



УДК 669.

Поступила 16.08.2013

В. Л. НАЙДЕК, В. И. КУРПАС, С. Г. МЕЛЬНИК, Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины

## ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ШЛАКОВ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА В МЕТАЛЛУРГИИ

*Выполнена сравнительная оценка энергоемкости производства конвертерной стали при различных вариантах выплавки с обработкой шлаками в сталеразливочном ковше. Анализ полученных данных показывает, что применение при производстве стали жидких сталеплавильных шлаков для ее рафинирования позволяет экономить около 2,2 ГДж или 75 кг у. т. на каждой тонне металла.*

*A comparative assessment of energy intensity of converter steel production in different types of smelting with slag processing in the ladle was made. Analysis of the data shows that the use of liquid steel slag in steel production for its refining saves about 2.2 GJ or 75 kg of coal equivalent for each ton of metal.*

В последнее время все большее внимание уделяется исследованиям, направленным на разработку технологических вариантов использования шлаковых отходов металлургического производства [1–4]. Цель применения шлаков в твердом и жидком состояниях – рафинирование металла от вредных примесей (десульфурация и дефосфорация металла), частичная замена материалов (например, извести и известняка, плавикового шпата), повышение выхода годного в результате алюмотермических процессов восстановления металлов из оксидов и снижения отсортировки металлопродукции. Значительную роль в снижении энергетических потерь при производстве металла играет энергетическая субдоминанта применения жидких шлаков в сталеплавильном производстве. Поэтому оценка процессов использования шлаковых расплавов сталеплавильного передела с позиций энерго- и ресурсосбережения является весьма актуальной.

В настоящей работе выполнена сравнительная оценка энергоемкости конвертерной стали с долей металлолома в шихте 25 %, получаемой по традиционной технологии с внепечным рафинированием чугуна, гранулированным магнием (0,0015 % от массы чугуна), стали – известково-глиноземистым шлаком (4 % от массы металла) и с использованием в технологическом цикле регенерированных сталеплавильных шлаков соответствующего состава для обработки чугуна и стали (4 % от массы металла) и в шихту (5 % от массы металла) взамен извести. При выполнении расчетов в энергоемкость отнесли затраты первичной энергии (на-

копление потенциальной тепловой энергии), в том числе затраты на получение и транспортировку сырья и топлива. Также учли теплотворную способность топлива.

При определении энергоемкости магния и алюминия к первичной энергии на их получение добавили потери тепла на образование их оксидов, которые составляют около 12 МДж/т металла. С учетом этого энергозатраты на производство указанных металлов составили 175,5 и 186,0 МДж/т соответственно. Энергоемкость отсевов алюминиевой стружки, используемых в процессе регенерации шлаков, приняли равной 30 % от затрат первичной энергии на производство алюминия.

При определении расхода восстановителей (алюминия и антрацита) приняли, что алюминием восстанавливается 80 % железа и весь объем марганца и фосфора. Оставшееся железо восстанавливается углеродом антрацита. В этом случае антрацит является теплоносителем и поддерживает восстановительную атмосферу в реакторе. Потери алюминия за счет его угара приняли равными 20 %.

В табл. 1 приведены данные, которые были использованы при расчете энергоемкости синтезированного шлака, полученного в реакторе из конечного конвертерного шлака. Расчетная удельная энергоемкость синтезированного шлака составила 5930 МДж/т.

Таким образом, при рафинировании стали в ковше синтезированным шлаком в количестве 4 % от массы металла ее энергоемкость увеличивается на 237 МДж/т.

В табл. 2 представлены данные для расчета энергоемкости регенерированного шлака в шлаковом миксере. Расчетная удельная энергоемкость регенерированного шлака составила 1540 МДж/т.

Т а б л и ц а 1. Затраты первичной энергии на получение синтезированного шлака в реакторе

Материал	Удельный расход на 1 т шлака, ед.	Удельная энергоемкость, МДж/ед.	Затраты первичной энергии, МДж/т шлака
Конвертерный шлак, кг	1000	–	–
Отсевы Al стружки, кг	73	70,5	5146
Антрацит, кг	15	31,0	465
Известь, кг	64	5,4	346
Плавленый шпат, кг	16	1,0	16
Огнеупоры, кг	10	16,5	165
Природный газ, м <sup>3</sup>	20	37,6	752
Металлический осадок, кг	160	60	- 960
Всего	–	–	5930

Т а б л и ц а 2. Затраты первичной энергии на регенерацию шлака в миксере

Материал	Удельный расход на 1 т шлака, ед.	Удельная энергоемкость, МДж/ед.	Затраты первичной энергии, МДж/т шлака
Сталеплавильный шлак, кг	1000	–	–
Антрацит, кг	25	31,0	775
Плавленый шпат, кг	50	1,0	50
Огнеупоры, кг	10	16,5	165
Природный газ, м <sup>3</sup>	10	37,6	376
Кислород, м <sup>3</sup>	30	5,8	174
Всего	–	–	1540

При использовании регенерированного в миксере шлака для десульфурации чугуна за счет повышения его выхода на 0,65 % достигается эконо-

мия первичной энергии, равная 70 МДж/т. При использовании его в качестве шлакообразующего материала в плавильном агрегате энергоемкость процесса выплавки стали дополнительно снижается на 309 МДж/т за счет увеличения на 1,4 % выхода жидкого металла и на 81 МДж/т за счет уменьшения расхода извести в шихту на 15 кг/т. С учетом затрат (77 МДж/т) на получение регенерированного шлака в количестве 5 % от массы металла экономия первичной энергии составляет более 300 МДж/т стали.

Суммарные затраты на получение стали с применением регенерированных в миксере и синтезированных в реакторе шлаков составляют:

$$21800 + 237 - 70 - 313 = 21654 \text{ МДж/т.}$$

Энергоемкость внедоменной десульфурации по традиционной технологии (гранулированным магнием) с расходом реагента 0,0015 % от массы металла составляет 212 МДж/т стали.

Расчетные затраты первичной энергии при ковшевом рафинировании стали известково-глинозелистым шлаком в количестве 4 % увеличиваются на 1829 МДж/т стали, в том числе при производстве извести и глинозема – на 704, а при получении рафинировочного шлака – на 1125 МДж/т стали.

Общие энергозатраты на производство конвертерного металла с внепечной обработкой чугуна и стали по традиционной технологии составляют:

$$21800 + 1829 + 212 = 23841 \text{ МДж/т.}$$

Таким образом, применение в процессах производства стали жидких сталеплавильных шлаков, доведенных до необходимого состава в миксере и реакторе, позволяет экономить на каждой тонне металла около 2,2 ГДж или 75 кг у. т.

### Литература

1. Найдек В. Л., Курпас В. И., Мельник С. Г., Поживанов М. А. Рециркуляция шлака в технологических процессах производства стали // *Сталь*. 2009. № 8. С. 27–31.
2. Васильев П. Г., Ризун Д. В., Васильева Т. П. Эколого-экономические аспекты утилизации мелкодисперсных отходов с использованием тепловой энергии жидких сталеплавильных шлаков // *Сталь*. 2003. № 6. С. 87–91.
3. Шахова В. И., Пинчук С. И. Вторичные ресурсы металлургии. Днепропетровск: РИА «Днепр – VAL», 2009.
4. Найдек В. Л., Курпас В. И., Мельник С. Г. Переработка и использование сталеплавильных шлаков // *Металл и литье Украины*. 2013. № 3. С. 3–8.