

Таким образом, анализируя всю картину действия исследованных модификаторов, нельзя не отметить высокую эффективность влияния РЗМ на процесс зародышеобразования стали. Несмотря на дороговизну РЗМ, его использование очень выгодно, так как модифицирующее воздействие малых добавок РЗМ на морфологию неметаллических включений является процессом, легко реализуемым уже при минимальных содержаниях вводимых добавок. Кроме того, легкоплавкая основа комплексного модификатора на основе алюминия способствует его быстрому усвоению в процессе обработки жидкой стали.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гольштейн, Я. Е. Модифицирование и микролегирование чугуна и стали / Я. Е. Гольштейн, В. Г. Мизин. – М.: Металлургия, 1986. – 272 с.
2. Гуляев, А. П. Чистая сталь / А. П. Гуляев. – М.: Металлургия, 1975 – 184 с.
3. Лепинских, Б. М. Физико-химические закономерности и модифицирование железоуглеродистых расплавов / Б. М. Лепинских, И. И. Телицин. – М.: Наука, 1986. – 95 с.
4. Производство стальных отливок: учебник для вузов / Л. Я. Козлов [и др.]. – М.: МИСИС, 2003. – 352 с.

УДК 621.745.669.13

А. Г. СЛУЦКИЙ, канд. техн. наук, В. Н. ЯГЛОВ, д-р хим. наук,
В. А. СМЕТКИН, канд. пед. наук, С. В. ГРИГОРЬЕВ (БНТУ)

УТИЛИЗАЦИЯ МЕДЬСОДЕРЖАЩИХ ШЛАКОВ

Применение вторичного сырья при производстве медных сплавов является существенным резервом снижения себестоимости готовой продукции. Образующийся при выплавке различных марок бронзы шлак представляет собой конгломерат, содержащий металлические корольки и неметаллическую составляющую. Имеющиеся способы утилизации таких шлаков обладают рядом недостатков и, прежде всего, высокой энергоемкостью технологии [1].

В лабораторных условиях проведены эксперименты по механической обработке медьсодержащих шлаков на измельчительном

комплексе, который представляет собой сборную конструкцию, состоящую из мельницы, классификатора, циклона, вентилятора, воздуховода и бункеров (рис. 1).

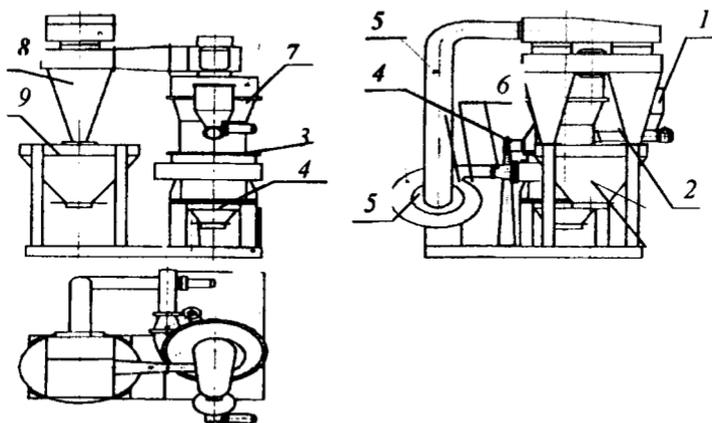


Рис. 1. Лабораторный измельчительный комплекс: 1 – приемный бункер; 2 – шнековый питатель; 3 – мельница; 4 – бункер для металлической фракции; 5 – вентилятор; 6 – шибер для регулировки давления воздуха; 7 – классификатор; 8 – осадительный циклон; 9 – бункер для дисперсной фракции

Исходный материал, предварительно пропущенный через сито с ячейкой 10 мм, поступает в приемный бункер 1. Далее шнековым питателем 2 подается в мельницу 3. Металлическая фракция после помола попадает в бункер 4, а мелкая фракция подхватывается воздушным потоком, создаваемым вентилятором 5 с регулируемым давлением посредством шибера 6 и попадает в классификатор 7. Здесь окончательно отделяется металлическая фракция, которая возвращается в бункер 4, а неметаллическая проходит через осадительный циклон 8 в бункер 9.

