

Исследование металлоотходов, образующихся в литейных цехах

Студенты Мацинов С.А., Пацовский Н.В., Курач Д.И.
Научный руководитель Ровин С.Л.
Белорусский национальный технический университет
Республика Беларусь, г. Минск

В условиях дефицита качественных шихтовых материалов и постоянного увеличения их стоимости особую значимость для литейного производства представляет рециклинг собственных металлосодержащих отходов. При этом возврат в производство путем переплавки литниково-питающих систем, бракованных отливок, металлического скрапа является стандартным процессом и не требует особых усилий. Однако, когда речь заходит о дисперсных, многокомпонентных или окисленных отходах, таких как окалина, шлак, отходы дробы, пыль дробеочистки, абразивные шламы и т.п., возникают проблемы. В первую очередь это связано с отсутствием в современных чугунолитейных и сталеплавильных цехах плавильного оборудования, приспособленного для работы на дисперсной шихте и способного восстанавливать металл из оксидов и других соединений. В связи с этим практически все отходы подобного рода вывозятся и захораниваются на промышленных полигонах, и только 10-20% попадают на металлургические комбинаты, где используются в качестве добавок к рудному сырью, или находят применение в других отраслях хозяйственной деятельности. В тоже время количество подобных отходов составляет около 15-30% от объема производства отливок [1].

Для того, чтобы разработать или выбрать наиболее эффективные способы переработки образующихся отходов необходимо исследовать их структуру, состав и свойства. Одним из самых крупнотоннажных металлосодержащих отходов литейных цехов является шлак, который составляет около 60-70% от их общего количества. Так, например, в литейных цехах Минского тракторного завода ежегодно образуется примерно 25-30 тысяч тонн шлака. Образование шлаков неизбежно сопровождает любой процесс плавки металлов и сплавов, и практически всегда в шлаках содержится то или иное количество выплавляемого металла и его соединений. Наибольшее количество шлака образуется при электродуговой плавке – до 15-20% от массы жидкого металла. При этом в составе шлаков электродуговых сталеплавильных печей может содержаться до 30 % и более железа, в том числе до 12-15 % металлического – в виде корольков и скрапа. Применяемые сегодня технологии переработки шлаков включают в себя, как правило, следующие операции: первичное дробление крупной фракции; первичная магнитная сепарация; вторичное дробление отделенной немагнитной части шлака (> 80 мм); вторичная магнитная сепарация; грохочение отделенной магнитной части и сортировка полученного материала по группам. В процессе такой переработки, как правило, удается извлечь практически все относительно крупные металлические включения (от 10-30 мм и более), однако более мелкие частички металла и его оксиды остаются в шлаке. В результате представленной традиционной переработки шлака получают следующие продукты [2]:

- металлическая фракция с размерами кусков более 10-30 мм и степенью засоренности немалыми включениями не выше 10%, которая может быть использована для повторного переплава в электродуговых и индукционных печах;
- металлосодержащая фракция с размером частиц менее 10-30 мм, общим содержанием железа до 40-50% при количестве металлического железа 5-10%, которая сегодня практически не используется;
- немагнитный продукт, разделенный на фракции: 0-3 мм, 3-10 мм, 10-40 мм, 40-80 мм, который может использоваться в дорожном строительстве и при изготовлении стройматериалов.

Результаты анализа структуры и состава мелкодисперсной железосодержащей (отмагниченной) части шлака электродуговой сталеплавильной печи представлены на рис.1 и в таблице 1. Структура образца исследовалась с помощью сканирующего микроскопа «Tescan», определение элементного состава проводили на энергодисперсионном спектрометре INCA-

350. В таблице 1 приведен усредненный элементный состав отобранного материала (спектр 1), а также максимальное и минимальное значение по элементам в отдельных частицах шлака.

