

# ПЕРСПЕКТИВЫ ОСВОЕНИЯ И ПЕРЕРАБОТКИ ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ ЮЖНОГО УРАЛА

## PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT AND PROCESSING OF IRON-CONTAINING RAW MATERIALS OF THE SOUTHERN URALS

*O. Shavakyleva,*  
candidate of technical sciences,  
docent;

*N. Gmyzina,*  
candidate of technical sciences,  
docent;

*N. Sedinkina,*  
candidate of technical sciences,  
docent;

*E. Degodya,*  
candidate of technical sciences,  
docent,

*Nosov Magnitogorsk State Technical University,  
Magnitogorsk.*

Development of technologies for the enrichment of iron-containing raw materials to expand the own raw material base of the ferrous metallurgy enterprises of the Southern Urals.

The development of effective technologies for processing metallurgical slags and titanium-magnetite ores ensures the production of high-quality concentrates, which will solve problems with the raw material base of metallurgical enterprises.

**Keywords:** converter slags, titanium magnetite ore, magnetic separation, enrichment, filling mixture, processing.

Южный Урал — уникальный регион, в котором сосредоточены сотни месторождений черных, цветных, благородных, редких металлов, а также неметаллических полезных ископаемых. Несмотря на масштабность минерально-сырьевой базы Южного Урала, обеспечение сырьем предприятий черной металлургии является серьезной проблемой [1-3]. Только около 14% балансовых запасов железных руд России сосредоточено в Уральском регионе. Государственным балансом учтено 50 месторождений железных руд, из которых 23 эксплуатируются. Общие балансовые запасы составляют 13,87 млрд т, из них по категориям А+В+С1 — 8,51 млрд т. Все они представлены бедными рудами, среди которых преобладают ванадийсодержащие титаномагнетиты (80,6%) с очень низкой массовой долей железа (в среднем 16,6%). Остальную часть запасов составляют скарново-магнетитовые (в зоне окисления — маргитовые и полумаргитовые) руды (11,0%), сидериты (7,3%), а также бурые железняки и железистые кварциты (суммарно 1,1%) [1].

*О.П. Шавакюлева,*  
кандидат технических наук,  
доцент;

*Н.В. Гмызина,*  
кандидат технических наук,  
доцент;

*Н.А. Сединкина,*  
кандидат технических наук,  
доцент;

*Е.Ю. Дегодя,*  
кандидат технических наук,  
доцент,

*Магнитогорский государственный технический  
университет им. Г.И. Носова,  
г. Магнитогорск.*

**Ключевые слова:** конвертерные шлаки, титаномагнетитовая руда, магнитная сепарация, обогащение, закладочная смесь, переработка.

Ряд месторождений железных руд Урала в значительной степени исчерпаны и добыча их резко падает. Так, месторождение Малый Куйбас, находящееся в юго-восточной части, не покрывают потребности Магнитогорского металлургического комбината (ПАО «ММК») в исходном сырье и более 50 % является привозным.

Методика исследований. Исследования, представленные в работе, проводились на металлургических шлаках и титаномагнетитовых рудах Копанского, Медведевского месторождения и месторождения Тымлай. Для решения поставленных задач использован комплекс физических, химических и физико-химических методов исследования.

### Результаты исследований и их обсуждение.

Комплексное и рациональное использование минерального сырья на всех стадиях его добычи и переработки является одной из важнейших экономических и экологических задач. Переработка и использование побочных продуктов металлургии, одним из которых являются шлаки, производится на всех металлургических предприятиях, так как позволяет исключить многочисленные шлаковые отвалы и связанное с этим отчуждение сельскохозяйственных угодий, устранить неизбежное в условиях шлаковых отвалов образование пыли, загрязнение водного и воздушного бассейнов [4, 5]. Влияние шлаков на окружающую среду и практика минимизации хранения их в отвалах рассмотрены и в работах [6, 7], в которых отмечено также значение шлаков как материального ресурса и целесообразность переработки и использования обезжелезненных шлаков в дорожном строительстве, для получения цемента и удобрений.

