

УДК 622.782.6

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВА ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ ОКАТЫШЕЙ НА КОМБИНАТЕ



С. Н. ЕВСТУГИН,
главный специалист,
канд. техн. наук,
s.evstugin@torex-npvp.ru

ООО «НПВП ТОРЭКС», Екатеринбург, Россия



А. А. СОЛОДУХИН,
генеральный директор,
канд. техн. наук



В. Н. МАРТИНСОН,
главный инженер
АО «Лебединский ГОК»,
Губкин, Россия



А. А. УГАРОВ,
первый заместитель
генерального директора
ООО УК «МЕТАЛЛОИНВЕСТ»,
Москва, Россия

Введение

Нынешний юбилей Лебединского горно-обогатительного комбината практически совпадает с 40-летием ввода в эксплуатацию фабрики окомкования (ФОК) с четырьмя обжиговыми машинами конвейерного типа ОК-306 и годовым объемом производства 8,6 млн т неофлюсованных окатышей. Обжиговые машины, эксплуатируемые на комбинате, по тепловой схеме и конструктивным решениям относятся к агрегатам 2-го поколения и введены в эксплуатацию в 1975–1976 гг. (машины № 1 и 2) и в 1977–1978 гг. (№ 3 и 4). Разработчиками технологических и температурно-фильтрационных режимов, тепловой схемы и параметров газоздушных потоков новых обжиговых машин являлись специалисты уральской школы металлургической теплотехники, впоследствии основавшие ООО «НПВП ТОРЭКС». Практически сразу после ввода в эксплуатацию ФОК техническим персоналом комбината и специалистами-теплотехниками в течение 10 лет выполнялись НИОКР и комплексные промышленные испытания по оптимизации качества, состава и физико-химических свойств исходного концентрата, качественных и структурных характеристик и металлургических свойств обожженных окатышей, совершенствованию тепловых схем, конструкции и теплотехнических режимов термооб-

Показаны результаты модернизации производства окатышей на Лебединском ГОКе с участием ООО «НПВП ТОРЭКС». Приведены и оценены основные технические решения по совершенствованию технологии производства железорудных окатышей. Установлено, что в результате выполненных работ существенно снижены энергозатраты на производство, повышена производительность, улучшено качество конечной продукции.

Ключевые слова: окатыши, тепловая схема, металлизация, модернизация, конвейерная обжиговая машина, энергоэффективность.

DOI: 10.17580/gzh.2017.05.06

работки слоя окатышей на обжиговых машинах. За этот период произошли существенные изменения как на рынке железорудных окатышей, так и в технике и технологии их производства [1–18]. Поэтому анализ практики взаимодействия производственных и инжиниринговых компаний является весьма актуальной задачей, в ходе решения которой возможно определить пути дальнейшего повышения эффективности производства. Целью настоящей статьи является обзор продуктивного взаимодействия специалистов ООО «НПВП ТОРЭКС» и АО «Лебединский ГОК».

Модернизация обжиговых машин

К середине 1990-х годов эксплуатируемые в России и других странах СНГ обжиговые машины конвейерного типа в основном имели значительный физический износ, морально устарели, а по своим технологическим и теплотехническим параметрам не соответствовали современным требованиям по энергопотреблению, экологической безопасности производства и качеству производимого окучкованного сырья. Поэтому коренная модернизация производства железорудных окатышей с целью значительного снижения энергетических и материальных затрат и повышения качества готового продукта явилась одним из определяющих условий для развития производства и эффективной работы предприятий в условиях рыночной экономики.

В 1994 г. такая задача была поставлена руководством АО «Лебединский ГОК» перед специалистами НПВП ТОРЭКС – специализированной инжиниринговой компании в области теплотехники и технологии окучкования железорудного сырья.

