



Рис. 4. Темп изменения  $v$  при каждом последующем  $P$ : а - при  $D = 6$  м; б - при  $D = 8$  м

**Выводы и направления дальнейших исследований.** Таким образом, в ходе исследования изменения скорости проходки ствола от эксплуатационной производительности бурового оборудования установлены соответствующие зависимости, охватывающие широкий круг условий. Отмечено также, что, начиная с определенного момента, рост производительности средств бурения практически не приводит к увеличению темпов проходки ствола и дальнейшее наращивание усилий в этом направлении нецелесообразно.

В ходе дальнейших исследований было бы полезно рассмотреть вопрос о зависимости оптимальных организационных параметров сооружения протяженных выработок от различных факторов.

#### Список литературы

1. <http://ru.wikipedia.org/wiki/Java>.
2. Герберт Шилдт. Java. Полное руководство. - М.: Вильямс, 2012. - 1104 с.

Рукопись поступила в редакцию 04.02.14

УДК 669.162.16

Д.А. КАССИМ, канд. техн. наук, доц.

МетИ ГВУЗ «Криворожский национальный университет»

### ВЛИЯНИЕ КАЧЕСТВА АГЛОМЕРАТА НА ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДОМЕННОЙ ПЛАВКИ

Выполнен анализ возможностей достижения высокого уровня технико-экономических показателей работы доменной печи объемом  $2700 \text{ м}^3$  при загрузке в печь высококачественного агломерата и прочного, мало истираемого кокса, совместно с применением технологии загрузки кускового антрацита, а также обеспечении температуры дутья на уровне  $1100 \text{ }^\circ\text{C}$  и давления газа под колошником до  $200 \text{ кПа}$ .

**Проблема и ее связь с практическими задачами.** Постоянные изменения в сырьевой базе коксования и производства железорудного сырья способствуют сохранению среди актуальных для исследования проблем вопрос оптимизации состава и качества шихтовых материалов для доменной плавки.

Наряду с повышением качества кокса наиболее эффективным мероприятием, позволяющим существенно улучшить технико-экономические показатели работы доменных печей, является улучшение металлургических свойств железорудной части доменной шихты.

**Анализ исследований и публикаций.** Агломерация остается доминирующим способом подготовки сырья к доменной плавке. Требования к качеству агломерата давно определены и практически не меняются. Это - максимально высокое содержание железа, минимальное количество вредных примесей, постоянство химического и гранулометрического составов, высокая восстановимость и газопроницаемость насыпной массы, высокая прочность и низкое содержание мелких фракций.

Из исследований Е.Ф. Вегмана известно, что наименьшей прочностью обладает агломерат основностью 1,3-1,4 [1]. По данным А.Н. Рамма [2] прочность офлюсованного агломерата минимальна в пределах изменения его основности от 0,9 до 1,4. Эти оценки подтверждены практикой при использовании офлюсованного агломерата разной основности. Так, например, по

данным авторов [3] при увеличении основности агломерата с 0,1 до 1,25 содержание фракции 0-5 мм повысилось с 6,0 до 21,0 %. При этом резкий рост содержания мелкой фракции имел место при увеличении основности выше 0,8 ед.

По информации И.Ф. Курунова [4] о материалах международного конгресса по теории и технологии доменной плавки, состоявшегося в 2009 году в Шанхае, в последнем десятилетии в Китае в доменные печи загружают шихту, состоящую из 65-80 % офлюсованного агломерата и 20-35 % окатышей, на некоторых печах используют также до 5-10 % руды. При этом в Китае производится только высокоосновный агломерат ( $\text{CaO/SiO}_2 = 1,7-2,55$ ) с высоким показателем холодной прочности 72-76,5 %, содержанием железа 55,5-58,5 % и долей фракции 0-5 мм 3,3-4,1 %. В доменные печи Японии также загружаются окатыши и высококачественный агломерат с высоким содержанием железа и основностью 1,7-2,11. Шихта большинства доменных печей Северной Америки состоит из офлюсованных и/или неофлюсованных окатышей и руды. Агломерат применяется только на 11 доменных печах в количестве 4-61 %. Большинство доменных печей Западной Европы работают на шихте состоящей из агломерата, окатышей и железной руды. Шихта большинства доменных печей России состоит из 60-90 % агломерата и 10-40 % окатышей. Содержание фракции 0-5 мм в агломерате - 10-15 %. Основность агломерата ( $\text{CaO/SiO}_2$ ) составляет 1,15-1,7 ед.

