АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ И УСЛОВИЙ УЛУЧШЕНИЯ РАБОТЫ ДОМЕННОГО ЦЕХА АО “УРАЛЬСКАЯ СТАЛЬ”

Д. Р. ГАНИН¹, инженер, dmrgan@mail.ru;

В. Г. ДРУЖКОВ², канд. техн. наук, доцент кафедры металлургии черных металлов;

А. А. ПАНЫЧЕВ¹, канд. техн. наук, доцент кафедры металлургических технологий и оборудования;

А. Ю. ФУКС³, ведущий инженер-технолог центральной лаборатории

(¹ Новотроицкий филиал ФГАОУ ВО “Национальный исследовательский технологический университет “МИСиС”, Россия, Оренбургская обл., г. Новотроицк;

² Институт металлургии, машиностроения и металлообработки Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова, Россия, Челябинская обл., г. Магнитогорск;

³ АО “Уральская сталь”, Россия, Оренбургская обл., г. Новотроицк)

Аннотация. Для выработки мероприятий по совершенствованию технологии доменной плавки необходимо осуществить анализ производственных данных о работе доменных печей. Целью исследования была оценка технического уровня доменного производства в условиях АО “Уральская сталь”. Приведены данные о химическом составе производимых чугунов и шихтовых материалов, расходе железорудных материалов, гранулометрическом составе агломерата, химическом составе и прочностных характеристиках окатышей, механической прочности и гранулометрическом составе кокса. Представлены результаты анализа производственных показателей работы доменных печей № 1–4 полезным объемом 1007, 1033, 1513 и 2002 м³ соответственно за пятилетний период. Из анализируемой выборки были исключены периоды нестабильной работы печей с длительными остановками и ремонтами. Установлено, что содержание в агломерате железа и оксида магния находится на более низком уровне, чем на большинстве агломерационных фабрик стран Европейского экономического сообщества и Японии. Содержание мелочи менее 5 мм в агломерате значительно превышает этот показатель для агломератов, производимых на других агломерационных фабриках России, а также промышленно развитых стран. Лабораторными исследованиями и опытно-промышленными испытаниями в АО “Уральская сталь” подтверждена целесообразность использования в агломерационном процессе подаваемых в пульпе в агломерационную шихту при окомковании минеральных добавок: бурожелезняковых руд, бентонитовых глин, серпентинитомангезитов, что позволяет увеличить выход годного агломерата, производительность агломерационных установок, прочность агломерата на удар. Установлена необходимость оптимизации химического состава шлаков доменных печей по отношениям $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ и CaO/MgO для улучшения условий образования гарнисажа и предотвращения массового прогорания холодильников. С целью повышения технико-экономических показателей работы доменных печей в АО “Уральская сталь” предложены мероприятия по совершенствованию технологии доменной плавки на предприятии.

Ключевые слова: АО “Уральская сталь”, технология доменной плавки, выход годного агломерата, минеральные добавки, содержание мелочи в агломерате, производительность агломерационных установок, прочность агломерата.

Ссылка для цитирования. Ганин Д.Р., Дружков В.Г., Паньчев А.А., Фукс А.Ю. Анализ показателей и условий улучшения работы доменного цеха АО “Уральская сталь” // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2018. № 12. С. 46–54.

Doi: 10.32339/0135-5910-2018-12-46-54

ANALYSIS OF INDICES AND OPERATION IMPROVEMENT CONDITIONS OF JSC “URAL STEEL” BLAST FURNACE SHOP

D. R. GANIN¹, engineer, dmrgan@mail.ru; V. G. DRUZHKOV², PhD (Tech), Associate Professor, Dpt Metallurgy of Ferrous Metals; A. A. PANYCHEV¹, PhD (Tech), Associate Professor, Dpt Metallurgical Technologies and Equipment;

A. YU. FUKS³, Leading engineer – technology engineer of Central Lab.

(¹ Novotroitsk branch of FGAOU VO “National Research Technology University “MISiS”,
Russia, Orenburg rgn., Novotroitsk;

² Institute of Metallurgy, Machine Building and Metal processing of Magnitogorsk State Technical University
after G.I. Nosov, Russia, Chelyabinsk rgn., Magnitogorsk;

³ JSC “Ural Steel”, Russia, Orenburg rgn., Novotroitsk)