Для успешного решения задач использовали разработанный специалистами комплексный подход, который, помимо разработки зональных теплотехнических режимов термообработки слоя окатышей, совершенствования тепловых схем и параметров газоздушных потоков обжиговых машин, позволил решить технологические вопросы оптимизации состава шихты окатышей различного назначения, окомкования и производства сырых окатышей. Комплексный подход включал следующие основные этапы и элементы:

Результаты модернизации (усредненные по обжиговым машинам № 2–4)

Показатель	Результаты модернизации		Изменения	
	До	После	Абсолютное значение	%
Производительность машины по окатышам, т/ч	275	313	+38	13,8
Удельный расход электроэнергии на машину, кВт·ч/т	69,8	49,5	-20,3	29,1
Удельный расход природного газа, м ³ /т	19,66	12,2	-7,46	37,9
Удельный объем газов, выбрасываемых в атмосферу, м ³ /т	4540	3000	-1540	33,9

- проведение промышленного обследования и балансовых испытаний технологических линий окомкования и обжиговых машин, подлежащих модернизации;

- разработку оптимальной технологии производства сырых окатышей и теплотехнического режима их термообработки, учитывающих физико-химические и минералогические свойства исходных шихтовых материалов, закономерности процессов при окомковании и термообработке окатышей, требования к качеству и металлургическим свойствам готового продукта;

- разработку или корректировку технологической схемы производства окатышей или отдельных ее участков и элементов с использованием, в том числе, результатов тестовых испытаний и инструментального обследования действующего оборудования;

- создание экономичной тепловой схемы и определение параметров газовоздушных потоков обжиговой машины, оптимальных для заданной технологии;

- обоснование или корректировку распределения технологических зон, конструкций горнов, коллекторов и газоходов обжиговой машины, обеспечивающих заданные теплотехнические параметры и показатели тепловой схемы;

- выбор и оптимизацию типоразмеров комплектующего технологического, теплотехнического и газоочистного оборудования технологической линии, обжиговой машины и ее газовой системы.

В 1995 г. была разработана тепловая схема и определены параметры газовоздушных потоков обжиговой конвейерной машины нового поколения ОК-315Л, обеспечивающей наилучшие в мире технико-экономические показатели [1]. Однако в связи с приоритетом строительства первой установки металлизации окатышей по технологии ХИЛ-III внедрение новой машины было отложено. В то же время появление нового производства, предъявляющего принципиально иные требования к качеству окисленных окатышей, а также непрерывный значительный рост стоимости энергоносителей потребовали технологической модернизации эксплуатируемых обжиговых машин. В 1997–1998 гг. специалистами НПВП ТОРЭКС были разработаны и представлены для реализации на всех четырех машинах фабрики окомкования технические решения по поэтапной модернизации тепловых схем обжиговых машин и их газовоздушных трактов.

Специалисты-теплотехники по результатам полного обследования параметров работы обжиговых машин и газовоздушных потоков разработали для каждого агрегата концепцию и тепловую схему модернизации, технические задания, участвовали в создании проектно-технической документации, осуществляли пускона-

ладочные и режимно-наладочные работы, а также вывод агрегатов на заданный режим.

В 1998–2002 гг. на фабрике окомкования АО «Лебединский ГОК» силами технических служб комбината, технологического персонала ФОК и специалистов НПВП ТОРЭКС проведена реконструкция четырех обжиговых машин, целью которой являлось повышение технико-экономических показателей производства окатышей и улучшение экологической ситуации в регионе. В период ремонтов проводили ряд плановых мероприятий по улучшению состояния механического оборудования как самих обжиговых машин, так и линии сырого окомкования, транспортирования и загрузки сырых окатышей на обжиговые тележки. В ходе реконструкции были реализованы технические решения по модернизации тепловых схем обжиговых машин, которые достаточно полно освещались во многих публикациях, в частности в [1, 2]. Достижению запланированных показателей в первую очередь способствовали:

- ликвидация реверса охлаждающего агента в зоне охлаждения;
- организация трехсекционной зоны сушки;
- изменение схемы газовоздушных потоков машины с увеличением степени рециркуляции горячих газов;
- изменение типоразмера технологических тягодутьевых установок;
- оптимизация температурно-фильтрационного режима термообработки слоя окатышей;
- полная реконструкция системы КИП и базовой технологической автоматизации агрегатов на основе технологических алгоритмов НПВП ТОРЭКС с использованием технических средств фирмы «Сименс».