В 2009 году в агломерате, производимом на металлургических предприятиях Украины, содержание железа изменялось в диапазоне 51,83-56,94 % при изменении основности агломерата от 1,2 до 1,77 по  $\text{CaO/SiO}_2$ . При этом агломерат с основностью 1,67-1,77 производят только на аглофабрике металлургического комбината “Азовсталь”, в шихте доменных печей которого используют до 70-75 % окатышей. Агломерат приблизительно такой же основности в свое время производили и на агломерационной фабрике НКГОК-2, (в настоящее время ГОК-2 “АрселорМиттал Кривой Рог”).

**Постановка задачи.** Анализ современных требований к свойствам агломерата подтвердил, что потенциальный эффект от значительного увеличения качества агломерата достаточно велик, поэтому в настоящей работе поставлена задача исследовать и выполнить сравнительный анализ результатов работы доменной печи №8 ПАО “АрселорМиттал Кривой Рог” (АМКР) при загрузке в нее агломерата НКГОК-2.

**Изложение результатов исследований.** Аглофабрика НКГОК-2 была введена в эксплуатацию в марте 1962 года. В 1974 году в связи с необходимостью обеспечения высококачественным сырьем крупнейшей в мире на тот период времени доменной печи №9 объемом 5000 м<sup>3</sup> была начата реконструкция аглофабрики №2 по проекту института Гипросталь. Реконструкция была завершена в 1976 году. Аггоспек с агломерационной ленты последовательно проходит стадию дробления в щековой дробилке, горячее грохочение, охлаждение на линейном пластинчатом охладителе и на последней стадии - окончательное грохочение перед отправкой в доменный цех. С этого периода на доменную печь №9 стал поступать охлажденный, освобожденный от мелочи высокоосновный агломерат.

В периоды проведения различных ремонтов доменной печи №9 высококачественный агломерат НКГОКа-2 поступал и на доменную печь №8 объемом 2700 м<sup>3</sup>, которая обычно работала на агломерате ЮГОКа или НКГОКа-1 основностью 1,2-1,25, отличающемся худшими прочностными качествами и большим содержанием фракции 0-5 мм (17-25 %). Технико-экономические показатели доменной плавки на печи №8 в этот и последующие периоды загрузки в нее агломерата НКГОК-2 (ГОК-2) приведены в табл. 1.

Таблица 1

Технико-экономические показатели доменной печи объемом 2700 м<sup>3</sup>

Показатели	Периоды						
	18.02.77-23.02.77	24.09.80-4.11.80	17.08.97-31.08.97	01.12.08-31.12.08	01.04.09-30.04.09	01.06.09-30.06.09	29.05.10-04.06.10
1	2	3	4	5	6	7	8
Номер периода	1	2	5	6	7	8	9
Длительность периода, сут.	6	42	15	31	30	30	7
Производительность,	6012	5232	3586	4798	4785	4803	5108