Измельчение шлака осуществляли по трем вариантам с использованием минимального (I) среднего (II) и максимального (III) дав-

ления воздушного потока. В результате такой механической обработки произошло разделение шлака на две части: металлическую тяжелую и мелкую (дисперсную) более легкую. В зависимости от давления воздушного потока содержание металлической фракции от массы загружаемого шлака изменялось от 40 до 84 % (рис. 2, табл. 1).



Рис. 2. Соотношение металлической и дисперсной частей медьсодержащего шлака после размола

Таблица 1. Результаты избирательного размола медьсодержащего шлака

Давление воздушного потока	Количество материала				
	Металлическая часть		Мелкая фракция		Всего загружено
	кг	%	кг	%	
I мин.	6,8	84	1,3	16	8,1
II ср.	8,5	76	2,7	24	11,2
III макс.	4,5	41	6,5	59	11,0

В качестве примера на рис. 3 представлены фотографии образцов исходного шлака и после избирательного помола по варианту II.



Рис. 3. Фотографии образцов исходного шлака и после избирательного помола по варианту II: а – исходный бронзовый шлак; б – металлическая фракция после размола; в – дисперсная фракция

Видно, что исходный шлак имеет различный дисперсный состав. Исследование методом ситового анализа фракционного состава шлака после избирательного помола показало, что металлическая часть состоит из частиц размером от 2,50 мм до 0,05 мм и менее (рис. 4, а). Максимальное количество приходится на фракции 0,6–0,2 мм. Дисперсная часть содержит в основном фракцию размером 0,10–0,05 мм (рис. 4, б).

а – металлическая часть



б – дисперсная часть

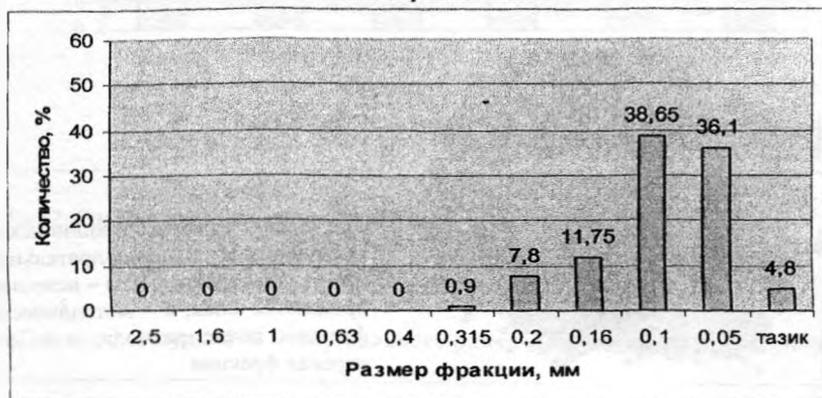


Рис. 4. Фракционный состав металлической и дисперсной частей медь-содержащего шлака (размол по варианту III)

Следует отметить, что в зависимости от варианта размола фракционный состав металлической части существенно не изменится. Что касается дисперсной составляющей шлака, то с увеличением давления воздушного потока при размолке материала доля мелкой фракции значительно возрастает.

Результаты химического анализа, проведенного в лаборатории механико-технологического факультета на установке Spectro scan MAX-GV, показали, что металлическая и дисперсная составляющие шлака отличаются по составу (табл. 2).

Таблица 2. Химический состав металлической и дисперсной частей медьсодержащего шлака

Наименование	Содержание элементов, %							Прочие элементы, %			
	Cu	Zn	Sn	Pb	Al	Fe	Si	Ca	Mn	S	P
Дисперсная часть (вариант I)	19,3	11,2	1,04	2,6	18,2	6,3	27,6	9,49	1,17	0,46	0,46
Дисперсная часть (вариант III)	23,6	9,2	1,05	1,6	14,9	4,5	34,1	7,44	0,69	0,48	0,47
Металлическая часть (после сплавления)	87,2	2,8	3,4	1,5	0,05	3,6	0,33	—	0,3	0,07	0,21

Из представленных в табл. 2 данных видно, что дисперсная часть шлака содержит 19–23 % меди, небольшое количество олова, свинца, значительное количество цинка, алюминия и кремния. Металлическая часть состоит на 87 % из меди с незначительным количеством олова, свинца, железа.