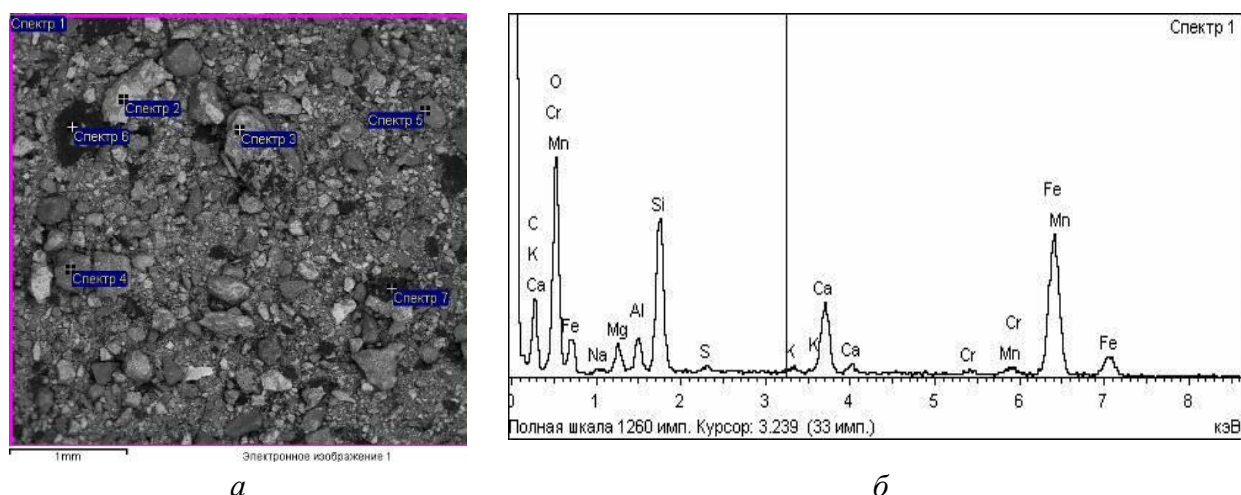


Рисунок 1 - Структура (а) и спектрограмма (б) омагниченного и измельченного шлака

Таблица 1. Элементный состав омагниченного шлака

Спектр	C	O	Na	Mg	Al	Si	S	K	Ca	Cr	Mn	Fe	Zn
Спектр 1	5.45	40.14	0.18	2.05	3.14	6.45	0.35	0.30	7.86	0.4	0.54	30.90	1.1
Макс. знач.	15.8	43.40	0.31	4.15	5.10	9.55	0.50	0.40	11.8	0.8	0.88	46.58	2.1
Мин. знач.	1.20	23.10	0.05	1.10	0.84	1.40	0.20	0.23	0.6	0.2	0.54	13.34	0.2

Фазовый анализ омагниченного шлака выполнялся с помощью дифрактометра ДРОН-3. Исследования показали, что оксиды железа составляют около 39-41% омагниченного шлака (Fe_2O_3 , Fe_3O_4 и FeO), металлическое железо – не более 1,5%, кроме того железо находится в шлаке в виде сульфида (FeS) и в составе более сложных соединений: силикатов ($Fe_7(SiO_4)_6O_6$) ~5,5%, алюмосиликатов ($Ca_5Si_2(FeAl)_{18}O_{36}$) ~1,5%, ферритов и др. Значительную долю даже после омагничивания в материале составляют: диоксид кремния – до 10-12%, глинозем – 5-7%, углерод и его соединения, а также соединения кальция и магния: оксиды, сульфиды, сульфиты и силикаты (Ca_3SiO_5 и $Ca_{1,7}Mg_{0,3}SiO_4$) – суммарно до ~12-14%.

Еще одним из неперенных железосодержащих отходов литейных цехов, где изготавливаются отливки в разовых формах, является пыль дробеочистки. На Минском тракторном заводе количество такой пыли составляет около 4 тыс. тонн в год. Пыль дробеочистки отливок представляет собой высокодисперсную смесь остатков формовочной смеси и металлической пыли, образующейся в результате разрушения самой дроби и абразивно-ударного воздействия на поверхность отливок. Фазовый анализ пыли дробеочистки чугунолитейного цеха №1 ОАО «МТЗ» показал, что около 70-73 % ее массы составляет диоксид кремния (SiO_2), «металлическая» части пыли (металл и оксиды железа, в основном – Fe_2O_3 и FeO) ~ 22-23 %, доля прочих компонентов равна 5-8%, в том числе глинозема ~3-5%, сажи и угольной пыли ~1-2%. Предварительное разделение пробы пыли дробеочистки на «металлическую» и неметаллическую составляющие может быть проведено путем омагничивания. Таким образом удастся отделить около 75% «балласта», в котором содержание железа ($Fe_{общ.}$) не превышает 3%. Далее проводился анализ отмагниченной части материала, результаты исследования представлены на рис.2 и в таблице 2.