т/сут.							
Приведенная производительность, т/сут.		6048	5083	6867	6498	6289	6638
Расход кокса, кг/т	474	594	646	546	457	462	471
Приведенный расход кокса, кг/т		535	483	375	365	390	372
Расход антрацита, кг/т	0	0	0	0	35	42,3	35,3
Интенсивность (К+А), кг/м <sup>3</sup> · сут.	1055	1151	858	970	872	898	958
Дутье: расход, м <sup>3</sup> /мин	4915	4894	4388	5048	4654	4616	4741
давление, кПа (изб.)	335	340	197	270	272	259	244
температура, °С	1095	959	868	839	934	920	881
Расход природного газа, м <sup>3</sup> /т	79	88	73,2	65,3	64	66,4	62
Содержание кислорода в дутье, %	26,5	25,9	25,0	25,1	25,2	25,9	27,0
Анализ чугуна, %:							
Si	0,79	0,80	1,11	0,88	0,91	0,75	0,72
Mn	0,66	0,62	0,33	0,32	0,33	0,28	0,48
S	0,042	0,034	0,025	0,015	0,015	0,02	0,016
P	0,056	0,036	0,039	0,065	0,076	0,066	0,094
Текущие простои, %	0,23	2,36	2,8	2,14	2,14	1,82	0
Тихий ход, %	0	2,26	1,0	0,09	0	0	0
Содержание Fe во всей шихте, %	55,1	53,76	56,39	53,85	54,31	54,01	53,96
Рудная нагрузка на кокс, кг/кг	3,14	2,76	2,71	3,32	3,86	3,7	3,45
Расходы, кг/т: железная руда	0	0	0	2,1	4,7	3,7	0
агломерат ЮГОК	0	0	0	0	0	0	0
агломерат МП	0	0	0	140	0	0	0
агломерат ГОК №1	0	0	0	140	2,1	3,7	777
агломерат ГОК №2	1075	1247	1053	1465	1638,3	1577,1	796
окатыши	655	444	695	0	0	0	0
шлак обогащенный	0	0	0	0	41,8	41,5	38,0
скрап металлический	0	0	0	0	52,7	50,5	54,0
МОЖ	0	0	0	41,6	39,4	46,5	37,0
известняк	0	27,4	70	22,5	8,4	25,7	18,6
Качество кокса, %: зола	10,1	10,5	10,7	13,5	13,3	12,3	13,4
сера	1,73	1,46	1,34	0,77	0,8	0,91	0,94
M <sub>25</sub>	88,0	88,0	87,0	86,7	84,3	85,3	82,5
M <sub>10</sub>	5,9	6,4	7,1	8,8	9,3	8,9	9,1
+80 мм	4,1	4,0	9,8	16,4	10,1	11,3	5,6
-25 мм	2,2	2,5	3,4	4,7	5,9	5,5	8,4
CSR	нет св.	нет св.	нет св.	46,2	40,2	39,8	40,0
CRI	нет св.	нет св.	нет св.	38,4	41,9	41,2	43,0
Фракция -5 мм, %:							
агломерат ЮГОК	–	–	–	–	–	–	–
агломерат МП	–	–	–	20,4	–	–	–
агломерат ГОК №1	–	–	–	14,5	13,2	13,4	14,8
агломерат ГОК №2	10,5	8,6	9,0	5,3	4,7	4,3	8,6
окатыши	6,1	5,3	5,1	–	–	–	–
Средневзвешенная фракция -5 мм, %	6,5	7,7	7,4	7,3	4,7	4,3	11,7

Впервые рядовой агломерат ЮГОКа заменили на грохоченный, освобожденный от мелочи, охлажденный, высокоосновный агломерат (основностью 1,57), НКГОКа-2 в феврале 1977 г. [5, 6].

За этот период времени доменная печь была в различном техническом состоянии [7], на печи изменяли диаметр и количество фурм, сменился тип засыпного аппарата, изменялась конструкция горна и система охлаждения, изменялась система загрузки и сильно выросла масса подачи, изменялись способы подвода природного газа в фурму печи и т.д. Дополнительно к технологическим факторам на работу доменной печи влияли и кризисные явления в экономике Украины, когда производительность печи значительно ограничивалась.

С 1980 года основность агломерата ГОК-2 стала снижаться до уровня 1,38-1,4 и в настоящее время основность этого агломерата составляет 1,22 ед., но технология дробления аглоспека, его охлаждения, горячего и холодного грохочения осталась, и сегодня этот агломерат – наиболее качественный в Украине.