Abstract. For elaborating of measures to improve the blast furnace technology, it is necessary to analyze production data related to blast furnaces operation. Estimation of technical level of blast furnace production in conditions of JSC “Ural Steel” was the aim of

the study. Data on chemical composition of casted iron produced and burden materials quoted, as well as data on iron ore materials consumption, sinter grain-size distribution, pellets chemical composition and strength characteristics, coke mechanical strength and grain-size distribution. Results of analysis presented of production operation indices of Nos 1–4 blast furnaces within a five years period, the furnaces having net volumes 1007, 1033, 1513 and 2002 m³ correspondently. Periods of non-stable furnaces operation with long stops and repairs were excluded from the analyzed data. It was determined that iron and manganese oxide contents in the sinter are presented at lower level comparing with most of sintering plants of European Communities and Japan. Fine fraction less 5 mm content is considerably higher than the index for sinter, produced at other sintering plants of Russia, as well as of developed nations. Laboratory study and experimental-industrial tests at JSC “Ural Steel” confirm reasonability of the following mineral additives utilization in sintering process, delivered into the sintering burden by sludge: brown iron ore, bentonite clay, serpentinite-magnesites, that enables to increase suitable sinter yield, productivity of sintering machines, sinter impact strength. A necessity to optimize blast furnace slags chemical composition by relation SiO₂/Al₂O₃ and CaO/MgO determined to improve scull formation conditions and elimination of coolers mass burning-through. To improve the technical and economic indices of JSC “Ural Steel blast furnaces operation some measures on the plant blast furnace technology modification proposed.

Key words: JSC “Ural Steel”, blast furnace technology, suitable sinter yield, mineral additives, fines content in sinter, sintering machines productivity, sinter strength.

For citation: Ganin D.R., Druzhkov V.G., Panychev A.A., Fuks A.Yu. Analysis of indices and operation improvement conditions of JSC “Ural Steel” blast furnace shop. *Chernaya metallurgiya. Byulleten' nauchno-tehnicheskoi i ekonomicheskoi informatsii = Ferrous metallurgy. Bulletin of scientific, technical and economic information*, 2018, no. 12, pp. 46–54. (In Russ.).

Doi: 10.32339/0135-5910-2018-12-46-54

Целью исследования была оценка технического уровня технологии доменной плавки в условиях АО “Уральская сталь” для выработки мероприятий по ее совершенствованию. Для этого были проанализированы производственные данные о работе доменных печей (ДП): № 1 (полез-

ный объем 1007 м³), № 2 (1033 м³), № 3 (1513 м³), № 4 (2002 м³) за пятилетний период (табл. 1). При этом из анализируемой выборки были исключены периоды нестабильной работы печей с длительными остановками и ремонтами.

ТАБЛИЦА 1. ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТЫ ДП № 1–4 АО “УРАЛЬСКАЯ СТАЛЬ” ЗА ПЯТИЛЕТНИЙ ПЕРИОД ПО СРЕДНЕМЕСЯЧНЫМ ОТЧЕТНЫМ ДАННЫМ*

TABLE 1. INDICES OF JSC “URAL STEEL” BF Nos 1–4 OPERATION WITHIN A FIVE YEARS PERIOD BY MONTHLY AVERAGE REPORTED DATA*

Показатель	ДП № 1	ДП № 2	ДП № 3	ДП № 4
Производство чугуна среднесуточное, т/ном. сутки	<u>1546,6–2169,0</u> 1834,6	<u>1411,0–2101,0</u> 1720,2	<u>2204,0–3141,0</u> 2735,6	<u>3089,4–3702,0</u> 3468,8
Расход кокса (сухого), кг/т чугуна	<u>452,0–491,8</u> 474,6	<u>443,4–494,5</u> 475,1	<u>452,1–508,7</u> 475,3	<u>449,6–484,9</u> 465,7
Содержание железа в металлошихте, %	<u>53,57–56,27</u> 54,71	<u>53,80–56,01</u> 54,80	<u>53,79–56,04</u> 54,68	<u>53,67–54,98</u> 54,38
Доля агломерата в железорудной части шихты, %	<u>49,07–81,30</u> 66,59	<u>51,60–81,34</u> 68,71	<u>49,63–81,25</u> 67,16	<u>49,57–60,45</u> 53,93
Доля окатышей в железорудной части шихты, %	<u>17,88–49,89</u> 32,76	<u>17,82–47,94</u> 30,88	<u>17,74–50,36</u> 32,64	<u>39,29–50,23</u> 45,88
Расход природного газа, м ³ /т чугуна	<u>58,01–120,33</u> 87,34	<u>59,71–113,23</u> 85,64	<u>45,38–128,64</u> 82,10	<u>41,15–110,42</u> 78,46
Расход технологического кислорода, м ³ /т чугуна	<u>28,87–143,38</u> 76,51	<u>23,92–176,36</u> 84,57	<u>30,95–142,66</u> 80,45	<u>41,41–119,67</u> 85,60
Интенсивность плавки по руде, кг/(м ³ ·сут)	<u>2394,3–3880,1</u> 3245,9	<u>2221,6–3630,9</u> 2954,9	<u>2216,6–3747,1</u> 3234,8	<u>2334,8–3274,1</u> 2888,0
Интенсивность плавки по коксу, кг/(м ³ ·сут)	<u>0,76–1,00</u> 0,91	<u>0,59–0,92</u> 0,80	<u>0,47–1,053</u> 0,89	<u>0,47–0,87</u> 0,77
Вынос колошниковой пыли, кг/т чугуна	<u>13,03–37,80</u> 27,94	<u>10,20–38,30</u> 21,50	<u>9,00–41,50</u> 21,57	<u>14,00–41,30</u> 27,37
Давление колошникового газа, ати	<u>0,80–1,14</u> 0,97	<u>0,85–1,27</u> 1,08	<u>0,94–1,37</u> 1,20	<u>1,26–1,36</u> 1,33
Дутье:				
расход, м ³ /мин	<u>1714,0–2011,0</u> 1898,2	<u>1537,0–2020,0</u> 1770,3	<u>2311,0–2948,0</u> 2659,2	<u>3037,0–3348,0</u> 3133,9
давление, ати	<u>1,53–2,29</u> 2,01	<u>1,69–2,17</u> 1,96	<u>2,05–2,59</u> 2,41	<u>1,68–2,74</u> 2,32

