovaniya koksovoj pyli USTK v shihte dlya trambovaniya pri proizvodstve domennogo koksa [Technological aspects of the use of USTK coke dust in the charge for ramming in the production of blast furnace coke]. *Uglekhimicheskij zhurnal* [Coal Chemical Journal], 2015, no. 3, pp. 32–36. (In Russ.).

5. Shved V. S., Berezin A. V. Koksovaya pyl' kak komponent ugol'noj shihty [Coke dust as a component of coal charge]. *Koks i himiya* [Coke and chemistry], 2009, no. 5, pp. 19–21. (In Russ.).
6. Zelensky O. I. Sovremennye napravleniya ispol'zovaniya nespekayushchih dobavok v proizvodstve koksa [Modern trends in the use of non-caking agent in the production of coke]. *Uglekhimicheskij zhurnal* [Coal Chemical Journal], 2013, no. 3, pp. 32–34. (In Russ.).
7. Eremin A. Ya., Gloschenko V. D., Chevlytko N. K. etc. O mekhanizme dejstviya spekayushchih organicheskikh dobavok [On the mechanism of action of caking organic agent]. *Koks i himiya* [Coke and chemistry], 1985, no. 12, pp. 5–7. (In Russ.).

Информация об авторах

Е. В. Карунова — кандидат технических наук;
В. Л. Викулов — мастер;
О. А. Калько — кандидат технических наук, доцент;
И. В. Сорокина — начальник Коксохимической лаборатории.

Information about the authors

E. V. Karunova — PhD (Technical);
V. L. Vikulov — Master;
O. A. Kalko — PhD (Technical), Professor;
I. V. Sorokina — Head of the Laboratory.

Статья поступила в редакцию 14.02.2023; одобрена после рецензирования 04.04.2023; принята к публикации 08.04.2023.
The article was submitted 14.02.2023; approved after reviewing 04.04.2023; accepted for publication 08.04.2023.