Самая высокая фактическая производительность доменной печи была получена в первом (февраль 1977 г.) периоде использования агломерата НКГОК-2 - 6012 т/сут., а самый низкий фактический расход кокса в седьмом периоде (апреле 2009 года) - 457 кг/т. В первом периоде загрузка агломерата ГОК-2 совпала с испытанием на печи технологии чередования фурм различного диаметра (190 и 207 мм) [6,8]. В периоде, когда был достигнут минимальный расход кокса в печь стали загружать антрацит, а в агломерате ГОК-2 снизилось содержание фракции 0-5 мм до 4,7 %.

Учет влияния изменения технологических факторов на удельный расход кокса и производительность печи, т.е. приведение показателей плавки всех периодов к условиям работы печи в первом периоде по методике [9], показал, что даже в период кризиса в горно-металлургическом комплексе в августе 1997 года, когда производительность печи ограничивалась и составила в среднем 3586 т/сут., а расход кокса был 646 кг/т, приведенные показатели работы печи были на достаточно хорошем уровне: приведенная производительность - 5083 т/сут., приведенный расход кокса 483 кг/т.

Самые лучшие приведенные показатели работы печи - производительность 6867 т/сут. (шестой период) и удельный расход кокса 365 кг/т (седьмой период) пришлось на период вывода печи на нормальный режим работы после последнего капитального ремонта с реконструкцией [7].

**Выводы и направления дальнейших исследований.** Выполненные в работе исследования позволили сделать вывод о том, что при использовании в доменной плавке кокса с показателями качества, соответствующими первому периоду, обеспечении температуры дутья на уровне 1100 °С и давления газа под колошником до 200 кПа, а также при использовании технологии загрузки в печь кускового антрацита, удельная производительность печи может составлять 2,4-2,45 т/м<sup>3</sup>-сут., а удельный расход кокса - 365-390 кг/т чугуна, что соответствует высокому уровню современной доменной плавки.

Анализ возможности получения прочного агломерата для современной доменной плавки показал, что существуют два реальных пути повышения прочности агломерата, в рамках которых необходимо вести дальнейшие исследования: механическая обработка агломерата после спекания по технологии, применяемой на АФ №2; производство агломерата основностью  $\geq 1,6$  или 0,8-0,9 ед.

Первый путь связан с большими капитальными затратами на реконструкцию аглофабрик, а также с необходимостью повторной агломерации значительной доли аглоспека. Второй путь – более предпочтителен, но требует при основности агломерата  $\geq 1,6$  использования в шихте доменной плавки неофлюсованных окатышей или кусковой железной руды, а при основности 0,8-0,9 - увеличения расхода сырого известняка в доменной шихте, что при существующей крупности загружаемого в печь известняка приводит к дополнительному расходу кокса на тонну чугуна. Возможен также вариант использования в шихте доменной плавки агломератов двух основностей, но в этом случае могут возникать организационные затруднения.

#### *Список литературы*

1. Вегман Е.Ф. Окискование руд и концентратов. – М.: Металлургия. – 1976. – 224 с.
2. Рамм А.Н. Современный доменный процесс. – М.: Металлургия. – 1980. – 304 с.
3. Плевако В.С., Емельянов А.В., Гринвальд А.А. Качество сырья и эффективность доменного производства, днепропетровск: Промінь. – 1971. – С.8.
4. Курунов И.Ф. Состояние и развитие доменного производства Китая, Японии, Северной Америки, Западной Европы и России (по материалам пятого международного конгресса по теории и технологии производства чугуна) // Бюллетень черная металлургия оао “Черметинформация”. – 2010. – №3. – С. 32-49.
5. Прокофьев И.А. Работа доменной печи с использованием освобожденного от мелочи высокоосновного агломерата / И.А. Прокофьев, И.Г. Товаровский, В.И. Бондаренко и др. // Сталь. – 1979. – №5. – С. 332-333.
6. Донсков Е.Г. Работа доменной печи на фурмах различного диаметра с использованием освобожденного от мелочи высокоосновного агломерата // Е.Г. Донсков, В.П. Лялюк, Р.Д. Каменев и др. // Металлургическая и горно-рудная промышленность. – 1982. – №3. – С. 7-9.