Показатель	ДП № 1	ДП № 2	ДП № 3	ДП № 4
температура, °С	<u>1020,0–1153,0</u> 1093,7	<u>981,0–1089,0</u> 1031,0	<u>987,0–1186,0</u> 1084,5	<u>1086,0–1167,0</u> 1132,8
содержание O ₂ , %	<u>21,00–28,12</u> 24,304	<u>21,00–27,17</u> 24,84	<u>21,00–27,08</u> 24,13	<u>21,00–28,27</u> 24,73
Выход шлака, кг/т чугуна	<u>326,5–445,0</u> 387,5	<u>307,3–450,0</u> 383,5	<u>359,5–450,0</u> 399,7	<u>390,6–401,4</u> 396,8

** В числителе приведен диапазон значений, в знаменателе — среднее.*

Химический состав выплавляемого переплавленного чугуна приведен в табл. 2. В табл. 3 и 4 представлены расходы и химические составы шихтовых материалов, используемых в домен-

ном производстве предприятия. Кроме них периодически использовались: мелочь ГБЖ фракции 4–25 мм, руда доменная михайловская, промывочные брикеты, шлаковый щебень.

ТАБЛИЦА 2. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ЧУГУНОВ ДОМЕННЫХ ПЕЧЕЙ № 1–4 АО “УРАЛЬСКАЯ СТАЛЬ”, %

TABLE 2. CHEMICAL COMPOSITION OF CASTED IRON OF JSC “URAL STEEL” BF Nos 1–4, %

Состав чугуна	ДП № 1	ДП № 2	ДП № 3	ДП № 4
C	<u>4,22–4,50</u> 4,38	<u>4,24–4,50</u> 4,37	<u>4,26–4,47</u> 4,38	<u>4,40–4,44</u> 4,42
Fe	<u>94,39–95,15</u> 94,83	<u>94,41–95,17</u> 94,82	<u>94,51–95,56</u> 94,83	<u>94,84–95,03</u> 94,95
Si	<u>0,53–0,84</u> 0,60	<u>0,48–0,83</u> 0,61	<u>0,51–0,77</u> 0,61	<u>0,46–0,55</u> 0,50
Mn	<u>0,07–0,19</u> 0,13	<u>0,09–0,18</u> 0,14	<u>0,06–0,17</u> 0,12	<u>0,06–0,10</u> 0,07
S	<u>0,012–0,020</u> 0,016	<u>0,012–0,019</u> 0,015	<u>0,010–0,020</u> 0,016	<u>0,016–0,025</u> 0,019
P	<u>0,037–0,063</u> 0,045	<u>0,037–0,066</u> 0,047	<u>0,035–0,058</u> 0,045	<u>0,037–0,043</u> 0,039

ТАБЛИЦА 3. РАСХОДЫ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ МАТЕРИАЛОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ДОМЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ АО “УРАЛЬСКАЯ СТАЛЬ”, кг/т чугуна

TABLE 3. CONSUMPTION OF IRON ORE MATERIALS, USED IN BF PRODUCTION AT JSC “URAL STEEL”, kg per t of casted iron

Железорудный материал	ДП № 1	ДП № 2	ДП № 3	ДП № 4
Агломерат АО “Уральская сталь”	<u>880,88–1627,65</u> 1190,16	<u>936,16–1654,27</u> 1251,96	<u>888,32–1488,10</u> 1216,57	<u>887,79–1590,29</u> 1111,84
Окатыши михайловские	<u>171,63–733,09</u> 485,20	<u>208,03–782,7</u> 515,37	<u>155,48–715,20</u> 501,37	<u>159,88–820,03</u> 551,43
Окатыши михайловские офлюсованные	<u>141,00–895,56</u> 738,34	<u>60,81–869,81</u> 652,28	<u>518,30–901,40</u> 809,10	<u>388,39–899,60</u> 770,81
Окатыши лебединские	<u>47,27–331,64</u> 172,86	<u>180,35–254,28</u> 211,24	<u>212,83–217,10</u> 214,96	—

ТАБЛИЦА 4. ХИМИЧЕСКИЕ СОСТАВЫ ШИХТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ДОМЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ АО “УРАЛЬСКАЯ СТАЛЬ”, %