Показатели достигнутой эффективности вследствие проведенной модернизации тепловой схемы обжиговых машин и совершенствования технологии термообработки окатышей представлены в **таблице**. Результаты модернизации также отражены в публикациях специалистов АО «Лебединский ГОК» и НПВП ТОРЭКС [3].

Совершенствование технологии металлизации

В этот же период специалисты ЦГБЖ АО «Лебединский ГОК», компаний Midrex, НПВП ТОРЭКС, Института металлургии УрО РАН осуществляли пуск и освоение технологии производства металлизированных брикетов на установке ХИЛ-III (ГБЖ-1). Задача усложнялась необходимостью адаптации стандартной технологии металлизации применительно к магнетитовым окатышам из концентрата КМА.

К моменту пуска установки ХИЛ-III на комбинате отсутствовали как опыт ее работы на местном сырье, так и технология произ-



водства окатышей, металлургические свойства которых были бы приемлемыми для реактора данного типа. С этих позиций окисленные окатыши Лебединского ГОКа являются «трудным» сырьем для процесса прямого получения железа по схеме ХИП-III. Главные причины — большая степень разупрочнения окатышей при восстановлении и высокая пластичность восстановленного продукта. Поскольку носителем металлургических свойств окатыша является его структура, особенно свойства и структура связки, были проведены системные исследования, в результате которых была кардинальным образом изменена схема, определяющая минералообразование связки: с $\text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{CaO} - \text{SiO}_2$ на $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{CaO} - \text{SiO}_2$. Это позволило усовершенствовать технологию и превзойти проектные показатели по выпуску горячебрикетированного железа. В частности, производительность установки возросла на 12,8 %, а степень металлизации — с 89 до 94,5 %.

Внедрение на ГБЖ-1 новой технологии металлизации, в свою очередь, потребовало внесения изменений в конструкцию установки и режимы ее работы, а также разработки и реализации на обжиговой машине ОК-306 № 1 измененной по сравнению с другими тепловой схемы, технологических и теплотехнических режимов термообработки, обеспечивающих заданное качество, состав и металлургические свойства окатышей. В частности, в результате модернизации обжиговой машины производительность была увеличена со 165 до 225 т/ч, удельный расход топлива снижен с 26 до 19 м³/т, электроэнергии — на 33 % при значительном повышении качества производимых окатышей.

Приведенные технические показатели убедительно свидетельствуют о высокой эффективности проведенной реконструкции, подтверждением чему явилось получение авторским коллективом в составе сотрудников АО «Лебединский ГОК», ООО «НПВП ТОРЭКС» и Института металлургии УрО РАН премии Правительства РФ в области науки и техники за 2002 г. «За разработку энергосберегающих, экологически безопасных технологий производства окатышей различного назначения на базе модернизации обжиговых машин конвейерного типа».

Перспективы дальнейшего сотрудничества

Поэтапная модернизация, выполненная на комбинате в основном собственными силами и совмещенная с плановыми ремонтами, обеспечила высокую эффективность и позволила, кроме того, решать высокотратные задачи комплексной автоматизации агрегатов.

Анализ работы модернизированных обжиговых машин позволил разработать технические предложения, направленные на дальнейшее увеличение производительности, снижение удельных расходов энергоресурсов и улучшение экологической обстановки в регионе. Последнее в свете основных тенденций развития мирового производства в целом и металлургии в частности для России является особенно актуальным.

Масштабность металлургического производства обязывает к его непрерывному совершенствованию, в особой мере это относится к высокотехнологичному производству Лебединского ГОКа. Вводится в эксплуатацию III очередь завода ГБЖ, в рамках данного проекта приводится в соответствие вся инфраструктура комбината, включая мощности по подготовке исходного сырья для установок металлизации.

Для определения наиболее эффективных направлений модернизации сотрудниками комбината совместно с НПВП ТОРЭКС организовано и проведено комплексное обследование металлоконструкций, технологии и оборудования производства окатышей. Результаты этого обследования явились базой для разработки направлений стратегического развития ФОК [16–18].

В настоящее время на фабрике окомкования реализуется целый комплекс мероприятий. При этом, помимо расширения производства, как правило, повышается уровень применяемых технологий. Например, замена на обжиговых машинах классических газоочисток циклонного типа на современные электрофильтры, кроме улучшения газодинамики и эффективности термообработки, способствует решению экологических задач [4].