Методом рентгенофазового анализа на установке ДРОН-3 установлено, что в различных фракциях шлака медь содержится как в чистом виде, так и в соединении с кислородом.

Ранее проведенные исследования и термодинамические расчеты [2–4] показали реальную возможность восстановления ряда легирующих элементов, и особенно меди, из шлаковой фазы в процессе выплавки железоуглеродистых сплавов. Для подтверждения

этого в лабораторных условиях проводились опытные плавки чугуна с добавками в качестве легирующей присадки дисперсной части медьсодержащего шлака. Легирование осуществлялось по двум вариантам.

По первому варианту легирующая присадка вводилась в ковш под струю жидкого металла.

По второму варианту дисперсная медьсодержащая фракция вводилась в индукционную печь в составе твердой металлозавалки.

Полученные результаты представлены в табл. 3, 4.

Таблица 3. Результаты легирования чугуна

Наименование материала	Количество жидкого чугуна в ковше, кг	Количество вводимого материала, г	Содержание меди, %			Степень усвоения, %
			Cu	Si	Mn	
Дисперсная фракция (1)	25	150	0,09	0,8	0,37	85
Дисперсная фракция (2)	25	150	0,103	2,2	0,42	86
Дисперсная фракция (3)	25	150	0,125	2,11	0,58	87

Таблица 4

Наименование материала	Добавка в шихту, г	Количество шихты, кг	Содержание, %		Степень усвоения, %
			Si	Cu	
Исходный чугун		50	1,6	—	—
Дисперсная фракция (образец 1)	500	50	1,7	0,18	93
Дисперсная фракция (образец 2)	500	50	2,0	0,19	95
Дисперсная фракция (образец 3)	650	65	1,83	0,21	91

Таким образом, проведенные комплексные исследования фракционного, химического, рентгенофазового состава медьсодержаще-

го шлака, а также лабораторные испытания технологии легирования позволяют наметить пути его утилизации, которые включают:

- 1) предварительный размол материала и разделение на металлическую и дисперсную части;
- 2) использование металлической части шлака в качестве шихтовой составляющей при выплавке бронзы;
- 3) экономное легирование высокоуглеродистых сплавов железа медью с использованием дисперсной части по различным вариантам.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Задиранов, А. Н.* Исследование и оптимизация процессов утилизации металла из медьсодержащих шлаков, образующихся в плавильно-литейных цехах металлургических предприятий: автореф. ... канд. техн. наук / А. Н. Задиранов. – М., 1993.
2. *Слуцкий, А. Г.* Исследование особенностей легирования гильзового чугуна медьсодержащими отходами / А. Г. Слуцкий, Р. Э. Трубицкий, В. А. Сметкин // *Литье и металлургия.* – 2005. – С. 113–116.
3. *Казачков, Е. Л.* Расчеты по теории металлургических процессов / Е. Л. Казачков. – М.: Металлургия, 1988. – 288 с.
4. Экономное легирование железоуглеродистых сплавов / С. Н. Леках [и др.]. – М.: Наука и техника, 1996. – 173 с.

УДК 621.783

Н. Л. МАНДЕЛЬ, канд. техн. наук,
П. Э. РАТНИКОВ, канд. техн. наук,
Р. Б. ВАЙС, канд. техн. наук,
Н. Г. МАЛЬКЕВИЧ, канд. техн. наук (БНТУ)

ВЫБОР ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ СОВРЕМЕННЫХ ГОРЕЛОЧНЫХ УСТРОЙСТВ СТРУЙНОГО ТИПА, ТРЕБУЮЩИХ УЧЕТА ПРИ СОЗДАНИИ ИНЖЕНЕРНЫХ МЕТОДИК НАГРЕВА МЕТАЛЛА

В последнее время ведущими фирмами в области строительства металлургических печей исследуются и находят практическое применение различные способы интенсификации тепловой работы печей путем повышения конвективной составляющей теплообмена (в частности, за счет организации струйного конвективного теплообмена). В связи с этим актуальны теоретические и эксперименталь-