TABLE 4. CHEMICAL COMPOSITIONS OF BURDEN MATERIALS, USED IN BF PRODUCTION AT JSC “URAL STEEL”, %

Химический состав	Агломерат АО “Уральская сталь”	Окатыши михайловские нефлюсованные	Окатыши михайловские офлюсованные	Окатыши лебединские
Fe	<u>50,00–55,40</u> 52,30	<u>62,30–64,20</u> 63,30	<u>59,40–61,10</u> 60,40	<u>65,90–65,92</u> 65,55
FeO	<u>10,20–12,20</u> 11,20	<u>0,80–1,70</u> 1,30	<u>0,83–1,83</u> 1,30	<u>1,90–2,70</u> 2,20
Fe ₂ O ₃	<u>59,50–66,20</u> 62,40	<u>38,80–90,40</u> 87,10	<u>84,00–86,30</u> 85,04	<u>90,70–91,60</u> 91,13
SiO ₂	<u>7,60–9,30</u> 8,50	<u>7,70–9,10</u> 8,36	<u>7,80–8,40</u> 8,13	<u>5,10–5,20</u> 5,13
Al ₂ O ₃	<u>0,70–1,10</u> 0,90	<u>0,10–0,60</u> 0,20	<u>0,12–0,31</u> 0,20	<u>0,18–0,25</u> 0,20
CaO	<u>10,80–16,50</u> 14,10	<u>0,60–1,71</u> 0,72	<u>3,40–4,40</u> 4,04	<u>0,54–0,58</u> 0,56
MgO	<u>1,30–2,20</u> 1,80	<u>0,30–0,73</u> 0,50	<u>0,28–0,63</u> 0,44	<u>0,38–0,61</u> 0,51
S	<u>0,020–0,070</u> 0,040	<u>0,010–0,060</u> 0,010	<u>0,007–0,010</u> 0,090	0,005
P ₂ O ₅	<u>0,030–0,060</u> 0,040	<u>0,020–0,090</u> 0,030	<u>0,020–0,063</u> 0,040	<u>0,022–0,027</u> 0,025
TiO ₂	<u>0,030–0,060</u> 0,050	<u>0,010–0,050</u> 0,020	<u>0,019–0,040</u> 0,030	<u>0,028–0,046</u> 0,040
MnO	<u>0,020–0,240</u> 0,180	<u>0,018–0,550</u> 0,040	<u>0,010–0,025</u> 0,018	<u>0,019–0,043</u> 0,035
Zn	<u>0,010–0,050</u> 0,030	<u>0,010–0,040</u> 0,024	<u>0,010–0,020</u> 0,013	<u>0,005–0,007</u> 0,006

Из данных табл. 4 следует, что содержание в агломерате 50,0–55,4 % железа и 1,3–2,2 % оксида магния находится на более низком уровне, чем на большинстве аглофабрик стран Европейского экономического сообщества и Японии [1].

В табл. 5 представлен гранулометрический состав агломерата, используемого в доменном производстве предприятия.

ТАБЛИЦА 5. ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ СОСТАВ АГЛОМЕРАТА АО “УРАЛЬСКАЯ СТАЛЬ”

TABLE 5. JSC “URAL STEEL” SINTER GRAIN-SIZE DISTRIBUTION

Фракционный состав по классам, %				
0–5 мм	5–10 мм	10–25 мм	25–40 мм	+40 мм
<u>13,7–16,3</u> 15,7	<u>24,4–37,8</u> 33,0	<u>28,2–39,0</u> 33,6	<u>8,5–21,1</u> 13,6	<u>2,20–11,61</u> 4,20

Из данных табл. 5 следует, что содержание мелочи менее 5 мм в агломерате, находясь в диапазоне 13,7–16,3 %, составляя в среднем 15,7 %, значительно превышает содержание мелочи менее 5 мм в агломератах, производимых на аглофабриках России [2] и промышленно развитых стран [3]. Необходима стабилизация агломерата по гранулометрическому составу.

В табл. 6 представлен технический анализ кокса, производимого в АО “Уральская сталь”.

Из данных табл. 6 следует, что по показателям технического анализа качество кокса АО “Уральская сталь” находится на одном уровне с

качеством кокса, используемого на других предприятиях России [4].

ТАБЛИЦА 6. ТЕХНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КОКСА

TABLE 6. COKE TECHNICAL ANALYSIS

Показатель	Кокс АО “Уральская сталь”
Влажность W, %	<u>2,4–5,8</u> 4,5
Зольность A, %	<u>11,0–12,2</u> 11,7
Содержание летучих компонентов V, %	<u>1,0–1,3</u> 1,1

В табл. 7 представлены показатели механической прочности и гранулометрический состав

кокса производства АО “Уральская сталь”.