Сооружаются дополнительные мощности по приему, складированию, сушке и измельчению известняка и боксита — флюсуемых добавок для окисленных окатышей. Последовательно на всех четырех обжиговых машинах выполняется техническое перевооружение основного оборудования для окомкования и производства обожженных окисленных окатышей. Реализованные мероприятия уже на промежуточных этапах модернизации дают заметный эффект в плане повышения качества продукта и сокращения энергетических затрат на его производство. Технологическое сопровождение реализации отдельных меро-

приятый в рамках своей компетенции также выполняет НПВП ТОРЭКС.

Кроме того, решаются такие актуальные экономические задачи, как расширение географии сбыта на Азиатско-Тихоокеанский регион. С этой целью инжиниринговой компанией разработана технология производства неофлюсованных окатышей с ударной прочностью не менее 95 % по классу +5 мм, на сжатие — более 240 кг/ок. с сохранением объемов производства при минимальном увеличении удельного расхода энергоносителей. Полная реализация данной технологии связана с определенными изменениями тепловой схемы обжиговых машин, которые можно считать этапом планомерной реализации стратегии развития ФОК.

На следующем этапе модернизации предполагается внедрить на ОК-306 самые совершенные технологические решения по обжиговым машинам четвертого поколения, обеспечивающие максимальную энергетическую эффективность и экологическую безопасность. Ключевые изменения коснутся основных элементов тепловой схемы:

- перераспределение площадей зон охлаждения;
- реконструкция зоны охлаждения 1 с организацией коллекторов прямого перетока;

- изменение системы отопления горна и замена двухпроводных горелок на инжекционные;
- модернизация газоходного тракта дымососа Д4.

Заключение

По результатам теплотехнических расчетов, реализация вышеперечисленных технических решений позволит повысить производительность обжиговых машин ОК-306М на 10–15 % от достигнутого в настоящее время уровня, снизить удельный расход природного газа до 9–10 м³/т и существенно уменьшить вредные выбросы в атмосферу при сохранении высокого качества готового продукта. Полная реализация выбранной стратегии развития даст возможность комбинату получить самый совершенный тепловой агрегат для производства железорудных окатышей, построенный на базе обновленной обжиговой машины, успешная эксплуатация которой продолжается уже более 40 лет.

Библиографический список

См. англ. блок. **ТХ**

«GORNYI ZHURNAL», 2017, № 5, pp. 32–35
DOI: 10.17580/gzh.2017.05.06

Improving production of iron ore pellets

Information about authors

S. N. Evstyugin¹, Chief Specialist, Candidate of Engineering Sciences, s.evstyugin@torex-npvp.ru

A. A. Solodukhin¹, Chief Executive Officer, Candidate of Engineering Sciences

V. N. Martinson², Chief Engineer

A. A. Ugarov³, Vice Chief Executive Officer – Director of Production

¹ TOREX NPVP, Ekaterinburg, Russia

² Lebedinsky GOK, Gubkin, Russia

³ Metalloinvest Holding, Moscow, Russia

Abstract

This jubilee of Lebedinsky GOK (Mining and Processing Plant) actually coincides with the time when its pelletizing factory equipped with the four conveyor-type roasting machines ОК-306 celebrates the 40th year of operation. Over a distance of these years, process flowsheets, temperature and filtration conditions and air-gas flow parameters have been persistently improved.

The article presents the results of pellet production modernization at Lebedinsky GOK in partnership with TOREX NPVP. The key engineering solutions on technological advancement in the production of oxidized and iron-rich pellets are described and valued. The retrofit of roasting machines has essentially enhanced their efficiency, reduced energy consumption and abated pollutant emission. The implementation of all target decisions will provide the plant with the complete heating installation for the production of iron-rich pellets.

Keywords: pellets, heating flowsheet, metallization, conveyor roasting machine, energy efficiency.

