

**А.С.Нестеров, М.А.Гуркин, Н.М.Можаренко, В.Ю.Кучин,
Л.И.Гармаш**

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВТОРИЧНЫХ РЕСУРСОВ В АГЛОДОМЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ ОАО «СЕВЕРСТАЛЬ»

Институт черной металлургии НАН Украины, ОАО «Северсталь»

Показано, что ограничение использования вторичных ресурсов в целом по аглодоменному переделу ОАО «Северсталь» в пределах 5–6% от массы железорудной части шихты при выплавке чугуна заданного качества обусловлено повышенным содержанием оксидов цинка в Ковдорском концентрате, шлако–скраповой смеси и колошниковой пыли.

На настоящем этапе развития технологии выплавки чугуна основными требованиями к работе доменных печей являются экономичность, маневренность при изменении уровня производства и эксплуатационная надежность. Решая вопросы рынка металлопродукции, технологи–доменщики ведут целенаправленную работу по снижению расхода кокса, обеспечению качественных показателей чугуна, вовлечению вторичных ресурсов, внедрению прогрессивных технологических и конструктивных решений, направленных на продление межремонтных кампаний доменных печей. При решении этих вопросов в мировой практике доменного производства приоритетными являются задачи по обеспечению качества шихтовых материалов. Под этим подразумеваются не только уровень содержания железа и рациональное соотношение шлакообразующих компонентов, теплофизические свойства шихтовых материалов, но и наличие в них компонентов, ухудшающих технологические свойства шихтовых материалов. К ним, в первую очередь, относятся оксид цинка и оксиды щелочных металлов (R_2O). Осложнения, возникающие при выплавке чугуна из шихты, содержащей оксиды щелочных металлов и цинк, неоднократно рассматривались в отечественной и зарубежной литературе [1–5]. Интерес к вопросам поведения щелочных металлов и цинка при агломерации и в доменных печах не ослабевает и в настоящее время. Это связано как с ухудшением процесса агломерации, и стойкости доменных печей, так и с энергоемкостью процесса.

В соответствии с общепринятыми нормами, общее поступление в доменную шихту, например щелочей, фосфора и окиси цинка для доменной плавки на богатой железорудной шихте должно быть ограничено на уровне, не превышающем 3,5 кг/т; 0,8 кг/т и 0,3 кг/т чугуна соответственно.

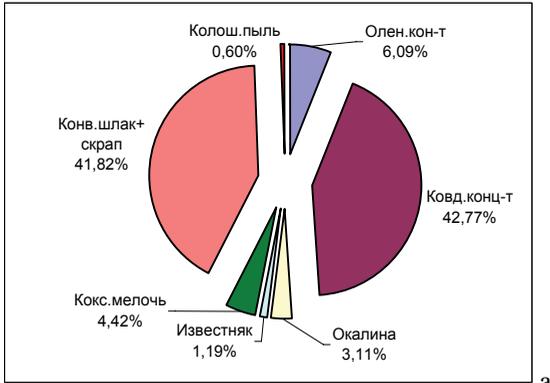
В табл.1,2 и на рис.1 приведены данные по приходу щелочей, фосфора, цинка, двуокиси кремния в агломерационную и доменную шихту, используемую при выплавке передельного чугуна заданного качества.

Таблица 1. Поступление щелочей, фосфора, цинка, двуокиси кремния на тонну агломерата в аглопроизводство (АГЦ–2).