ТАБЛИЦА 7. МЕХАНИЧЕСКАЯ ПРОЧНОСТЬ И ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ СОСТАВ КОКСА ПРОИЗВОДСТВА АО “УРАЛЬСКАЯ СТАЛЬ”

TABLE 7. MECHANICAL STRENGTH AND GRAIN-SIZE DISTRIBUTION OF JSC “URAL STEEL” PRODUCTION COKE

Механическая прочность, %		Ситовый состав по классам, %				
M ₂₅	M ₁₀	+80 мм	80–60 мм	60–40 мм	40–25 мм	>25 мм
<u>81,7–86,5</u> 83,7	<u>8,6–11,8</u> 9,7	<u>8,8–39,7</u> 20,2	<u>36,2–49,6</u> 44,0	<u>18,7–42,9</u> 30,6	<u>2,3–6,9</u> 3,8	<u>1,2–2,6</u> 1,8

Из анализа данных табл. 7 следует, что показатель прочности кокса M₂₅, применяемый для оценки прочностных свойств кокса для доменных печей средних (менее 2700 м³) и малых объемов, имеет обычные значения M₂₅ >80 %, а показатель M₁₀, характеризующий сопротивление кокса истиранию, находится на одном из самых высоких уровней в России [4]. Анализ данных гранулометрического состава кокса АО “Уральская сталь” показывает необходимость снижения

значительного количества фракции более 60 мм, так как для доменных печей объемом 2000 м³ и более желателен класс 40–60 мм [5], а по другим источникам предпочтение отдают фракции 25–50 мм [3]. Это возможно при реконструкции коксовых батарей № 1–4 и увеличении периодов коксования.

В табл. 8 приведены химические составы шлаков доменных печей.

ТАБЛИЦА 8. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ШЛАКОВ ДОМЕННЫХ ПЕЧЕЙ АО “УРАЛЬСКАЯ СТАЛЬ”

TABLE 8. SLAGS CHEMICAL COMPOSITION OF JSC “URAL STEEL” BLAST FURNACES

Состав шлака, %	ДП № 1	ДП № 2	ДП № 3	ДП № 4
SiO ₂	<u>41,5–45,1</u> 42,9	<u>41,6–44,0</u> 42,4	<u>41,5–44,4</u> 42,9	<u>43,6–44,3</u> 43,9
Al ₂ O ₃	<u>6,1–8,2</u> 7,0	<u>6,3–8,2</u> 7,2	<u>6,1–8,2</u> 7,0	<u>5,9–6,9</u> 6,4
CaO	<u>43,8–47,4</u> 45,5	<u>42,4–47,6</u> 45,6	<u>42,5–46,9</u> 45,4	<u>45,6–47,3</u> 46,4
MgO	<u>3,8–7,2</u> 5,4	<u>4,3–7,2</u> 5,7	<u>3,9–7,3</u> 5,4	<u>3,8–7,1</u> 5,3
MnO	<u>0,09–0,20</u> 0,14	<u>0,10–0,20</u> 0,16	<u>0,08–0,19</u> 0,14	<u>0,09–0,12</u> 0,10
FeO	<u>0,22–1,02</u> 0,35	<u>0,22–0,82</u> 0,37	<u>0,23–0,56</u> 0,34	<u>0,31–0,64</u> 0,36
S	<u>0,56–0,79</u> 0,69	<u>0,60–0,81</u> 0,71	<u>0,54–0,79</u> 0,67	<u>0,56–0,68</u> 0,64
CaO/SiO ₂ , ед.	<u>1,00–1,11</u> 1,06	<u>1,00–1,12</u> 1,08	<u>1,00–1,12</u> 1,06	<u>1,04–1,08</u> 1,06

Анализ данных химических составов шлаков доменных печей показывает, что они попадают в наиболее благоприятную с точки зрения минимальных температур плавления область шлаков с основностью CaO/SiO₂ = 0,9–1,3 ед. и содержанием Al₂O₃ = 5–20 %, в которой имеют минимальную вязкость [6]. Но по результатам лабораторных исследований и данных практики достаточной устойчивостью обладают расплавы с отношением SiO₂/Al₂O₃ = 2,4–4,1 (фактически же оно составляет 6,25–6,83) и с отношением CaO/MgO = 3,4–5,0 (по факту оно равно 6,19–

10,90, в результате чего ухудшаются условия образования гарнисажа и массово прогорают холодильники) [5]. Выход доменного шлака, зависящий от содержания железа в рудной части доменной шихты и количества золы в коксе, соответствует диапазонам работы доменных печей России (330–450 кг/т) [7].

В доменном цехе в 2016 г. использовались офлюсованные окатыши производства ПАО “Михайловский ГОК” с повышенным содержанием MgO, химический состав и прочностные характеристики которых приведены в табл. 9.

**ТАБЛИЦА 9. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ И ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОКАТЫШЕЙ ПРОИЗВОДСТВА
ПАО «МИХАЙЛОВСКИЙ ГОК»**

**TABLE 9. CHEMICAL COMPOSITION AND STRENGTH CHARACTERISTICS OF PELLETS PRODUCED
AT PAO «MIKHAILOVSKY GOK»**

Окатыши	Fe, %	SiO ₂ , %	CaO, %	MgO, %	Основ- ность, ед.	Массовая доля фракции 0–5 мм, не более	Прочность на сжатие, кг/окатыш
Неофлюсованные	63,40	8,10	0,75	0,51	0,09	5,00	220,0
Офлюсованные	60,40	8,38	4,60	0,43	0,54	4,34	228,7
Офлюсованные с повышенным содержанием MgO	59,20	8,49	4,10	2,14	0,48	4,64	228,1

Основные показатели работы ДП № 1 в базовый (март–май 2015 г.) и опытные (03.08.2016 г. – 31.08.2016 г., 05.11.2016 г. – 15.11.2016 г.) периоды представлены в табл. 10.

