

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

Академик Э. В. БРИЦКЕ, К. Х. ТАГИРОВ и И. В. ШМАНЕНКОВ

**ПРОБЛЕМА ПЛАВКИ ВЫСОКОТИТАНИСТЫХ ШИХТ  
В ДОМЕННЫХ ПЕЧАХ**

Более ста лет велись многочисленные исследовательские работы и промышленные опыты в направлении разрешения вопроса использования титано-магнетитовых руд. Решение этого вопроса для СССР имеет актуальное народнохозяйственное значение. Благодаря наличию в этих рудах титана и ванадия и небольшому содержанию в них фосфора и серы титано-магнетитовые месторождения являются важной сырьевой базой для развития качественной металлургии и основной сырьевой базой для развития производства ферро-ванадия, ферро-титана и других сплавов и соединений этих металлов.

Наиболее рациональным оказался путь их металлургической переработки с получением ванадиевого чугуна и высокотитанистого шлака.

Титано-магнетитовые руды по содержанию в них  $TiO_2$  можно подразделить на высокотитанистые и низкотитанистые магнитные железняки. Содержание  $TiO_2$  в высокотитанистых магнитных железняках колеблется в пределах от 7 до 15%.

Содержание  $TiO_2$  в низкотитанистых магнитных железняках колеблется в пределах от 2 до 7%. Руды же с содержанием  $TiO_2$  до 2% могут быть отнесены к категории обычных железных руд.

Проковка высокотитанистых магнитных железняков требует особых условий ведения доменного процесса с применением в шихте щелочных горных пород (метод, предложенный и разработанный авторами). При плавке их получают высокотитанистые силикатные доменные шлаки. Эти руды могут быть проплавлены также в смеси с обычными железными рудами и без добавок щелочных горных пород в шихту при условии содержания  $TiO_2$  в полученном при этом шлаке не более 10%.

Низкотитанистые магнитные железняки хорошо переплавляются и в обычных условиях ведения процесса.

К высокотитанистым магнитным железнякам в СССР могут быть отнесены руды Кусинского, Копанского месторождений и титано-магнетитовый концентрат месторождения Пудож-Гора.

К низкотитанистым магнитным железнякам: руды Первоуральского, Качканарского, Васильевского и ряда других месторождений. К ним можно отнести и титано-магнетитовые пески Кавказского Черноморского побережья.

При доменной плавке сырых титано-магнетитов основными трудностями являются систематически повторяющиеся зависания, приход в гор

неподготовленных масс и загустевание шлаков. Это вначале приводит к снижению производительности доменной печи и затем к полному расстройству ее хода.

Исследования процессов восстановления и плавки титано-магнетитов показали, что эти явления возникают благодаря трудновосстановимости ильменитовой части руды и высокой температуре образования титанистых шлаков.

Указанные трудности процесса устраняются при введении в шихту щелочных соединений, например, щелочных горных пород—нефелиновых спенитов, каменной соли и т. п. Практика работы ряда доменных печей на Урале с добавкой в шихту щелочных соединений показала полную возможность бесперебойного ведения нормально протекающего доменного процесса.

Благоприятное действие щелочей объясняется участием окислов щелочных металлов в процессах восстановления ильменита и титано-магнетита. Под воздействием щелочных окислов при температурах порядка 800—900° происходит распад ильменита с образованием титанатов щелочей, что ускоряет восстановление закиси железа. В зонах более высоких температур титанаты щелочей вступают в реакцию с известью, переходя в кальций титанат, растворяющийся в силикатных расплавах. Этому способствует наличие в доменной шихте сравнительно легкоплавких щелочных алюмосиликатов (нефелиновых спенитов).

Исследование вопросов, связанных с поведением щелочей в доменном процессе, говорит об определенном их круговороте. Вводимые в шихту щелочи в большей своей части переходят в шлак (около 80%), остальное количество их испаряется из расплавленного шлака, частью уносится с колошниковыми газами (до 5%), а остальная часть (до 15%) реагирует вновь с шихтой. Постоянный режим доменного процесса должен быть регулируем количеством загружаемых в доменную печь щелочных соединений.

Доменные шлаки, получаемые при плавке титано-магнетитов, являются титанистыми силикатными шлаками. Они в зависимости от увеличения содержания в них окислов титана все более резко отличаются по своим свойствам от силикатных и алюмосиликатных шлаков доменного производства.

Причиной этому является то обстоятельство, что в противоположность типичным стеклообразующим окислам  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{GeO}_2$  и др. окись титана не способна к стеклообразованию, чем и объясняется значительная склонность титанистых шлаков к быстрой кристаллизации.

Имеющиеся, а также полученные нами данные о вязкости силикатных и титанистых силикатных шлаков подтверждают эти соображения. Кислые доменные шлаки обладают вязкостью до 25 пуаз, основные шлаки от 1 до 6 пуаз. Титанистые же шлаки, содержащие от 10 и более процентов  $\text{TiO}_2$ , имеют вязкость ниже 1 пуаза.

Чем больше содержание окиси титана в шлаке при соответственном уменьшении в нем  $\text{SiO}_2$ , тем менее вязкость этих шлаков. Вязкость высокотитанистых шлаков снижается до 0,2 пуаза.

Другая особенность титанистых силикатных шлаков—многовалентность титана. В восстановительных условиях доменного процесса четырехвалентный титан в той или иной мере переходит в трехвалентную и при очень высокой температуре и в двухвалентную форму. Эти две особенности резко отличают титанистые силикатные шлаки от алюмосиликатных доменных шлаков и соответственно влияют на ход доменного процесса.

Результаты наших исследований свойств титанистых силикатных шлаков и данные проведенных нами заводских опытов в 1931 г. на Верхне-Туринском, в 1932 г. на Нижне-Тагильском и в 1939 г. на Чусовском заво-

дах указывают на допустимость значительного колебания в содержании отдельных компонентов в шлаке, не изменяя основных свойств этих шлаков.

В целях обеспечения нормального обессеривания выплавляемых чугунов при расчете шихты следует содержание окислов щелочных и щелочноземельных металлов держать в пределах от 35 до 42% (из них около 2%  $R_2O$ ). Основность этих шлаков, подсчитанная согласно отношению

$$\frac{CaO + MgO + R_2O + Ti_2O_3}{SiO_2 + TiO_2},$$

должна колебаться в пределах 1,0—1,2\*. Дальнейшее повышение основности приводит к получению тугоплавких шлаков.

Соблюдение указанных выше условий позволяет получать ванадиевый чугун с низким содержанием кремния, титана и марганца, годный для передела. При этих условиях обеспечивается переход ванадия из руды в чугун в количестве не менее 85%. Передел указанного типа чугунов, как показали опыты, проведенные нами еще в 1931 г. на заводе им. Петровского, в дальнейшем повторенные на Орджоникидзевском заводе (Донбасс), дают возможность получать при кислом процессе (в конверторе) богатые ванадием шлаки с содержанием до 25%  $V_2O_5$ . Эти шлаки легко перерабатываются на ферро-ванадий.

В результате проведенной нами при участии Уральского института металлов опытной плавки на Чусовском металлургическом заводе в ноябре 1939 г. способ доменной плавки с применением в шихте щелочных горных пород внедрен в промышленность на Чусовском и Кушвинском заводах.

При доменной плавке титано-магнетитов Кусинского и Копанского месторождений и концентратов от обогащения титано-магнетитов Пудожгорского месторождения можно получить шлаки с содержанием до 25%  $TiO_2$  (при плавке на коксе) и до 35%  $TiO_2$  (при плавке на древесном угле).

Гранулированные титанистые шлаки могут быть использованы для извлечения окиси титана и для получения специальных цементов и различных солей титана. Это обстоятельство наряду с получением ванадиевого чугуна позволяет считать, что доменная плавка необогащенных титано-магнетитовых руд является наиболее рациональным способом комплексного использования железа, ванадия и титана, находящихся в титано-магнетитовых рудах.

По сравнению с существующим методом переработки титано-магнетитовых руд с предварительным их обогащением и аггломерацией выделенного железо-ванадиевого концентрата предлагаемый метод резко сокращает потери ванадия и титана, так как устраняется потеря ванадия и титана, получаемая при обогащении (35% от всего количества ванадия и 40% от всего количества титана, находящегося в рудах).

Таким образом предлагаемый метод дает возможность получать новый вид титанистого сырья (шлак) в качестве отхода доменного производства без большой потери ванадия и титана.

Переработка шлаков с целью получения окиси титана проще, чем переработка ильменитового концентрата, получаемого при обогащении титано-магнетитовых руд. Кроме того предлагаемый метод может быть признан универсальным для титано-магнетитовых руд всех месторождений, в то время как ныне существующий метод пригоден только для руд Кусинского месторождения.

Поступило  
23 X 1940

\* Сумма низших окислов титана пересчитана на  $Ti_2O_3$ . Содержание  $Al_2O_3$  не принимается во внимание, так как количество его в шлаке колеблется в небольших пределах (15—17%).