

# РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ВАНАДИЙСОДЕРЖАЩИХ ТИТАНОМАГНЕТИТОВ

**Д. Э. Манзор, Б. С. Тлеугабулов**

Нижнетагильский технологический институт (филиал) Уральского федерального университета им. первого Президента России Б.Н. Ельцина  
Россия, 622013, г. Нижний Тагил, ул. Красногвардейская, 59

*В статье исследуется проблема селективного разделения ванадийсодержащих титаномагнетитов с разделением на магнетитовый и ильменитовый концентраты. Магнетитовый концентрат используется по существующему способу переработки с получением окатышей, выплавка ванадиевого чугуна и получение товарного шлака, при этом улучшаются технико-экономические показатели сквозного передела. Ильменитовый концентрат пригоден для получения ферротитана и возможно титановой губки. Потребителями данной технологии являются предприятия черной и цветной металлургии.*

**Ключевые слова:** ванадийсодержащий титаномагнетит, селективное обогащение, магнитная сепарация, магнетитовый концентрат, ильменитовый концентрат, ванадиевый чугун, ферротитан.

## DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY OF COMPLEX PROCESSING OF VANADIUM TITANOMAGNETITE

**D. E. Manzor, B. S. Tleugabulov**

Nizhny Tagil Technological Institute (branch) of the Ural Federal University named after the first President of Russia Boris Yeltsin  
59 Krasnogvardeyskaya St., 622013, Nizhny Tagil, Russia

*In the article the problem of selective separation of vanadium titanomagnetite division on magnetite and ilmenite concentrates. Magnetite concentrate is used for the existing processing method to produce pellets, smelting vanadium iron and slag to obtain a trade, with improved technical and economic performance through redistribution. Ilmenite concentrate suitable for the production of ferrotitanium and titanium sponge possible. The consumers of this technology are ferrous and non-ferrous metallurgy.*

**Keywords:** vanadium titanomagnetite, selective enrichment, magnetic separation, magnetite concentrate, ilmenite concentrate, vanadium iron, ferrotitanium.

Одними из широко используемых в промышленности химических элементов являются ванадий и титан. Существенное количество их потребления около 90% приходится на черную и цветную металлургию. Основными производителями ванадия являются (2011 г.): Китай – 52%, ЮАР – 16%, Россия – 15%, европейские страны – 8%, США – 6%, остальные страны – 3%. Россия обладает огромными титаномагнетитовых ванадийсодержащих руд – около 50% мировых запасов железных руд этого типа. В структуре общих запасов железа, титана и ванадия они имеют значительную долю: 18% Fe, 59% TiO<sub>2</sub> и 92% V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

Наибольшее распространение получила пирометаллургическая переработка ванадийсодержащего титаномагнетитового сырья по коксо доменной или бескоксовой технологическим схемам. При этом процессы восстановительной плавки титаномагнетитов с получением чугуна осуществляется соответственно в доменных печах или в рудотермических электропечах.

Существующая схема переработки титаномагнетитов включает получение железорудного титан ванадийсодержащего концентрата; получение из него агломерата и окатышей; проплавка окучкованного сырья в доменной печи; переработка чугуна на стальной полупродукт и товарный ванадиевый шлак. Товарный ванадиевый шлак используется для получения пентаоксида ванадия и феррованадия, а стальной полупродукт после дальнейшей обработки идет на получение стального проката. Недостатком существующей схемы является то, что титан, содержащийся в исходном сырье не извлекается и теряется с отходами на различных этапах передела (хвосты, шлаки и др.) Более того, повышенное содержание титана в доменной шихте затрудняет ведение процесса в связи с тугоплавкостью соединений титана.

Все титаномагнетитовые руды России для пирометаллургической переработки требуют обогащения, при этом выделяются магнетитовый (железованадиевый) и ильменитовый концентраты. Существующая переработка руды на ОАО «ЕВРАЗ КГОК» предусматривает получение в результате обогащения концентрата мокрой магнитной сепарации с содержанием железа 61-62%. Минеральный состав данного материала примерно на 90% представлен магнетитом (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) и ильменитом (FeTiO<sub>3</sub>) в виде продуктов распада их твердого раствора. При различных условиях кристаллизации руды могут получать крупнозернистое строение, позволяющее производить разделение титана от железа путем магнитной сепарации, но иногда прорастание бывает настолько тонким, что процесс этот становится трудновыполнимым.

Тем не менее, как ранее известные комбинированные способы обогащения, так и недавно разработанный метод электросепарации позволяют все же разделять магнетит и ильменит при более тонком измельчении концентрата. Метод обогащения подразделяется на две стадии: первая стадия заключается в гравитационном обогащении с получением общего концентрата, а вторая заключается в собственно в селекции общего концентрата методами мокрой магнитной сепарации с получением индивидуальных магнетитового и ильменитового концентратов. Селекция общих концентратов основана на использовании в различном сочетании электромагнитной и электростатической сепарации. Наибольшей магнитной восприимчивостью среди входящих в состав общих концентратов минералов обладает ильменит. Это существенно повышает содержание железа в окучкованных продуктах, но увеличивает их себестоимость, а также потери железа. Получаемый же в качестве побочного продукта ильменитовый концентрат не удовлетворяет требования тради-

ционных потребителей по содержанию  $TiO_2$  и  $SiO_2$ .

Планируемая разработка Собственно Качканарского месторождения приведет к увеличению содержания в окатышах  $TiO_2$  с 2.5 до 4% и в еще большей степени (примерно в 1.8 раза) содержание оксида титана в шлаке (табл. 1). Это значительно снизит металлургическую ценность железорудного сырья для доменного передела.

Таблица 1.

#### Химический состав общего концентрата из руды, %

| Месторождение           | Концентрат        |                  |                               |                                                  |                                            |
|-------------------------|-------------------|------------------|-------------------------------|--------------------------------------------------|--------------------------------------------|
|                         | Fe <sub>общ</sub> | TiO <sub>2</sub> | V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /Fe <sub>общ</sub> | TiO <sub>2</sub> /(100-Fe <sub>общ</sub> ) |
| Гусевогорское           | 60                | 2.5              | 0.56                          | 9.06·10 <sup>-3</sup>                            | 6.54·10 <sup>-2</sup>                      |
| Собственно Качканарское | 62.8              | 4.04             | 0.58                          | 9.23·10 <sup>-3</sup>                            | 10.86·10 <sup>-2</sup>                     |

С другой стороны появляются предпосылки для более рентабельного извлечения титана, что является актуальным в масштабе страны. В России ограничена собственная сырьевая база – основные поставки титаносодержащего сырья осуществляются из Украины. Объем титаносодержащего сырья в России почти в 3 раза меньше, чем в Украине. Внедрение данной разработки позволит снизить импортозависимость от производителей титаносодержащего сырья. В связи отсутствием запасов богатых ванадиевых руд обеспечение ванадием в России достигается только за счет комплексной переработки ванадийсодержащих титаномагнетитовых руд.

Поэтому необходимо вновь рассмотреть целесообразность селективного разделения титаномагнетитового концентрата на магнетитовый и ильменитовый. Такого рода анализ должен осветить два основных аспекта: во-первых, оценка допустимых затрат на дополнительное обогащение, во-вторых, рациональное использование ильменитового концентрата.

Целью данного исследования является совершенствование обогащения руды, т.е. разделение материала на магнетит и ильменит, получение сплава ферротитана и доменная выплавка ванадиевого чугуна.

На основании результатов исследовательских работ по дополнительному обогащению концентрата из руды Собственно Качканарского месторождения, рассчитаны ожидаемые химические составы получаемых магнетитового и ильменитового концентратов, а также их выходы. Выход магнетитового концентрата составил 81.3%, выход ильменитового – 18.7% (табл. 2). Стоит отметить, что расчетные результаты химического состава магнетитового и ильменитового концентратов подтвердились проведенным лабораторным опытом на магнитном анализаторе.

Таблица 2.

#### Химический состав концентратов после селективного обогащения, %

| Компоненты                     | Магнетитовый | Ильменитовый |
|--------------------------------|--------------|--------------|
| Fe <sub>общ</sub>              | 67.81        | 40.61        |
| FeO                            | 30.3         | 23.93        |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 63.2         | 31.43        |

|                                |       |       |
|--------------------------------|-------|-------|
| V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0.64  | 0.32  |
| TiO <sub>2</sub>               | 1.24  | 16.59 |
| CaO                            | 0.5   | 2.71  |
| MgO                            | 1.01  | 8.43  |
| SiO <sub>2</sub>               | 0.88  | 9.2   |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 2.08  | 6.2   |
| Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.03  | 0.02  |
| MnO                            | 0.11  | 1.15  |
| S <sub>общ</sub>               | 0.005 | 0.022 |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0.003 | 0.015 |

Поскольку тонина помола при селективном разделении исходного концентрата существенно изменяется, принято, что полученный магнетитовый концентрат будет использоваться только для производства окатышей (табл. 3).

Таблица 3.

#### Химический состав окатышей, %

| Fe <sub>общ</sub> | FeO | V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | TiO <sub>2</sub> | CaO  | MgO  | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | MnO  | S <sub>общ</sub> | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> |
|-------------------|-----|-------------------------------|------------------|------|------|------------------|--------------------------------|------|------------------|-------------------------------|
| 65.49             | 2.0 | 0.62                          | 1.19             | 0.49 | 0.99 | 1.13             | 2.08                           | 0.11 | 0.001            | 0.003                         |

В результате внедрения в доменное производство данных окатышей, получаем ванадиевый чугун (табл. 4). Также в сопоставлении с существующим процессом, ожидается повышение технико-экономических показателей доменной плавки. Содержание общего железа в шихте увеличится на 6%, снизится эквивалентный расход кокса на 27.2 кг на тонну чугуна, сократится выход шлака на 100 кг на тонну чугуна, увеличится среднесуточная производительность доменного цеха на 7.4%.