ТАБЛИЦА 10. ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТЫ ДП № 1 В БАЗОВЫЙ И ОПЫТНЫЕ ПЕРИОДЫ

TABLE 10. MAIN INDICES OF BF No. 1 OPERATION DURING BASE AND TEST PERIODS

Показатель	База (неофлюсованные окатыши, март–май 2015 г.)	Опыт (офлюсованные окатыши, 03.08.2016 г. – 31.08.2016 г.)	Опыт (офлюсованные окатыши с повышенным содержанием MgO, 05.11.2016 г. – 15.11.2016 г.)
Доля агломерата, %	61,0	48,1	52,5
Доля неофлюсованных михайловских окатышей, %	39,0	—	—
Доля офлюсованных михайловских окатышей, %	—	51,9	—
Доля офлюсованных михайловских окатышей с повышенным содержанием MgO, %	—	—	47,5
Расход кокса сухого скипового, кг/т чугуна	453,2	421,1	460,7
Расход природного газа, м ³ /т чугуна	89,6	120,7	74,6
Доля кислорода в дутье, %	26,3	26,6	21,3
Содержание железа в рудной части шихты, %	54,7	55,4	55,7
Производительность печи, т/сут	1922,00	2003,88	1990,00
M ₂₅ , %	84,2	84,5	83,1
M ₁₀ , %	9,4	9,9	10,2
Расход дутья, м ³ /мин	1899	1876	2069
Давление дутья, ати	1,89	1,92	1,97
Температура дутья, °С	1120	1104	1143
Давление под колошником, ати	0,99	1,01	1,03
Состав чугуна, %:			
Si	0,60	0,58	0,58
Mn	0,11	0,07	0,08
S	0,016	0,020	0,021
P	0,045	0,040	0,041
Выход шлака, кг/т чугуна	401,0	367,4	374,6
Состав шлака, %:			
SiO ₂	43,10	43,75	42,81
Al ₂ O ₃	6,90	6,41	6,44
CaO	46,70	45,87	42,87
MgO	4,80	4,21	6,93
CaO/SiO ₂	1,08	1,05	1,00
S	0,75	0,74	0,75
Степень использования CO	54,8	56,0	55,5

В период использования офлюсованных окатышей газодутьевые и технико-экономические показатели работы ДП № 1 в целом оставались на уровне, сопоставимом с базовым периодом, но при увеличении в доменной шихте доли окатышей с 39 до 51,9 % (при одинаковой основности агломерата 1,75–1,80 ед.) повысилась степень использования СО с 54,8 до 56 %. Степень использования СО можно повысить наряду с улучшением распределения шихты и потока газа по радиусу печи применением бесконусного роторного загрузочного устройства [8]. При использовании магнезиальных окатышей основные газодутьевые, технико-экономические показатели работы ДП № 1 остались на сопоставимом уровне. Содержание MgO в шлаке увеличилось с 4,8 до 6,93 % при снижении основности шлака CaO/SiO_2 с 1,05 до 1,0 ед.

Для полного вывода из состава аглошихты сидерита Бакальского рудоуправления необходимо рассмотреть возможность увеличения содержания MgO в окатышах до 3,5–4,0 %.

Выводы

На основании изложенного можно сделать вывод о том, что повысить технико-экономические показатели доменной плавки в АО «Уральская сталь» можно:

- улучшением усреднения шихтовых материалов рациональной организацией усреднительного склада шихтовых материалов и применением современного усреднительного оборудования;

- увеличением содержания железа в доменной шихте (агломерате, окатышах) [12], поэтому предлагается увеличить в аглошихте долю концентрата Михайловского ГОКа или заменить его на концентрат Лебединского ГОКа, или использовать окатыши Михайловского ГОКа из флотационного концентрата с большим содержанием железа;

- отсевом мелочи фракции 0–5 мм из доменной шихты за счет вторичного грохочения в агломерационном цехе [3];

- снижением уровня колебаний химического состава и свойств материалов доменной шихты с целью стабилизации хода доменных печей за счет повышения однородности по химическому составу агломерата, что достигается снижением количества перешихтовок при более равномерной поставке привозного железорудного сырья;

- увеличением прочностных характеристик агломерата и окатышей за счет использования минеральных добавок (бурожелезняковых руд,

Лабораторными исследованиями в АО «Уральская сталь» подтверждена целесообразность использования в аглопроцессе подаваемых в пульпе в аглошихту при окомковании минеральных добавок: бурожелезняковых руд, бентонитовых глин, серпентинитомagneзитов, в результате чего увеличивается выход годного агломерата на 5–10,1 % (отн.), производительность аглоустановки — на 17,4–25,6 % (отн.), прочность агломерата на удар — на 9,2–22,3 % (отн.), снижается сопротивление агломерата истиранию на 8,8–16 % (отн.) [9–11]. Опытные промышленные испытания («чашевые» или «ящичные» спекания) подтвердили увеличение выхода годного агломерата на 5,3–9,4 % (отн.), прочности агломерата на удар — на 5,9–8,7 % (отн.), снижение сопротивления агломерата истиранию — на 10,3–10,8 % (отн.), снижение содержания фракции 0–5 мм в агломерате — на 16,1–17,1 % (отн.).