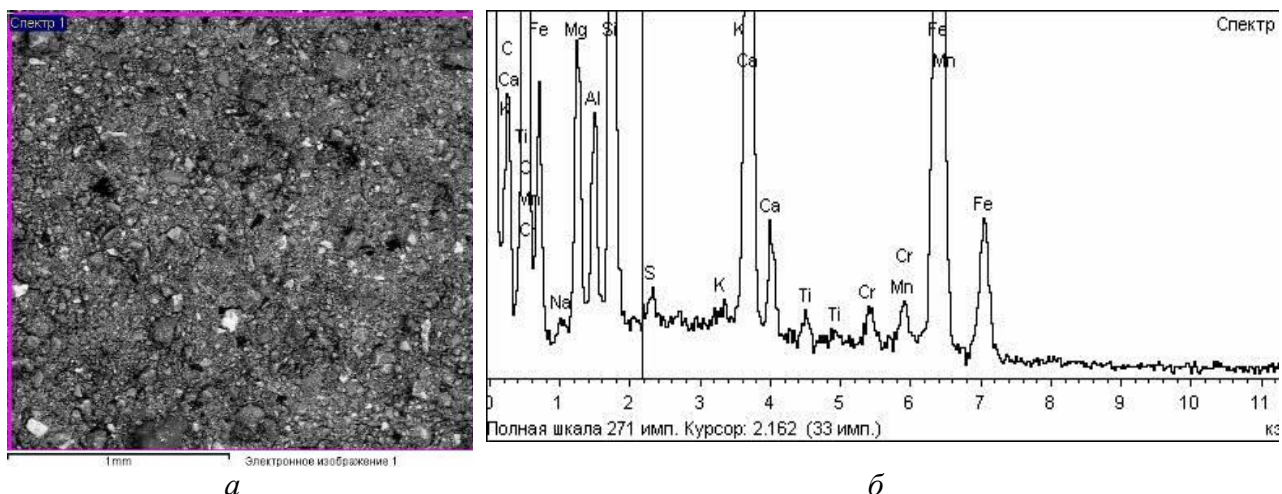


Рисунок 2 - Структура (а) и спектрограмма (б) отмагниченной части пыли дробеочистки

Таблица 2. Усредненный элементный состав отмагниченной части пыли дробеочистки

Наименование	Содержание элементов, %										
	C	O	Si	Al	Fe	Mn	S	Mg	Ca	Cr	Cu
Отмагниченная пыль дробеочистки	3,2	14,03	2,9	1.1	76,19	0,85	0,15	0,2	0,88	0,4	0,10

Одним из наиболее перспективных вариантов переработки исследованных дисперсных железосодержащих отходов является рециклинг в ротационных наклоняющихся печах (РНП). Сегодня РНП являются одним из самых эффективных агрегатов для термообработки и плавки дисперсных материалов. Постоянное перемешивание шихты во время нагрева и расплавления и ее интенсивное взаимодействие с высокоскоростным потоком газов-теплоносителей, совершающих петлеобразное циркуляционное движение, обеспечивают этим печам высокий КПД – до 50-55%, что сопоставимо с шахтными печами и в 2-4 раза превышает КПД всех других печей на стадии нагрева и расплавления. Большая горловина печи и возможность изменения наклона корпуса от -15° до $+30^{\circ}$ позволяют значительно сократить время загрузки РНП шихтовыми материалами, а также слива расплава и скачивания шлака. Это, в свою очередь, сокращает продолжительность полного цикла плавки и повышает фактическую производительность печи. Возможность регулирования соотношения газ/воздух и обогащения дутья кислородом позволяет управлять атмосферой в печи и осуществлять плавку как цветных, так и черных металлов [3].

Технологию рециклинга оксидных железосодержащих материалов в РНП можно условно представить, как двухстадийный процесс: I-я стадия – нагрев и твердофазное восстановление оксидов в присутствии твердого восстановителя; II-я стадия – расплавление, довосстановление металла (жидкофазное восстановление) и доводка расплава до заданного состава.

Техпроцесс плавки дисперсных металлических отходов в РНП включает в себя: высокотемпературный безокислительный нагрев, расплавление, при необходимости – науглероживание, выдержку, скачивание шлака и выдачу расплава в разливочный ковш или изложницы [4].

Наиболее рациональным вариантом переработки дисперсных металлоотходов в литейных цехах, где используются традиционные электрические плавильные печи, является организация дуплекс-процесса «РНП-ИЧТ» или «РНП-ДСП». При этом переплавка и восстановление дисперсных и оксидных металлоотходов осуществляется в РНП, а доводка полученного расплава по химическому составу – в электропечи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Воскобойников, В.Г. Общая металлургия / В.Г. Воскобойников, В.А. Кудрин, А.М. Якушев. – М.: Металлургия, 1998. – 768 с.
2. Чумаков, С.М. Переработка сталеплавильных шлаков и использование продуктов переработки / С. М. Чумаков, В. А. Костров, В. Я. Тишков и др. // Бюл. НТИ. Чер. металлургия. – 1998. – № 9. – С. 83-86.
3. Ровин, С. Л. Конструкция ротационных наклоняющихся печей: моделирование и расчет / С.Л. Ровин // Механическое оборудование металлургических заводов – 2016. – № 1. – С.30–47.
4. Ровин, С. Л. Использование ротационных печей для рециклинга железосодержащих отходов / С. Л. Ровин // Литье и металлургия. – 2014. – № 1. – С. 56-61.