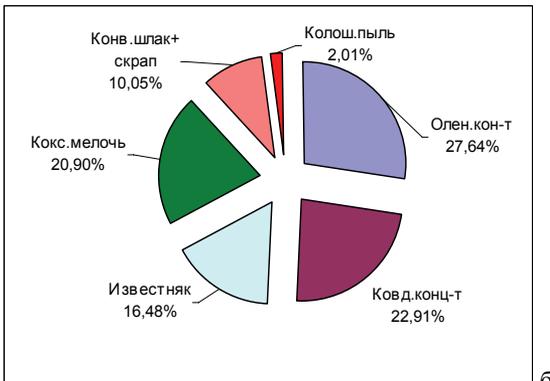
Наименование материала	Количество, кг/т	K ₂ O+Na ₂ O, %	K ₂ O+Na ₂ O, кг/т	P ₂ O ₅ , %	P ₂ O ₅ , кг/т	ZnO, %	ZnO, кг/т	SiO ₂ , %	SiO ₂ , кг/т
Оленегор. конц.	424,24	0,065	0,275	0,012	0,051	0,004	0,017	7,17	30,42
Ковдорский конц.	325,47	0,07	0,228	0,11	0,358	0,042	0,137	0,806	2,62
Окалина	65,46	0	0	0,04	0,026	0,085	0,056	1,75	1,14
Известняк	102,59	0,16	0,164	0,01	0,01	0,003	0,003	1,58	1,62
Коксовая мелочь	59,44	0,35	0,208	0,063	0,037	0,001	0	7,83	4,38
Конвертерный шлак+ скрап	85,72	0,10	0,1	0,408	0,350	0,023	0,02	9,09	7,79
Колошников, пыль	8,32	0,25	0,02	0,063	0,005	0,126	0,01	6,64	0,55
Аглошихта			1,0		0,838		0,243		48,52
Агломерат		0,09		0,089		0,025		4,82	

Таблица 2. Поступление щелочей, фосфора, цинка, серы, двуокиси кремния на тонну чугуна в доменном пехе (ДП–1)

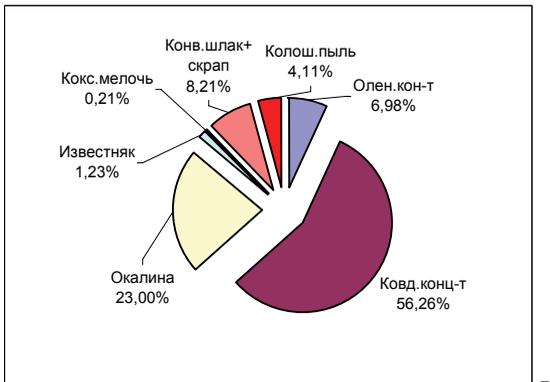
Наименование материала	Количество, кг/т	K ₂ O+Na ₂ O, %	K ₂ O+Na ₂ O, кг/т	P ₂ O ₅ , %	P ₂ O ₅ , кг/т	ZnO, %	ZnO, кг/т	S, %	S, кг/т	SiO ₂ , %	SiO ₂ , кг/т
Агломерат АГЦ2	878,53	0,09	0,79	0,089	0,782	0,026	0,228	0,009	0,079	4,82	42,35
Окашки Кост-ГОК	633,5	0,167	1,06	0,036	0,228	0,008	0,05	0,115	0,728	4,97	31,58
Руда Михайловская	56,3	0,1	0,06	0,037	0,02	0,004	0,002	0,63	0,35	24,1	13,57
Шлак конвертерн	28,9	0,1	0,03	0,74	0,21	0,007	0,002	0,059	0,017	12,43	3,59
Скрап	28,9	0,04	0,01	0,36	0,104	0,017	0,005	0,14	0,040	6,2	1,79
Кокс	408,2	0,24	0,98	0,049	0,2	0,002	0,008	0,505	2,06	5,9	24,08
сумма			2,93		1,54		0,295		3,28		116,94



а



б



в

Рис 1. Долевой вклад компонентов аглошихты АГЦ-2 в общее содержание фосфора (а), цинка (б), щелочей (в).

Источники поступления вредных компонентов в агломерационную и доменную шихту – природные соединения, содержащиеся в концентратах и аглорудах; вторичные ресурсы (колошниковая пыль, шлам, скрап металлургического производства) и топливо. С минеральными ресурсами (концентратами, известняком), коксовой мелочью в аглошихту вносится от 50% до 75% фосфора, 63–85% цинка, 88–95% щелочей. Анализ данных, приведенный на рис.2, показывает, что внесение с шихтой фосфора и цинка на тонну чугуна на больших и малых доменных печах составляет 68–83% и 85–98% соответственно от предельного уровня, обуславливая предельно допустимое содержание вторичных отходов в шихте доменных печей на уровне от 3 до 12% от массы железорудной части шихты. Как видно из таблиц и графиков, критичным из перечисленных компонентов является содержание оксидов цинка, в то время как по содержанию щелочных металлов и фосфора количество вторичных ресурсов от используемого уровня может быть увеличено на 10–25%.

Для уточнения пределов допустимого уровня использования вторичных ресурсов проведены расчетно–аналитические исследования влияния вторичных ресурсов различного состава и свойств на показатели доменной плавки и выполнены лабораторные спекания агломератов с повышенным содержанием скрапо–шлаковой смеси и шламами с повышенным содержанием цинка.

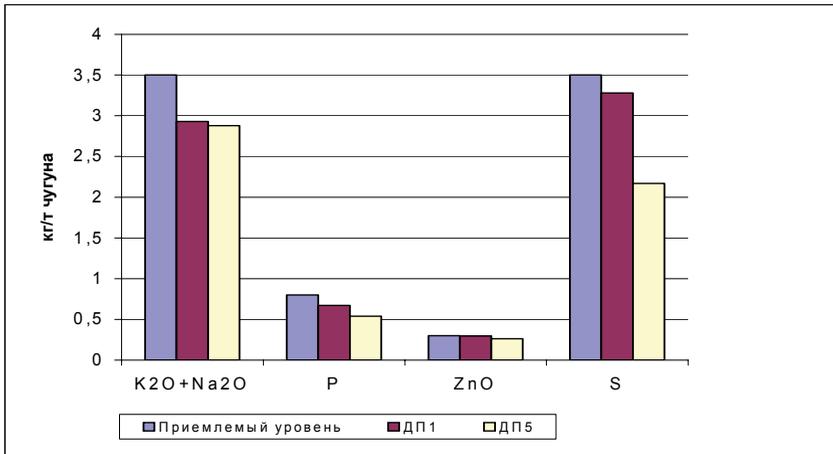


Рис.2. Предельный и фактический уровень содержания фосфора (P), цинка (ZnO), щелочей (K₂O + Na₂O), серы (S) в шихте доменных печей (ДП–1, ДП–5)

В расчетах показателей доменной плавки при переменном содержании вторичных ресурсов были введены поправки на удаление вредных компонентов при агломерации, а также учтены условия распределения серы, щелочных элементов и цинка между чугуном и шлаком. При этом рассмотрены различные варианты ввода вторичных ресурсов. В расчетах

показателей доменной плавки для условий доменной печи объемом 5500 м³ изменяли количество шлако–скраповой смеси в аглошихте для различной основности агломерата (1,45–1,90 ед.) и соответствующем изменении доли окатышей и кусковой руды в доменной шихте.

Для условий работы доменных печей меньшего объема изменение количества шлако–скраповой смеси в аглошихте сопровождалось изменением количества колошниковой пыли и расхода окалины на тонну агломерата при постоянном соотношении Оленегорского и Ковдорского концентратов. В расчетах также изменяли долю окатышей, кусковой руды, шлака и скрапа в доменной шихте.

Результаты проведенных исследований показывают, что увеличение доли вторичных ресурсов в аглошихте приводит к увеличению общей массы железорудного сырья на тонну чугуна при одновременном сокращении расхода концентратов и флюса, а также к увеличению выхода конечного доменного шлака. В то же время качество чугуна (в частности, по фосфору) ухудшается, увеличивая затраты в сталеплавильном переделе. Приход щелочей, цинка и серы на тонну чугуна увеличивается. Сумма затрат на железорудное сырье и кокс при проплавке материалов, содержащих вторичные ресурсы, как правило, снижается. Вязкость и серопоглощительная способность конечного доменного шлака при увеличении доли вторичных ресурсов изменяются незначительно.

Анализ состава минеральной части аглошихты и вторичных ресурсов показывает, что целесообразно использование шлако–скраповой смеси (30–70 кг/т агломерата) при содержании железа общего в ней на уровне не ниже 40–42% при уровне ZnO – 0,024 – 0,028%. Использование цинксодержащих шламов (ZnO<1,2%) в пределах 2–10 кг/т агломерата целесообразно при уменьшении доли Ковдорского концентрата в аглошихте. При этом необходимо использование в технологии агломерации мероприятий по удалению цинка.

В соответствии со схемой поведения цинка в агломерационном процессе, восстановление цинка заканчивается в зоне спекания при температурах выше точки кипения цинка. Возгоняющийся восстановленный цинк может окисляться кислородом и диоксидом углерода газовой фазы при температуре 600–850⁰С. При этом оксид цинка может осаждаться на шихте в зоне подогрева. Лучшие условия удаления цинка с газовой фазой достигаются при повышенном расходе топлива, то есть при перегреве нижних слоев шихты, повышении основности аглошихты и наличии в аглошихте железа металлического.

Анализ литературных источников показывает, что повысить степень удаления цинка при агломерации в пределах трех–пяти процентов без снижения производительности и ухудшения качества готовой продукции возможно путем управления температурными условиями спекания. Температура появления расплава и его количество в куске железорудного материала при нагреве оказывают существенное влияние на производитель-

ность агломерационных машин, механизм формирования конечной структуры продуктов окускования, их механическую прочность, а также на газификацию вредных химических компонентов, таких как щелочи и цинк. Однако имеющиеся в специальной литературе данные о столь важной для шихтовых железорудных материалов теплофизической характеристике, как температура плавления, весьма ограничены и противоречивы. Расчет температурных характеристик плавления агломерационных шихтовых материалов по диаграммам состояния необходимо корректировать из-за многокомпонентного состава шихты и изменения минералогических преобразований, происходящих при высокоскоростном нагреве.

Для определения температурных характеристик плавления аглошихты использовали высокотемпературный микроскоп МНО-2 фирмы Карл Цейс, обеспечивающий равномерный нагрев образца в зоне температур 20–1500⁰С в окислительной либо инертной атмосферах и позволяющий визуально наблюдать изменение агрегатного состояния исследуемого материала.

Химический состав компонентов аглошихты и некоторые их высокотемпературные характеристики представлены в табл.3.

Результаты испытаний показывают, что температуры начала плавления Оленегорского (рядового) и Ковдорского (магнезиального) концентратов значительно различаются (1260 – 1325⁰С) и определяется соотношением шлакообразующих оксидов. Офлюсование концентратов и их смесей до основности 1,30 снижает температуры начала плавления на 15 – 25⁰С. С повышением офлюсования концентратов до уровня 1,7 – 1,75 ед. температура начала плавления поднимается до 1320 и 1350⁰С для Оленегорского и Ковдорского концентратов соответственно.

Высокими температурами конца плавления (1500–1520⁰С), как правило, обладают материалы с повышенным содержанием железа общего, влияние офлюсования в этом случае имеет меньшее значение. Максимальные температуры конца плавления характерны для образцов, имеющих наряду с высокой концентрацией оксидов железа тугоплавкую магнезиальную пустую породу либо железо металлическое с низким содержанием углерода. Это ковдорский концентрат и скрап сталеплавильного производства. Проплавка вторичных ресурсов показала, что температуры плавления скрапа и конвертерного шлака превышают температуры плавления смеси концентратов на 40–60⁰С. Температура плавления шлама близка к температуре плавления смеси концентратов.

Смешивание шлама (цинксодержащего материала) с скрапо-шлаковой смесью сталеплавильного производства приводит к повышению температуры плавления шлама на 40–50⁰С, улучшая процесс удаления цинка.

Таблица 3. Химический состав и высокотемпературные свойства компонентов аглостихты

Наименование материала	Химический состав, %										Температура °С	
	Feобщ	FeO	Fe2O3	SiO2	Al2O3	MgO	CaO	ZnO	Тн.пл	Тполн. распл.		
Концентрат рядовой (К1)	65,58	27,69	62,90	7,17	0,26	0,51	0,47	0,0047	1260	1435		
Концентрат магнезиальный (К2)	64,00	24,30	64,43	0,81	1,88	5,81	0,41	0,041	1325	1510		
Шлак конвертерный (агл) – ШК	22,40	18,10	11,20	12,70	1,80	8,80	42,10	0,003	1360	1450		
Скрап сталеплавильный (агл) СС	43,08	17,67	13,15	6,69	2,02	8,26	21,25	0,037	1340	1520		
Смесь (60% К1+40%К2)	64,94	25,88	63,46	4,62	0,91	2,63	0,446	0,0192	1295	1440		
Концентрат (60% К1+40%К2) офл. 1,3	60,8	25,88	58,2	4,72	0,93	2,60	6,94	0,0192	1270	1440		
Концентрат (60% К1+40%К2) офл. 1,7	59,8	25,6	56,88	4,76	0,94	2,58	8,10	0,0192	1310	1480		
Шлам (ЗШН)	45,2	10,54	52,97	4,03	0,99	6,12	0,54	0,17	1285	1410		
Смесь 20% ЗШН +*80% ШК	26,96	16,59	19,55	10,97	1,64	8,26	33,79	0,036	1330	1440		
Смесь 20% ЗШН +*80% СС	43,50	16,25	21,11	6,16	1,82	7,83	17,11	0,064	1325	1420		

Таким образом, расчетный анализ, чашевые спекания, оценка металлургических свойств при восстановительно–тепловой обработке лабораторных агломератов показывают, что увеличение в аглошихте количества шлаковой смеси в пределах тридцати килограммов на тонну агломерата приводит к: сокращению потребления Ковдорского и Оленегорского концентратов на 1% и 5% соответственно; сокращению потребления известняка на 7%; уменьшению железа общего в шихте на 0,5%; увеличению фосфора в агломерате на 0,013%; повышению исходной прочности агломерата по показателю Б+5 на 1–3%; увеличению выхода шлака на 11 кг/т чугуна; снижению температур образования и фильтрации жидких фаз на 5–15⁰С, увеличению содержания FeO в первичном шлаковом расплаве на 0,5–1,5%; увеличение расхода скипового кокса на 1,5–3,5 кг на тонну чугуна.

С точки зрения технологии ввод шлаковой смеси в аглошихту приводит к повышению исходной прочности агломерата на 1–3%. Снижение высокотемпературных свойств незначительно. Ограничение использования вторичных ресурсов в целом по агло–доменному переделу в пределах 5–6% от массы железорудной части шихты при выплавке чугуна заданного качества обусловлено повышенным содержанием оксидов цинка в Ковдорском концентрате, шлако–скраповой смеси и колошниковой пыли.

1. *Роль щелочей* в доменной печи / В.Альтпетер, Э.Беплер и др. //Черные металлы. – 1988. – № 17. – С.3–13.
2. *Проблемы щелочной агрессии* в доменном производстве / Г.И. Орел, П.И. Оторвин, Г.П.Костенко и др. //Теория и практика производства чугуна. Сб. трудов. – Кривой Рог: – 2004, – С.263–266.
3. *Распределение* в доменной печи доролнительно вводимых с шихтой щелочей и влияние их на качество чугуна/ В.И. Котов, К.И. Котов, Г.А. Воловик и др. //Доменной производство. Тематический отраслевой сборник. – № 2. – М. – 1975. – С.117–120.
4. *Поведение* цинка при спекании доменного и конвертерного шламов с концентратами КМА. /Г.В.Коршиков, С.Л.Зевин, В. В.Греков и др. //Сталь. – 2003.– № 5. – С.2–6.
5. *Результаты* опытно–промышленных испытаний новых способов удаления цинка из доменных печей. /Ю.П. Щукин, В.И. Сединкин, В.С.Новиков и др. /Сталь. –1997. – №3. – С.11–13.

Сведения об авторах:

Нестеров Александр Станиславович, канд.техн.наук, ст.научн.сотр. отдела металлургии чугуна Института черной металлургии НАН Украины;

Можаренко Николай Михайлович, канд.техн.наук, зав.отделом металлургии чугуна Института черной металлургии НАН Украины;

Гармаш Лариса Ивановна, научный сотрудник отдела металлургии чугуна Института черной металлургии НАН Украины;

Гуркин Михаил Андреевич, старший менеджер ЦТРК ОАО «Северсталь»