References

1. Abzalov V. M., Gorbachev V. A., Evstyugin S. N. Efficient of modernization of pelletizing machines ОК-306 and ways of further improvement of production of iron ore pellets in the JSC «Lebedinsky GOK». *Stal*. 2003. No. 1. pp. 6–10.
2. Evstyugin S. N., Mayzel G. M., Malyavin B. Ya. Improvement of technology of iron ore pellets production on conveyor pelletization machines. *Stal*. 2002. No. 4. pp. 2–5.
3. Abzalov V. M., Bragin V. V., Nevolin V. N. et al. Modernization of roasting machines within the commonwealth of independent states. *Stal*. 2010. No. 9. pp. 7–9.
4. Abzalov V. M., Bragin V. V., Kleyn V. I., Evstyugin S. N., Solodukhin A. A. Thermal systems of conveyor roasting machines. *Stal*. 2010. No. 9. pp. 10–12.

5. Bokovikov B. A., Bragin V. V., Malkin V. M., Naydich M. I., Solodukhin A. A. Mathematical model of conveyor pelletization machine as an instrument for optimization of thermal scheme of aggregate. *Stal*. 2010. No. 9. pp. 33–37.
6. Abzalov V. M., Evstyugin S. N., Makarov Yu. G., Maltseva V. E., Sapozhnikova T. V. Some aspects of technology of coating deposition on pellets, intended for the processes of direct iron obtaining. *Stal*. 2003. No. 9. pp. 15–17.
7. Bokovikov B. A., Bragin V. V., Gruzdev A. I., Naydich M. I., Shvydkiy V. S. Relation between the productivity and fuel consumption in roasting machines. *Stal*. 2014. No. 8. pp. 38–42.
8. Kozub A. V., Panchenko A. I., Efendiev N. T., Ismagilov A. A., Solodukhin A. A., Gorbachev V. A., Chesnokov Yu. A., Leontev L. I., Burtsev D. L. Improving blast-furnace efficiency by regulating the properties of iron-ore pellets. *Stal*. 2016. No. 10. pp. 4–8.
9. Abzalov V. M., Evstyugin S. N., Kleyn V. I. Thermal performance of conveyor pelletizing machines. Ekaterinburg : UrO RAN, 2012. 247 p.
10. Abzalov V. M., Gorbachev V. A., Evstyugin S. N., Kleyn V. I., Leontev V. I., Yurev B. P. Physical-chemical and thermal technical basis of production of iron ore pellets. Ekaterinburg : Mezhtionalnyy izdatelskiy tsentr, 2015. 334 p.
11. G. M. Mayzel, B. A. Bokovikov, V. M. Malkin, V. M. Abzalov, V. I. Kleyn, S. N. Evstyugin. Method of management of pellets roasting on conveyor machine. Patent RF, No. 2229074. Applied: 13.02.2003. Published: 20.05.2004. Bulletin No. 14.
12. V. M. Abzalov, V. I. Kleyn, S. N. Evstyugin, V. N. Nevolin, A. A. Solodukhin. Method of three-stage drying of pellets on roasting machine. Patent RF, No. 2350664. Applied: 06.09.2007. Published: 27.03.2009. Bulletin No. 9.
13. Midrex. Available at: <http://www.midrex.com/process-technologies/the-midrex-process> (accessed: 25.03.2017).
14. LLC "NPVP TOREKS". Available at: <http://torex-npvp.ru/index.php> (accessed: 25.03.2017).
15. Huang Z., Yi L., Jiang T. Mechanisms of strength decrease in the initial reduction of iron ore oxide pellets. *Powder Technology*. 2012. Vol. 221. pp. 284–291.
16. Sivrikaya O., Arol A. I. An investigation of the relationship between compressive strength and dust generation potential of magnetite pellets. *International Journal of Mineral Processing*. 2013. Vol. 123. pp. 158–164.
17. Hasanbeig A., Price L., Chunxia Z., Aden N., Xiuping L., Fangqin S. Comparison of iron and steel production energy use and energy intensity in China and the U.S. *Journal of Cleaner Production*. 2014. Vol. 65. pp. 108–119.
18. Haibao Yi, Haitao Yang, Li Ming, Han Bin, Zheng Lujing. Study on Open-Pit Precision Control Blasting of Easily Weathered Rock and its Application. *8th International Conference on Physical Problems of Rock Destruction*. China, 2014. pp. 157–160.