Таблица 4.

#### Химический состав ванадиевого чугуна, %

| C    | Si   | Mn   | S     | V   | Ti  | P     |
|------|------|------|-------|-----|-----|-------|
| 4.76 | 0.09 | 0.25 | 0.018 | 0.5 | 0.9 | 0.024 |

В результате доменного передела получаем также товарный ванадиевый шлак пригодный для получения пятиоксида ванадия и феррованадия (табл. 5). Шлак уходит на дробление, измельчение и отчистку от корольков железа, затем на окислительно-натрирующий обжиг и в конце на водное или кислотное выщелачивание с получением готовой пятиоксида ванадия.

Таблица 5.

#### Химический состав шлака, %

| SiO <sub>2</sub> | CaO   | MnO  | MgO   | TiO <sub>2</sub> | V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | S <sub>общ</sub> | FeO  | Основность |
|------------------|-------|------|-------|------------------|-------------------------------|--------------------------------|------------------|------|------------|
| 26.34            | 31.35 | 0.48 | 11.18 | 9.8              | 0.33                          | 19.02                          | 0.89             | 0.94 | 1.19       |

Полученный ильменитовый концентрат после селективного разделения пригоден для производства ферротитана или титановой губки, например, с добавкой твердого углеродистого восстановителя (антрацита) производится плавка в электропечи с получением титанового шлака и предельного чугуна, затем титановый шлак подвергается хлорированию. Продукт, получаемый после передела, соответствует по химическому составу ГОСТ 4761-91 на ферротитан марки ФТ25 (табл. 6).

Таблица 6.

## Химический состав полученного металла, %

| Ti   | Al    | Si    | Mn   | C    | P     | S    |
|------|-------|-------|------|------|-------|------|
| 50.5 | 22.24 | 20.45 | 0.28 | 0.93 | 0.004 | 0.05 |

Таким образом, Россия обладает огромными запасами титаномагнетитовых руд, в которых сосредоточены основные запасы ванадия и титана. В настоящее время перерабатываются малотитановые руды Гусевгорского и Качканарского месторождений с извлечением железа и ванадия. С будущей разработкой Собственно Качканарского месторождения содержание титана в руде повысится минимум в 2 раза, что позволит использовать селективное разделения и извлекать помимо железа и ванадия еще и титан.

Первоочередными задачами по развитию ванадиевого комплекса России для увеличения объемов производства и наиболее полного извлечения ванадия и титана, снижения себестоимости продукции и улучшение экологической обстановки является дальнейшая реконструкция и модернизация доменного и сталеплавильного производств, ввод новых современных мощностей по переработке ванадиевого шлака.

Наличие в России имеющейся и перспективной сырьевой базы для организации крупномасштабного производства ванадиевых и титановых продуктов, комплексный характер проблем ванадия и титана, высокая эффективность их при-

менения вызывают необходимость создания с активным участием государства национальной программы по расширению применения ванадия и титана в различных отраслях промышленности.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Смирнов, Л. А. Кушнарв, А. В. Современное состояние и перспективы титаномагнетитового ванадийсодержащего сырья в России / Л. А. Смирнов, А. В. Кушнарв // Черная металлургия. – 2013. – №5. С. 3-21.
2. Резниченко, В. А. Титаномагнетиты, месторождения, металлургия, химическая технология / В. А. Резниченко, Л. И. Шабалин. М.: Наука, 1986. – 294 с.
3. Комплексное использование руд и концентратов / В. А. Резниченко, М. С. Липихина, А. А. Морозов и др. М.: Наука, 1989. – 172 с.
4. Малецкий, Н. А. Комплексное использование минерально-сырьевых ресурсов при обогащении руд черных металлов / Н. А. Малецкий, А. В. Кабанов, В. Т. Баришполец. М.: Недра, 1986. – 192 с.
5. Найфов, Т. Б. Флотация титановых минералов при обогащении комплексных титаносодержащих руд / Т. Б. Найфов. Л.: Наука, 1979. – 164 с.
6. Кармазин, В. И. Магнитные методы обогащения / В. И. Кармазин, В. В. Кармазин. М.: Недра, 1978. – 255 с.
7. Резниченко, В. А. Процессы производства титана и его двуокиси / В. А. Резниченко, В. И. Соловьев, Б. А. Бочков и др. // Сб. трудов. М.: Наука, 1973. – 158 с.
8. Пирометаллургическая переработка комплексных руд / Л. И. Леонтьев, Н. А. Ватолин, С. В. Шаврин и др. М.: Металлургия, 1997 – 431 с.
9. ГОСТ 4761-91. Ферротитан, технические требования и условия поставки.

Поступила в редакцию 14.01.2016