бентонитовых глин, серпентинитомagneзитов и пр.), подаваемых с пульпой в шихту при ее окомковании [9–11];

- отсевом из кокса мелочи <15 мм [13, 14] за счет применения для грохотов листовых щелевых решеток с расширением щелей книзу (для исключения кострения в них кусков кокса [15]) и «елочным» их расположением [3];

- улучшением качества кокса за счет увеличения периода его коксования и увеличения доли кокса сухого тушения;

- улучшением гранулометрического состава кокса за счет отсева фракции +60 мм и его додрабливания [3];

- увеличением давления под колошником за счет повышения герметичности конструкции печей и газоходов, улучшения технических характеристик воздуходувных машин;

- повышением температуры дутья на 50 °С, что снизит расход кокса, за счет строительства относительно малозатратных, надежных, экологических бесшахтных воздухонагревателей конструкции Я.П. Калугина, позволяющих повысить уровень возможного нагрева доменного дутья до температуры 1250 °С;

- постоянным использованием в доменной шихте магнезиальных окатышей, что позволит снизить элементарную основность шлака и повысить производительность доменных печей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Малыгин А.В., Мальцев В.А., Видуцкий М.Г. Рудоподготовительные процессы в плавильном производстве / Под общ. ред. д-ра техн. наук А.В. Малыгина. — Екатеринбург: ООО АМК “День РА”, 2016. — 415 с.
2. Фролов Ю.А. Агломерация. Технология. Теплотехника. Управление. Экология. — М.: Metallurgizdat, 2016. — 672 с.
3. Тарасов В.П., Тарасов П.В. Теория и технология доменной плавки. — М.: Интермет Инжиниринг, 2007. — 384 с.
4. Третьяк А.А. Доменное производство в России в 2011–2016 гг. в свете вызовов XXI века // *Металлургия чугуна — вызовы XXI века: труды VIII Междунар. конгресса доменщиков*. — М.: Кодекс, 2017. — С. 21–34.
5. Бабарыкин Н.Н. Теория и технология доменного процесса: учебное пособие. — Магнитогорск: ГОУ ВПО МГТУ, 2009. — 257 с.
6. *Металлургия: учебник для вузов* / В.И. Коротич, С.С. Набойченко, А.И. Сотников и др. — Екатеринбург: УГТУ, 2001. — 395 с.
7. Коршиков Г.В. Энциклопедический словарь-справочник по металлургии. — Липецк: Липецкое изд-во Госкомпечати РФ, 1998. — 780 с.
8. Боранбаев Б.М., Вакулин В.Н. Результаты непрерывной эксплуатации бесконусного роторного загрузочного устройства на доменной печи в течение 6,5 лет // *Металлург*. 2013. № 5. С. 52–56.
9. Ганин Д.Р., Дружков В.Г., Панычев А.А. и др. Использование добавок бурожелезняковых руд Новокиевского месторождения в производстве агломерата // *Черная металлургия: Бюллетень научно-технической и экономической информации*. 2016. № 10. С. 27–34.
10. Ганин Д.Р., Дружков В.Г., Панычев А.А. и др. Применение добавок бентонитовых глин Воскресенского месторождения в агломерационном производстве // *Черная металлургия: Бюллетень научно-технической и экономической информации*. 2016. № 12. С. 41–46.
11. Ганин Д.Р., Дружков В.Г., Панычев А.А. и др. Исследование влияния добавок серпентинитомagneзитов Халиловского месторождения на показатели агломерационного процесса АО “Уральская сталь” // *Вестник МГТУ им. Г.И. Носова*. 2017. Т. 15. № 1. С. 20–26. doi: 10.18503/1995-2732-2017-15-1-20-26.
12. Вегман Е.Ф. Краткий справочник доменщика. — М.: Металлургия, 1981. — 240 с.
13. Бугаев К.М., Бачинин А.А., Третьяк А.А. и др. Повышение газопроницаемости скипового агломерата без увеличения количества отсеиваемой от него мелочи // *Сталь*. 1992. № 9. С. 15.
14. Бугаев К.М., Бачинин А.А., Рабинович Г.Б. и др. Увеличение выхода скипового кокса на 1–2 % путем снижения его крупности до 20–15 мм с одновременным уменьшением его замусоренности // *Сталь*. 1992. № 9. С. 14.
15. Сибгатуллин С.К., Харченко А.С. Качество шихтовых материалов для доменной плавки, включающих титаномagnetиты и сидериты: учебное пособие. — Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова, 2012. — 150 с.