Технологические схемы и краткий анализ результатов переработки шлаков на ПАО «ММК» приведены в работах [8, 9]. Схема переработки шлаков имеет следующие основные недостатки в их работе:

- ✧ при сепарации исходного неклассифицированного шлака крупностью 350-0 мм потери железа с немагнитным продуктом составляют 51,3% вследствие невозможности установления оптимальных условий сепарации при широком диапазоне крупности шлака;
- ✧ отсутствие операций дробления и измельчения для освобождения корольков (свободных частиц) железа, размер которых составляет нескольких микрон, и невозможность получения по этой причине высококачественных магнитных и маложелезистых немагнитных продуктов;
- ✧ низкая эффективность работы барабанных и подвесных магнитных сепараторов на крупности 10-0 мм, которая резко снижается при повышении влажности шлака.

При этом полнота извлечения металлического железа из шлаков не превышает 35-37%.

Таким образом установлено, что указанные недостатки не дают возможности повысить качество магнитного продукта и снизить массовую долю железа в немагнитном продукте. Поэтому, для высокоэффективной технологии переработки шлаков возникла необходимость разработать:

- ✧ эффективный способ и условия переработки мелких шлаков крупностью 10-0 мм, количество которых достигает 50-55%;
- ✧ технологию переработки немагнитного продукта крупностью менее 350 мм, получаемого после магнитной сепарации исходного материала;
- ✧ схему и режим переработки немагнитного продукта крупностью менее 50 мм с целью получения маложелезистых шлаков и их использования.

Для разработки высокоэффективной технологии переработки металлургических шлаков ПАО «ММК» проведено детальное изучение состава и свойств металлургических шлаков [10-11]. Химический состав первичных и вторичных конвертерных шлаков представлен в *табл. 1*.

Таблица 1

Температуры горных пород в северо-восточной части месторождения (по замерам 1979 г.).

| Шлак      | Массовая доля/Mass fraction, % |                   |                  |      |      |                  |      |      |      |
|-----------|--------------------------------|-------------------|------------------|------|------|------------------|------|------|------|
|           | Fe                             | Fe <sub>мет</sub> | SiO <sub>2</sub> | CaO  | MgO  | TiO <sub>2</sub> | P    | S    | Cr   |
| Первичный | 18,4                           | 7,21              | 16,6             | 40,5 | 13,3 | 0,72             | 0,21 | 0,13 | 0,12 |
| Вторичный | 22,9                           | 9,54              | 13,8             | 42,3 | 12,2 | 0,63             | 0,23 | 0,13 | 0,14 |

Из *табл. 1* видно, что в шлаках массовая доля кремнезема составляет 13,8-16,62 %, что относит их к группе ультраосновных шлаков и свидетельствует о сходном фазовом составе.

Исследования фазового состава и текстурно-структурных характеристик минеральных фаз конвертерных шлаков проведены на анализаторе фрагментов микроструктуры твердых тел для технологической минералогии Минерал С7.

Изучение текстурно-структурных особенностей показало, что первичные и вторичные конвертерный шлаки — это крепкие, плотные, мало пористые шлаки с корольками металлического железа.

Установлено, что основной минеральной фазой в пробах шлака являются ортосиликаты, которые имеют непостоянный состав и представлены разными минеральными разновидностями. В шлаках также содержатся двукальциевый силикат — ларнит; монтчеллит, и реже мервинит. Оксидная фаза имеет сложный состав с преобладанием RO-фазы. Состоит RO-фаза из вюстит — оксида железа с небольшим количеством оксида марганца. Кристаллизуется вюстит в различные формы, такие как: капля, овал и дендрит. Шпинелиды образуют изометричные зерна, реже октаэдр и располагаются между зернами силикатов, чаще между ортосиликатами. Эта оксидная фаза — шпинелиды представляет собой твердый раствор герцинита и магнетита. Ферритная фаза слабо раскристаллизована и представлена однокальциевым ферритом и двукальциевым ферритом. Преобладающая часть проб конвертерных шлаков сильно железисты.

Преобладающие размеры зерен силикатов вторичных конвертерных шлаков составляет 0,8-0,1 мм. Структура вторичных шлаков мелко- и среднезернистая (*рис. 1, а*). Размеры зерен матрицы первичных конвертерных шлаков составляют 0,6-0,1 мм. Структура преимущественно мелкозернистая (*рис. 1, б*).

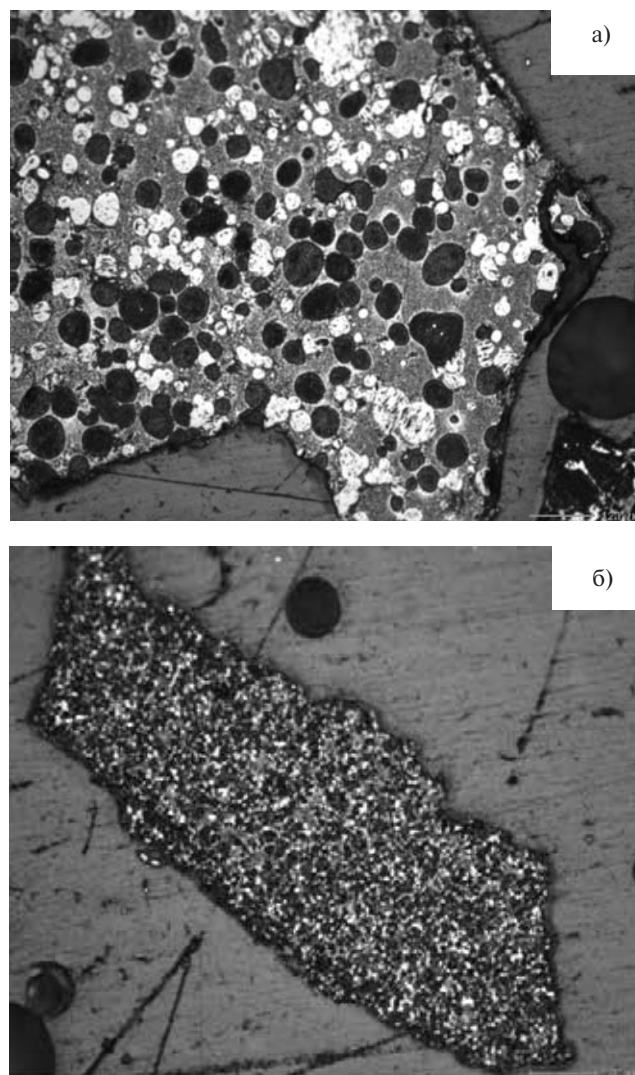


Рис. 1. Микроструктура конвертерных шлаков (увеличение 100): а - среднезернистое строение; б - мелкозернистое строение.

Текстура первичного и вторичного шлаков чаще всего массивная. Зерна силикатов располагаются в железистом расплаве хаотично, но часто плотно прилегают друг к другу.

Конвертерные шлаки характеризуются наличием королек металла, размер которых варьируется в широких пределах и находятся как свободные частицы, так и в сростках со шлаковой массой (рис. 2).

Из рис. 2 видно, что размер зерен королек в сростках составляет от 5,5 мкм до 1,6 мм. Форма зерен чаще округлая. Свободные корольки металла имеют размер 5–0 мм. В образцах первичного конвертерного шлака встречаются участки с множественными вкраплениями металлического железа размером 16–5 мкм.

Проведенные исследования фазового состава и текстурно-структурных характеристик минеральных фаз конвертерных шлаков показали, что металлические корольки железа встречаются размером 5–0 мм, что предопределяет тонкое измельчение материала для полного раскрытия ценного компонента.

Важным показателем при переработке металлургических шлаков является полнота раскрытия сростков, которая зависит от принятого способа разрушения материала и характеризуется эффективностью дробления. В работе изучено влияние различных способов дробления конвертерных шлаков на полноту раскрытия сростков. После разрушения материала были изготовлены шлифы и изучен их качественный и количественный состав. Установлено, что при разрушении на центробежно-ударной дробилке степень раскрытия сростков составляет 26,3%, на валковой дробилке — 20,36% и на стержневой мельнице — 19,61%. Более высокая степень раскрытия сростков в случае использования аппаратов центробежно-ударного действия происходит вследствие разрушения материала за счет удара частиц об отбойные элементы или самофутеровку, а в валковой дробилке и стержневой мельнице в результате раздавливания и истирания.

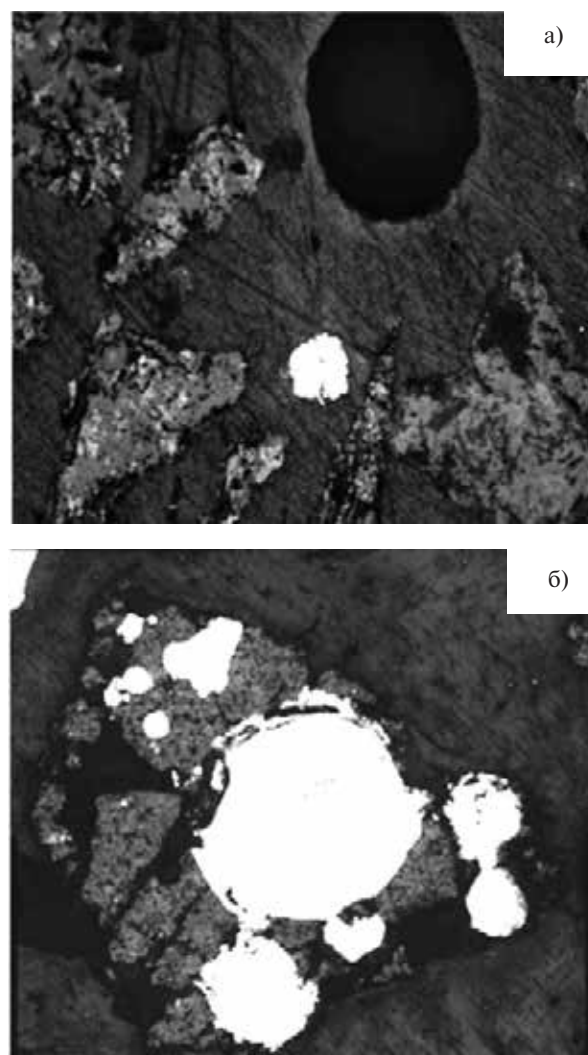


Рис. 2. Микроструктура металлического железа (увеличение 50): а - свободное зерно; б - вкрапление в шлаковой массе.

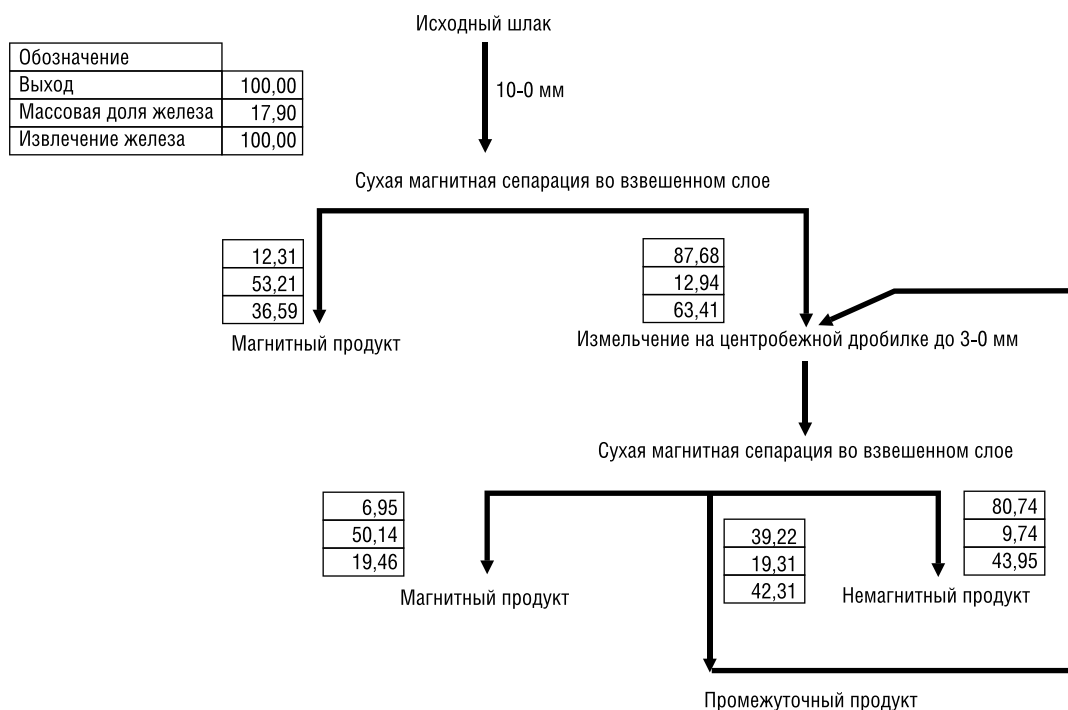


Рис. 3. Технологическая схема глубокой переработки шлаков крупностью 10-0 мм.



Для разработки высокоэффективной схемы переработки конвертерных шлаков рассмотрен вопрос сухой магнитной сепарации. Установлено, что одной из причин низкой эффективности работы магнитных барабанных сепараторов, используемых при переработке шлаков, является агрегирование тонких частиц.

Для извлечения магнитных частиц из мелкого сыпучего материала разработан способ и устройство – сухая магнитная сепарация во взвешенном состоянии (СМС ВС) [12, 13].

Увеличение массовой доли железа в магнитном продукте при использовании сепарации во взвешенном состоянии объясняется, в первую очередь, уменьшением в нем количества мелких классов крупности 2-0 мм и повышением в них массовой доли железа в среднем на 15%. Одновременно происходит повышение массовой доли железа и в крупных классах крупности в результате самоочистки извлекаемых частиц от налипших тонких.

Выполненные исследования позволили рекомендовать технологию для глубокой переработки шлаков крупностью 10-0 мм, приведенную на рис. 3.

Отличительной особенностью предложенной схемы является замкнутый цикл с получением трёх продуктов, и применение измельчения до крупности 3-0 мм с сухой магнитной сепарацией во взвешенном состоянии. Выделение промпродукта позволяет повысить качество магнитного продукта, поэтому сродки, содержащиеся в промпродукте, целесообразно направить на измельчение и повторную сепарацию.

Реализация предложенной схемы может быть осуществлена с использованием отечественного оборудования и обеспечит увеличение выхода магнитных продуктов на 18,1% и повышение извлечения железа на 30,3%. По данным микроскопического изучения королек получаемые немагнитные продукты не содержат железа крупнее 3-5 мкм, поэтому их рекомендуется использовать в закладочной смеси.

На основе опыта использования шлаков при закладке выработанного пространства при подземной разработке полезных ископаемых изучена возможность замены в закладочной смеси песка немагнитным продуктом крупностью 3-0 мм (табл. 2).

Таблица 2

**Влияние замены песка в закладочной смеси немагнитным продуктом на прочность образцов.**

| Содержание цемента в закладочной смеси | Прочность на сжатие $\times 10^4$ кН/м <sup>2</sup> |      |      |      |      |
|----------------------------------------|-----------------------------------------------------|------|------|------|------|
|                                        | Доля шлаков в смеси, % от количества песка          |      |      |      |      |
|                                        | 0                                                   | 20   | 50   | 75   | 100  |
| 30                                     | 4,87                                                | 4,69 | 5,12 | 5,36 | 5,64 |
| 20                                     | 3,16                                                | 3,34 | 3,87 | 4,42 | 4,91 |
| 10                                     | 1,32                                                | 1,79 | 2,43 | 2,97 | 3,42 |

Из данных табл. 2 видно, что увеличение доли шлаков в смеси приводит к повышению прочности образцов, прирост величины которой увеличивается с уменьшением содержания в смеси цемента. Возможна полная замена песка шлаками при снижении расхода цемента на 30-35 %. Ис-

пользование шлаков в составе закладочных смесей избавит горные предприятия от необходимости разработки каменных карьеров, процессов дробления и измельчения горных пород и обеспечит сохранность окружающей среды.

Перспективным источником получения сырья для металлургии являются титаномагнетитовые руды, на долю которых приходится более 80% общих запасов железных руд [14-16]. На Южном Урале расположены такие месторождения как Копанское, Чернореченское, Медведевское, Малый Куйбас, Суроямское и Качканарское. Особый интерес в настоящее время представляют Копанское и Чернореченское месторождения титаномагнетитовых руд с прогнозными запасами до 6 млрд т. В зависимости от соотношения магнетита, ильменита и титаномагнетита руды данных месторождений делятся на сплошные и вкрапленные.

Характеристика титаномагнетитовых руд различных месторождений указывает на сложность их вещественного состава, тесное взаимопрораствание магнетита, ильменита и весьма тонкую их вкрапленность (рис. 4), что определяет сложность переработки данных руд [17, 18].

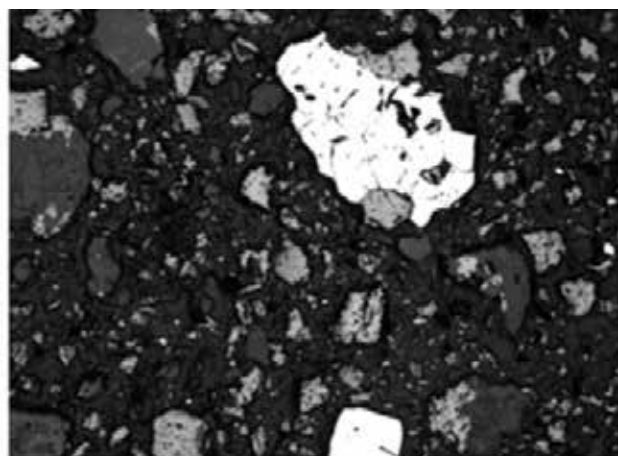


Рис. 4. Микроструктура образцов титаномагнетитовой руды Копанского месторождения (увеличение 200).

По размеру вкрапленности рудных минералов выделяют несколько типов титаномагнетитовых руд: крупновкрапленная; средневкрапленная; мелковкрапленная; тонковкрапленная и дисперсно-вкрапленная.

Приведенная классификация не позволяет дать рекомендации по выбору схем переработки титаномагнетитовых руд [18]. Для выбора схемы обогащения важное значение имеет форма нахождения диоксида титана в минерале. Анализ научно-исследовательских работ и практики переработки титаномагнетитовых руд позволяет разделить существующие месторождения титаномагнетитовых руд на две группы:

1. Группа месторождений, в которых минерал титаномагнетит представлен структурой срастания магнетита и ильменита.

К таким месторождениям относятся Копанское, Медведевское, Кусинское, Чернореченское, Суроямское и т.д. Для переработки руд данного типа возможно применение различных методов обогащения с использованием как магнитно-гравитационных, так и магнитно-флотационных схем. Принципиальная схема для переработки руд данной группы должна включать магнитную сепарацию, ильменитовый

цикл, железованадиевый цикл с последующей доводкой чернового концентрата. В результате обогащения титаномагнетитовых руд первой группы месторождений получают железованадиевый и ильменитовый концентраты.

Технология доводки заключается в создании оптимальных условий измельчения и мокрой магнитной сепарации, что обеспечивает повышение массовой доли железа на 5-8% при уменьшении диоксида титана в два раза в железованадиевом концентрате. Ильменитовый концентрат получается с массовой долей диоксида титана более 43%. Важнейшее значение при получении ильменитового концентрата имеет количество свободного ильменита в руде. Так, в рудах Медведевского месторождения оно наибольшее и получение ильменитового концентрата не представляет трудности.

2. Группа месторождений, в которых титаномагнетит представлен твердым раствором диоксида титана в магнетите [19]. К этой группе можно отнести месторождения Качканарское, Малый Куйбас и Тымлай.

Проведенные исследования на различных типах титаномагнетитовых руд [20] показали сложность разделения ценных минералов между собой при использовании различных методов обогащения [21].

В работе были изучены широко применяемые способы снижения массовой доли диоксида титана в магнетитовых концентратах, получаемых из руд Качканарского месторождения, Малого Куйбасса и Тымлая. Полученные результаты не дали положительных результатов. Особенно наглядно это проявляется при переработке титаномагнетитовых руд месторождения Тымлай. При массовой доле железа в исходной руде 34,7%, а диоксида титана — 11,89% черновой концентрат содержащий 49,1% железа и 15,1% диоксида титана. Рассмотрено применение доводки чернового концентрата с доизмельчением до крупности менее 20 мкм, которое позволило повысить массовую долю железа до 55,8% при этом одновременно повысилась и массовая доля в нем диоксида титана до 17,36%, то есть имеется прямая взаимосвязь массовой доли железа и диоксида титана в концентратах. Исследования флотации титаномагнетитовой руды второй группы месторождений не дало положительных результатов. Следует отметить, что массовая доля диоксида титана в немагнитных продуктах переробки снижается до 7,21-7,41%, а в продуктах флотации

до 7,75-10,3%, что не дает возможность получать ильменитовый концентрат. Полученные результаты исследований доказали, что механические процессы переработки руд данного типа без изменения ее фазового состава не позволят получить кондиционные железо-ванадиевый и ильменитовый концентраты, так как диоксид титана и железо тесно взаимосвязаны. Полученные концентраты требуют специальной металлургической переработки.

**Выводы.** В статье приведены результаты исследований по разработке технологии переработки шлаков на ПАО «ММК», которая обеспечивает полноту извлечения железа не более 35-37 %, мелкие магнитные продукты имеют невысокое качество, а немагнитные вследствие высокой массовой доли в них железа используются в незначительном количестве.

Установлено, что разработанная высокоэффективная технология глубокой переработки шлаков, позволяет повысить полноту извлечения железа на 30,3% и выпуск магнитных продуктов на 18,10% с более высокой в них массовой долей железа. При этом маложелезистые немагнитные продукты крупностью 3-0 мм являются полноценным заменителем песка в смесях для закладки выработанного пространства при подземной разработке полезных ископаемых, что исключает разработку каменных карьеров, затраты на дробление и измельчение горных пород и обеспечит сохранность окружающей среды.

Определено, что перспективным сырьем для черной металлургии Южного Урала являются титаномагнетитовые руды, в которых титаномагнетит представлен структурой срастания магнетита и ильменита.

Выявлено, что разработанная технология обогащения титаномагнетитовой руды позволяет получать железованадиевый концентрат с массовой долей железа более 63,0% и диоксида титана менее 5,0% и кондиционный ильменитовый концентрат с массовой долей диоксида титана более 50,0%. Данный продукт может быть использован в шихте для металлургического передела.

Результаты исследований могут быть полезными при переработке сталеплавильных шлаков, а комплексная переработка титаномагнетитовой руды обеспечит железорудным сырьем предприятия Южного Урала. ■

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гладских В.И. Состояние и перспективы развития сырьевой базы ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» [Текст] / В.И. Гладских, С.В. Гром, К.А. Емелин и др. // Горный журнал. Черные металлы. Специальный выпуск. 2012. С. 12-14.
2. Ripley E.M. Metallic ore deposits associated with mafic to ultramafic igneous rocks / E.M. Ripley, C. Li // Processes and Ore Deposits of Ultramafic-Mafic Magmas through Space and Time. Amsterdam : Elsevier GmbH. 2018. P. 79-111. DOI 10.1016/B978-0-12-811159-8.00004-4.
3. Колокольцев В.М. Перспективы развития минерально-сырьевой базы черной металлургии на Южном Урале [Текст] / В.М. Колокольцев, И.А. Гришин // Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова. 2018. № 3(47). С. 133-140.
4. Huang Yi. An overview of utilization of steel slag /YiHuang, XuGuoping, Cheng Huigao, et al. // Procedia Environmental Sciences. - 2012.- Vol.16. - P. 791-801. DOI:10.1016/j.proenv.2012.10.108.
5. Сорокин Ю.В. Состояние шлакопереработки и перспективы ее развития [Текст] / Ю.В. Сорокин, Б.Л. Демин // Сталь. 2 010. № 5. С. 136-140.
6. Демин Б.Л. Техногенные образования из металлургических шлаков как объект комплексной переработки[Текст] /Б.Л. Демин, Ю.В. Сорокин, А.И. Зимин // Сталь. 2000. № 11. С. 99-102.
7. Шамари У. Экономический аспект: защита окружающей среды и ресурсов благодаря шлакам черной металлургии [Текст] // Черные металлы. 2015. № 7. С. 54-56.
8. Гладских В.И. Опыт переработки металлургических шлаков в ОАО ММК [Текст] / В.И. Гладских, А.В.Бочкарев, Н.В. Сукинова и др. // Сталь. 2012. № 2. С. 152-153.

9. Панишев Н.В. Переработка металлургических шлаков в ОАО «ММК» [Текст] / Н.В. Панишев, В.А. Бигеев, Е.С. Галиуллина // Металлургия: технологии, инновации, качество / под общей редакцией Е.В. Протопопова. Новокузнецк: Изд-во «Сиб. ГИУ». 2015. С. 377-379.
10. Sinelnikov V.O. Study of the Phase and Mineralogical Properties of Converter Slag During Splashing to Improve Lining Resistance / V.O. Sinelnikov, D. Kalisz, R.D. Kuzemko // Refractories and Industrial Ceramics. 2018. DOI 10.1007/s11448-018-0244-y.
11. Shen H. Physicochemical and mineralogical properties of stainless steel slags oriented to metal recovery / H. Shen, E. Forssberg, U. Nordström // Resources, Conservation and Recycling. 2004. Vol. 40, Iss. 3. - P. 245-271. DOI:10.1016/S0921-3449(03)00072-7.
12. Свидетельство на полезную модель 26450 РФ. МПК 7 В 03 С 1/18. Устройство для извлечения магнитных частиц из сыпучего материала / В.Б. Чижевский, Р.С. Тахаутдинов, И.П. Захаров // БИПМ. 2002. № 34. С. 390.
13. Чижевский В.Б. Исследование процесса сухой магнитной сепарации мелкого материала во взвешенном [Текст] // Обогащение руд. 2006. № 2. С. 25-28.
14. Сединкина Н.А. Перспективы использования титаномагнетитовых руд Южного Урала [Текст] / Н.А. Сединкина, А.Г. Жуматий, В.Г. Гаврилов // Актуальные проблемы горного дела. 2020. № 1. С. 36-39.
15. Utlarakova A. Development of technology for processing of titanomagnetite with low titanium content / A. Utlarakova, M. Naimanbayev, M. Onayev, et al. // 16th International Multidisciplinary Scientific Geo Conference SGEM 2016: Conference Proceedings, Albena, Bulgaria, 30 июня - 06 2016 года. Albena, Bulgaria: Общество с ограниченной ответственностью СТЕФ 92 Технолджи. - 2016. - P. 319-326. DOI 10.5593/SGEM2016/B12/S03.042.
16. Makhotkina E.S. Investigation of hydrometallurgical processing of titanomagnetite ore enrichment waste / E.S. Makhotkina, M.V. Shubina, I.G. Shubin // Solid State Phenomena. 2020. Vol.299.P. 1115-1120. DOI 10.4028/www.scientific.net/SSP.299.1115.
17. Neradovsky Yu.N. Mineralogy and process properties of Kolvitsky titanomagnetite ore / Yu.N. Neradovsky, S.A. Alekseeva, E.V. Chernousenko // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Novosibirsk: Institute of Physics Publishing. 2019.P. 012050. DOI 10.1088/1755-1315/262/1/012050.
18. Чижевский В.Б. Обогащение титаномагнетитовых руд с целью получения кондиционного ильменитового концентрата [Текст] / В.Б. Чижевский, О.П. Шавакулева // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2013. № 4(44). С. 10-13.
19. Лютоев В.П. Исследование возможности определения минерального состава титаномагнетитовых руд по данным спектроскопии [Текст] / В.П. Лютоев, А. Б. Макеев, А. Ю. Лысюк // Обогащение руд. 2017. № 5(371). С. 28-36. DOI 10.17580/or.2017.05.05.
20. Roux R. N. A systematic literature review on the titanium metal product value chain / R. N. Roux, E. Van Der Lingen, A. P. Botha // South African Journal of Industrial Engineering. 2019. Vol. 30. No 3. - P. 115-133. DOI 10.7166/30-3-2233.
21. Shen S. Preconcentration of ultrafine ilmenite ore using a superconducting magnetic separator / S. Shen, Z. Yuan, J. Liu, et al. // Powder Technology. 2020. V. 360.P. 1-9.



## НИТУ «МИСИС»

### Информируем Вас

История Национального исследовательского технологического университета «МИСИС» началась больше ста лет назад, когда в 1918 году была создана Московская горная академия, в которой открылось металлургическое отделение. Университет постоянно расширялся, и уже в 1921 году отделения были преобразованы в факультеты, а к 1930 году академию разделили на шесть самостоятельных институтов. На сегодняшний день три из них — институт стали, цветных металлов и горный институт снова объединились в одно учебное заведение — Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС».

**Программы специалитета:**

- ◆ Геотехнологии,
- ◆ Горное дело,
- ◆ Физические процессы горного или нефтегазового производства

**Контакты:** 119991, Москва, Ленинский пр-т, 4 стр.1, НИТУ «МИСИС».  
**Приемная комиссия (Граждане РФ)** +7 499 649-44-80, +7 499 649-40-48, +7 499 236-30-78, +7 495 638-46-78, +7 495 638-45-16



# WWW.N-GN.RU