7. **Шеремет В.А.** Опыт эксплуатации, выдувки, ремонта и пуска после реконструкции доменной печи объемом 2700 м<sup>3</sup> / **В.А. Шеремет, В.П. Лялюк, А.В. Кекух** и др. // Бюллетень Черная металлургия ОАО «Черметинформация». – 2010. – №3. – С. 50-59.

8. **Лялюк В.П.** Исследование работы доменных печей при чередовании фурм различного диаметра // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2001. – №5. – С. 11-15.

9. **Товаровский И.Г., Лялюк В.П.** Эволюция доменной плавки. – Днепропетровск: Пороги, 2001. – 424 с.

Рукопись поступила в редакцию 01.10.13

УДК 622.785: 669.162

**В.П. ЛЯЛЮК**, д-р техн. наук, проф., **Ф.М. ЖУРАВЛЕВ**, **Д.А. КАССИМ**, **В.П. СОКОЛОВА**, кандидаты техн. наук, доц., **МетИ ГВУЗ «Криворожский национальный университет»**  
**П.И. ОТОРВИН**, канд. техн. наук, **ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог»**  
**В.Н. ЗАХАРЧЕНКО**, канд. техн. наук, **Объединение предприятий «Металлургпром»**

## **ОЦЕНКА КОЛЕБЛЕМОСТИ КАЧЕСТВА АГЛОМЕРАТА АГЛОЦЕХОВ АМКР**

Агломерационные цеха аглодоменного департамента ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог» нуждаются в глубокой реконструкции с использованием как новой технологии так и нового технологического оборудования, начиная с рудного двора и заканчивая обработкой готовой продукции, с целью производства высококачественного агломерата для современной доменной плавки.

**Ключевые слова:** агломерат, содержание железа, основность, прочность, оборудование.

Особенности доменной плавки с высокими технологическими показателями и низкими экономическими затратами в значительной мере определяются качеством кокса. Вторым по значимости в структуре себестоимости чугуна является качество железорудных материалов, которое должно обеспечивать получение заданных свойств чугуна (химический состав, температуру) и высоких технико-экономических показателей доменной плавки.

В то же время результаты многих исследований и мирового опыта показали, что повышение качества агломерата является одним из самых эффективных направлений совершенствования технологии доменной плавки [1]. Причем, без качественного агломерата современные энергосберегающие технологии в доменном производстве не обеспечивают кардинальное снижение расхода кокса, уменьшение себестоимости и повышение конкурентоспособности товарного чугуна на внутреннем и внешних рынках.

Сравнение состояния технологии доменной плавки в Украине и за рубежом, показывает, что, в Украине из-за нестабильных, прежде всего сырьевых условий доменной плавки, доменные печи работают с высоким (до 0,8-0,9 %) содержанием кремния в передельном чугуне, при расходе известняка - 50-70 кг/т.

Кроме того, на доменных печах металлургических комбинатов Украины выше и удельный расход железорудных материалов, причем различие этого показателя между передовыми индустриально развитыми странами и Украиной составляет порядка 200-300 кг/т: 1787-1784 кг/т на украинских заводах и 1452-1536 кг/т на доменных печах Германии и Великобритании [2]. Не лучше ситуация у доменщиков Украины и в сравнении с родственными металлургическими предприятиями России. Отставание показателей качества украинского агломерата от современного уровня, достигнутого на зарубежных предприятиях, приводит к потерям выплавки чугуна доменных цехов до ~7 млн т чугуна в год и к перерасходу кокса до 5,4 млн т/год [3].

В условиях развития ГМК Украины сохраняется традиционный сортмент окучкованных железорудных материалов доменной плавки: только агломерат необходимой основности; высокоосновный агломерат и низкоосновные окатыши, либо агломерат, низкоосновные окатыши и сырой флюс. Производственные мощности всех агломерационных цехов, введенных в эксплуатацию в 50-60-х годах прошлого столетия, технологически и морально устарели и не могут обеспечить доменные цеха необходимым количеством качественного агломерата, тем более в условиях необходимости увеличения в аглошихте мелкодисперсных материалов [4].

Современные требования к качеству агломерата для доменного производства сводятся к следующему: