

УДК 669.1.054.8

**С.В. БЫЧКОВ**, главный инженерГосударственное предприятие «Украинский институт по проектированию металлургических заводов»  
(ГП «УкрГИПРОМЕЗ»), г. Днепропетровск**А.В. ЛЯКСА**, председатель совета директоров  
Корпорация «Укрпромпереработка», г. Донецк

## РЕЦИКЛИНГ МЕЛКОФРАКЦИОННЫХ ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА\*

Железосодержащие отходы металлургического комплекса являются мелкофракционными и содержат в своем составе элементы, оказывающие отрицательное влияние на ход металлургического процесса при их повторном использовании.

В статье изложены предложения по подготовке отходов к окомкованию (брикетированию) путем магнитной, гидродинамической переработки их перед брикетированием. На примере исследования мелкофракционных отходов металлургического завода предложена схема их комплексной переработки и аргументирована экономическая целесообразность использования железосодержащих брикетов при производстве чугуна.

**железосодержащие отходы, шламы, аспирационная пыль, химический состав, магнитная сепарация, гидродинамическая сепарация, железосодержащие брикеты**

Металлургический процесс в Украине сопровождается генерированием значительного количества производственных отходов, в т.ч. мелкофракционных. Считается, что при производстве 1 т агломерата образуется 30–32 кг шлама, при производстве чугуна – 38–42 кг, при производстве стали – от 15 до 25 кг мелкофракционных отходов (в зависимости от способа производства).

По разным источникам, на металлургических предприятиях Украины накоплено более 70 млн т шламов (без учета «хвостов» горно-обогатительных комбинатов (ГОК). При этом необходимо отметить, что содержание полезных для металлургического процесса компонентов в них (Fe, CaO, C и др.) в большинстве случаев выше, чем в исходной руде, перерабатываемой на ГОКах.

Учитывая проблемы, стоящие перед металлургической промышленностью в связи с нехваткой сырья, обеднением рудных месторождений, необходимостью снижения удельных затрат на производство металлопродукции и повышения ее качества, вопросы рециклинга мелкофракционных железосодержащих отходов, кроме экологического значения, приобретают экономическое, а в условиях развивающегося международного рынка и политическое значение.

Экологическая необходимость и экономическая эффективность переработки промышленных отходов прослеживается в разработанных Государственным предприятием «Украинский институт по проектированию металлургических заводов» (ГП «УкрГИПРОМЕЗ») для Енакиевского металлургического завода (г. Енакиеве Донецкой обл.) технических решениях.

Общее количество отходов завода, подлежащих утилизации, составляет 337 тыс. т/год, в т.ч:

- шламы доменные – 63 тыс. т;
- шламы конвертерные – 78,0 тыс. т;
- колошниковая пыль – 117,0 тыс. т;
- аспирационная пыль известково-обжигательного цеха (ИОЦ) – 29,0 тыс. т;
- пыль электрофильтров доменного цеха – 50,0 тыс. т.

В настоящее время шламы газоочисток доменного и конвертерного цехов по трубопроводу сливаются в пруд-осветлитель.

Из пруда-осветлителя шламы перекачивают земснарядом в карты осушения, затем экскаватором выбирают из карт, перевозятся на погрузочную площадку, оборудованную железнодорожными путями. После дополнительного вылеживания на площадке шламы грузятся в железнодорожные вагоны и перевозятся на

\* Статья опубликована по материалам XVI Международной конференции «Экология и здоровье человека. Охрана воздушно-го и водного бассейнов. Утилизация отходов», г. Щелкино, АР Крым, 2008 г.



аглофабрику, где применяются как добавка в шихту при производстве агломерата.

Расчетное содержание общего железа ( $Fe_{\text{общ.}}$ ) в смеси доменного и конвертерного шламов составит 44–45 %. Колошниковая пыль и отходы обжига извести непосредственно подаются на аглофабрику, где также используются при производстве агломерата.

В связи с реконструкцией доменного цеха в отходы поступает пыль, уловленная электрофильтрами, которая из-за своих физических свойств (мелкофракционный состав, плохая смачиваемость) не используется при производстве агломерата.

В настоящее время в Украине основной способ утилизации мелкофракционных отходов – добавки при производстве агломерата.

Однако в целом такой способ утилизации мелкофракционных отходов нельзя признать рациональным. Помимо существенного снижения производительности агломашин, связанного с плохим окомкованием пылей (особенно пылей, улавливаемых электрофильтрами), в доменную печь (ДП) поступает агломерат с пониженным содержанием железа, но с повышенным содержанием щелочей и цинка, негативное влияние которых на доменное производство общеизвестно.

Агломерация мелкофракционных отходов вызывает ряд принципиальных трудностей, к числу которых относят ухудшение газопроницаемости и спекаемости. Устранение их связано со значительными затратами, снижающими преимущества этого способа окускования.

Более эффективным методом окускования мелкофракционных отходов является брикетирование.

Процесс брикетирования отходов имеет ряд преимуществ перед агломерацией:

- брикетирование не связано со сжиганием топлива, поэтому отсутствуют выбросы вредных газов ( $SO_x$ ,  $NO_x$ , CO) и пыли;
- химический состав сырьевых материалов может быть оставлен без изменения;
- возможность изготовления брикетов с заранее заданным химическим составом;
- широкий диапазон массы брикета;
- плотность брикета в 1,5–2 раза больше плотности кусков агломерата;
- экономичность процесса, минимальное количество возвратных отходов (2–4 %).

Вместе с тем сохранение в брикетах химического состава утилизируемых отходов имеет и отрицательное значение. Так, предлагаемые заводом к утилизации конвертерные шламы содержат в своем составе 1,47 % цинка, а колошниковая пыль – только 40,5 % общего железа.

Использование этих отходов как в агломерации, так и при брикетировании, без подготовки, улучшающей состав, снижает эффективность последующего добавления брикетов в шихту.

Поэтому предложено путем реконструктивных мероприятий организовать переработку мелкофракционных отходов металлургического процесса, которая включает обогащение шламов доменного и конвертерного цехов, смешивание их с сухими отходами, передачу полученной полусухой смеси на аглофабрику или (как вариант) ее брикетирование с использованием брикетов в качестве добавки в шихту при производстве чугуна.

Сухими отходами, которые смешиваются с обогащенными шламами, являются колошниковая пыль, пыль аспирационных систем ИОЦ и пыль электрофильтров доменного цеха.

Технологическим регламентом переработки жидких шламов предусматривается:

- извлечение из общей массы шламов частиц более 1,0 мм (пески);
- сгущение шламов;
- магнитная сепарация – выделение ферромагнитной части;
- гидродинамическая сепарация – выделение «породы», цинка.

Предполагается, что в ходе этих операций удельное содержание  $Fe_{\text{общ.}}$  в переработанных шламах будет увеличено на 7–8 %. По гранулометрическому составу в шламах доменного и конвертерного цехов содержится, по разным данным, от 0,6 до 4 % частиц размером более 1 мм. Считается, что эти частицы состоят в основном из  $SiO_2$ . С целью выделения таких частиц в схеме предусматривается использование конического грохота. При перемещении шламов по коническому грохоту с размером щели 1 мм частицы более 1 мм выделяются из общей массы и по желобу передаются на склад песка, где происходит их естественное обезвоживание. По мере обезвоживания песок отгружается строительным организациям.

Шламы с размерами частиц менее 1 мм после конического грохота передаются в одноярусные сгустители, так как для осуществления последующих операций по переработке необходимо, чтобы шламы были сгущены до 25–30 % по твердому. В ходе сгущения шламов часть из них размером частиц менее 5–7 мкм, имеющая в своем составе повышенное содержание соединений цинка и щелочей, сливается в пруд-осветлитель, а сгущенная до влажности 70–75 % суспензия поступает на магнитную сепарацию.

Шлам доменного цеха образуется в результате улавливания в мокрой газоочистке выносимой из ДП пыли, состоящей из веществ плавильных материалов, в кото-

рых превалируют агломерат и кокс. В агломерате магнитная составляющая железорудной части – это магнетит или  $Fe_3O_4$ .

Если принять степень извлечения магнитной части  $\epsilon = 0,5$ , то в ходе магнитной сепарации будет извлечено 17,5 % шлама, по массе содержащего  $Fe_3O_4$  и около 2,5 % «прилипшей» пустой породы. С учетом этого обогащенный материал будет содержать  $Fe_{общ.}$  62–63 %.

Аналогично по конвертерным шламам из общей массы предполагается извлечь на магнитном сепараторе 17–18 % магнитной части, содержащей 63,7 %  $Fe_{общ.}$

Технологическим регламентом предусматривается дополнительная обработка шламов, прошедших магнитную сепарацию, с помощью винтовых шлюзов.

Винтовые шлюзы – это аппараты, работа которых основана на применении гравитационного метода обогащения полезных ископаемых. Аппарат представляет собой неподвижный винтовой желоб, закрученный вокруг вертикальной оси. Поперечное сечение желоба имеет определенную форму в зависимости от крупности обрабатываемого материала. При правильном выборе режимов отработки шлама на винтовом шлюзе возможно увеличение доли общего железа в сливаемой с центральной части прибора суспензии до 60–65 %.

Шламы, прошедшие переработку в жидком состоянии (влажность до 70 %), подвергаются обезвоживанию на вакуумфилтрах.

Обогащенные и обезвоженные шламы смешиваются с сухими отходами (колошниковая пыль, аспирационная пыль ИОЦ, пыль электрофильтров доменной цеха) до влажности 10–12 % и передаются на линию брикетирования.

Брикетирование – процесс получения кусков (брикетов) с добавкой и без добавки связующих веществ с последующим прессованием смеси в брикеты нужного размера и формы.

В настоящее время получили развитие два основных способа формования брикетов:

- в линиях, оснащенных валковыми прессами;
- в линиях, оснащенных вибропрессами.

**Таблица 1 – Расчетный химический состав материалов и брикетов**

Сырье и брикеты	Содержание компонента, %						
	$Fe_{общ.}$	$SiO_2$	CaO	C	S	Zn	остальное
Смесь переработанных отходов	47,24	5,66	14,18	5,08	0,253	0,200	27,39
Связующие	2,45	26	63	–	1,2	–	7,35
Железосодержащие брикеты	45,81	5,56	15,75	4,92	0,28	0,194	27,49

В данном случае возможен любой из вариантов.

Получаемые брикеты по своему сырьевому (химическому) составу (табл. 1), размерам (крупности) и прочности отвечают требованиям и особенностям технологического процесса, в котором предполагается их использование.

Общий объем производства брикетов в условиях Енакиевского металлургического завода с учетом добавления связующего составит 343,2 тыс. т/год или 40,06 т/час. Если учесть намечаемый рост выплавки чугуна на заводе, то доля брикетов в шихте при производстве чугуна не превысит 80 кг/т чугуна. Изменение компонентного состава доменной шихты при вводе в нее 343,2 тыс. т брикетов по сухой массе приведено в табл. 2. При этом принято, что вводимое с брикетами железо позволит вывести из шихты ДП часть покупных окатышей.

Из табл. 2 видно, что при соблюдении баланса железа экономия окатышей составляет 262,03 тыс. т. Наличие избытка CaO по балансу шлакообразующих позволяет вывести из плавки часть известняка, тыс. т/год:

- по сухой массе – 74,0;
- по влажной массе – 76,3.

Известняк содержит 43 % потерь массы при прокаливании, остальное – шлакообразующее. Следовательно, при экономии известняка выход шлака сократится на 43,5 тыс. т/год.

Наличие в брикетах углерода (4,92 %), равномерно перемешанного с оксидами железа и работающего как

**Таблица 2 – Расчетный баланс основных компонентов при вводе в доменную шихту брикетов**

Изменение состава шихты	Количество (сухая масса), тыс. т	В том числе									
		$Fe_{общ.}$		CaO		$SiO_2$		остальные шлакообразующие оксиды		C	
		%	тыс. т	%	тыс. т	%	тыс. т	%	тыс. т	%	тыс. т
Вводятся брикеты	343,2	45,81	157,22	15,75	54,05	5,56	19,08	6,37	21,86	4,92	16,88
Выводятся окатыши	262,03	60,0	157,22	5,12	13,42	8,01	21,00	1,12	2,93	–	–
Разница											
+ избыток			0		+40,63				+18,93		+16,88
– недостаток			0		–		–	–1,92			–



восстановитель, обеспечит экономию кокса в отношении 1:1 (зольность кокса, которая увеличивает экономию, не учтена).

Экономия кокса составит 16,88 тыс. т по сухой массе.

Экономия кокса за счет сокращения расхода сырого известняка на каждые 100 кг сырого известняка, выводимого из ДП при плавке, – от 25 до 40 кг/т.

Если принимать экономию кокса по среднему, то уменьшение расхода кокса за счет вывода из шихты сырого известняка составит 14,4 тыс. т/год.

При зольности кокса 10 % выход шлака за счет экономии кокса сократится на 1,41 тыс. т.

Суммарное изменение выхода шлака при вводе брикетов за счет экономии окатышей, сырого известняка и кокса составит

$$40,63 - 1,92 + 18,93 - 43,5 - 1,41 = -12,73 \text{ тыс. т.}$$

С учетом удельного расхода кокса 150–200 кг/т на образование 1 т шлака в доменном процессе за счет сокращения выхода шлака на 12,73 тыс. т экономия кокса может быть оценена следующим образом:

$$12,73 \text{ тыс. т} \cdot 175 \text{ кг/т} = 2,23 \text{ тыс. т/год.}$$

Всего экономия материалов при вводе в шихту доменного цеха 343,2 тыс. т брикетов составит, тыс. т/год:

- окатышей – 262,0;
- сырого известняка – 76,3;
- кокса скипового сухого – 33,25 тыс. т, с влажностью 6 % – 35,24 тыс. т.

В ходе переработки шламов содержание цинка снижается с 1670 т (0,495 %) до 630 т (0,2 %), с учетом этого при вводе брикетов, как добавки в шихту, из расчета 80 т брикетов на 1 т чугуна добавка Zn не превысит 0,175 кг/т.

Правильная оценка актуальности проблемы рециклинга отходов в условиях сегодняшнего дня диктует необходимость объединения усилий различных структур,

имеющих опыт по реализации конкретных проектов переработки отходов, включая промышленные, проектные, машиностроительные предприятия с образованием корпораций или других форм сотрудничества, способных комплексно решать те или иные проблемы с учетом особенностей и требований металлургического процесса.

В конце 2006 г. зарегистрирована корпорация переработчиков отходов промышленных производств Украины – «Укрпромпереработка», в состав которой вошли ПФГ «Конкорд», ОАО «Брикет», ООО «Завод Строммаш», ГП «УкрГИПРОМЕЗ».

Объединение научного, промышленного и финансового потенциала позволяет осуществлять комплексные мероприятия с гарантией, в короткий срок и с высокой эффективностью.

## ВЫВОДЫ

Строительство комплекса по утилизации мелкофракционных железосодержащих отходов Енакиевского металлургического завода является ресурсосберегающим и природоохранным мероприятием, что, в свою очередь, позволит:

- обеспечить переработку всего объема отходов текущего производства, тем самым остановить накопление отходов в отвалах;
  - получить дополнительную экономию железо-, углеродосодержащего сырья в количестве 297,3 тыс. т/год;
  - повысить качество агломерата и производительность аглофабрики за счет исключения из ее шихты пылевидных материалов;
  - уменьшить негативное воздействие отходов на окружающую природную среду.
- Срок окупаемости такого мероприятия – до двух лет.

*Поступила в редакцию 10.04.2008*

Залізовмісні відходи металургійного комплексу є дрібнофракційними і містять у своєму складі елементи, що негативно впливають на хід металургійного процесу.

У статті викладені пропозиції щодо підготовки відходів до грудкування (брикетування) шляхом магнітної, гідродинамічної переробки. На прикладі дослідження дрібнофракційних відходів металургійного заводу запропоновано схему їх комплексної переробки та аргументовано економічну доцільність використання залізовмісних брикетів при виробництві чавуну.

Iron bearing wastes of steel works consist of fine sized fractions and contain elements, which adversely affect the metallurgical process.

The article gives proposals on waste preparation and balling (briquetting) by its magnetic, hydrodynamic processing before briquetting. Based on examination of fine-sized wastes of steel works, a scheme is proposed for integrated processing of the same and economic efficiency of adding iron containing briquettes during ironmaking process is shown.