Поступила 11 октября 2018 г.

REFERENCES

1. Malygin A.V., Mal'tsev V.A., Viduetskii M.G. *Rudopodgotovitel'nye protsessy v plavil'nom proizvodstve* [Ore preparation processes in smelting production]. Malygin A.V. ed. Ekaterinburg: OOO AMK “Den' RA”, 2016, 415 p. (In Russ.).
2. Frolov Yu.A. *Aglomeratsiya. Tekhnologiya. Teplotekhnika. Upravlenie. Ekologiya* [Sintering. Technology. Heat engineering. Control. Ecology]. Moscow: Metallurgizdat, 2016, 672 p. (In Russ.).
3. Tarasov V.P., Tarasov P.V. *Teoriya i tekhnologiya domЕННОЙ plavki* [Theory and technology of blast furnace smelting]. Moscow: Intermet Inzhiniring, 2007, 384 p. (In Russ.).
4. Tretyak A.A. *Domennoe proizvodstvo v Rossii v 2011–2016 gg. v svete vyzovov XXI veka* [Blast furnace production in Russia in 2011–2016 in the view of XXI century challenges]. *Metallurgiya chuguna — vyzovy XXI veka: trudy VIII Mezhdunar. kongressa domenshchikov* [Cast iron metallurgy – the challenges of the XXI century: Proc. the VIII Intern. Congress of iron producers]. Moscow: Kodeks, 2017, pp. 21–34. (In Russ.).
5. Babarykin N.N. *Teoriya i tekhnologiya domennogo protsessa* [Theory and technology of blast furnace process]. Magnitogorsk: GOU VPO MG TU, 2009, 257 p. (In Russ.).
6. Korotich V.I., Naboichenko S.S., Sotnikov A.I., Grachev S.V., Furman E.L., Lyashkov V.B. *Metallurgiya* [Metallurgy]. Ekaterinburg: UGTU, 2001, 395 p. (In Russ.).
7. Korshikov G.V. *Entsiklopedicheskii slovar'-spravochnik po metallurgii* [An encyclopedic dictionary-reference book on metallurgy]. Lipetsk: Lipetskoe izd-vo Goskompechaty RF, 1998, 780 p. (In Russ.).
8. Boranbaev B.M., Vakulin V.N. Results of continuous running of conoless rotor charging facility at a blast furnace during 6.5 years. *Metallurg*, 2013, no. 5, pp. 52–56. (In Russ.).
9. Ganin D.R., Druzhkov V.G., Panychev A.A., Shapovalov A.N., Shevchenko E.A. Usage of brown iron ore additives of Novokievsk deposit in sinter production. *Chernaya metallurgiya. Byulleten' nauchno-tekhnicheskoi i ekonomicheskoi informatsii = Ferrous metallurgy. Bulletin of scientific, technical and economic information*, 2016, no. 10, pp. 27–34. (In Russ.).
10. Ganin D.R., Druzhkov V.G., Panychev A.A., Shapovalov A.N., Shevchenko E.A. Application of bentonite clay additives of Voskresensk deposit in sinter production. *Chernaya metallurgiya. Byulleten' nauchno-tekhnicheskoi i ekonomicheskoi informatsii = Ferrous metallurgy. Bulletin of scientific, technical and economic information*, 2016, no. 12, pp. 41–46. (In Russ.).

11. Ganin D.R., Druzhkov V.G., Panychev A.A., Shapovalov A.N., Shevchenko E.A. Study of serpentinite-magnesite additives of Khalilovsk deposit influence on indices of sintering process of JSC "Ural Steel". *Vestnik MGTU im. G.I. Nosova*, 2017, vol. 15, no. 1, pp. 20–26. (In Russ.). doi: 10.18503/1995-2732-2017-15-1-20-26.
12. Vegman E.F. *Kratkii spravochnik domenshchika* [A brief reference book of BF operator]. Moscow: Metallurgiya, 1981, 240 p. (In Russ.).
13. Bugaev K.M., Bachinin A.A., Tret'yak A.A. etc. Increase of gas permeability of skip sinter without increase of separated from it fines. *Stal'*, 1992, no.9, pp. 15. (In Russ.).
14. Bugaev K.M., Bachilin A.A., Rabinovich G.B. etc. Increase of skip coke yield by 1–2% by decreasing of its coarseness till 20–15 mm with simultaneous decrease of its pollution. *Stal'*, 1992, no. 9, pp. 14. (In Russ.).
15. Sibagatullin S.K., Kharchenko A.S. *Kachestvo shikhtovykh materialov dlya domennoi plavki, vklyuchayushchikh titanomagnetity i siderity* [Quality of burden materials for blast furnace smelting, including titanium magnetites and siderites]. Magnitogorsk: MGTU im. G.I. Nosova, 2012, 150 p. (In Russ.).

Received October 11, 2018