

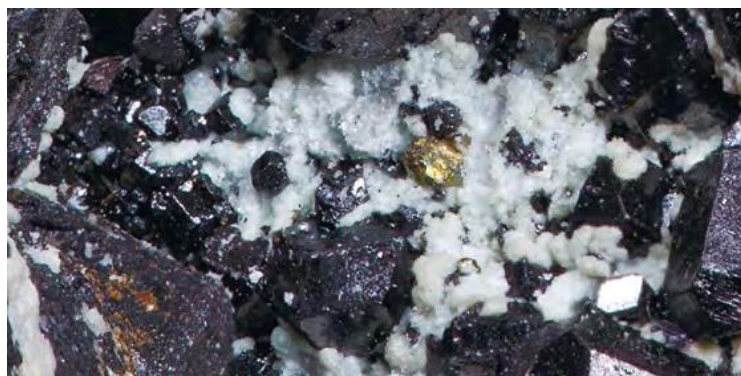
РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПЕРЕДЕЛА ПЕРЕРАБОТКИ ТИТАНОМАГNETИТОВОГО КОНЦЕНТРАТА ТЕБИНБУЛАКСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

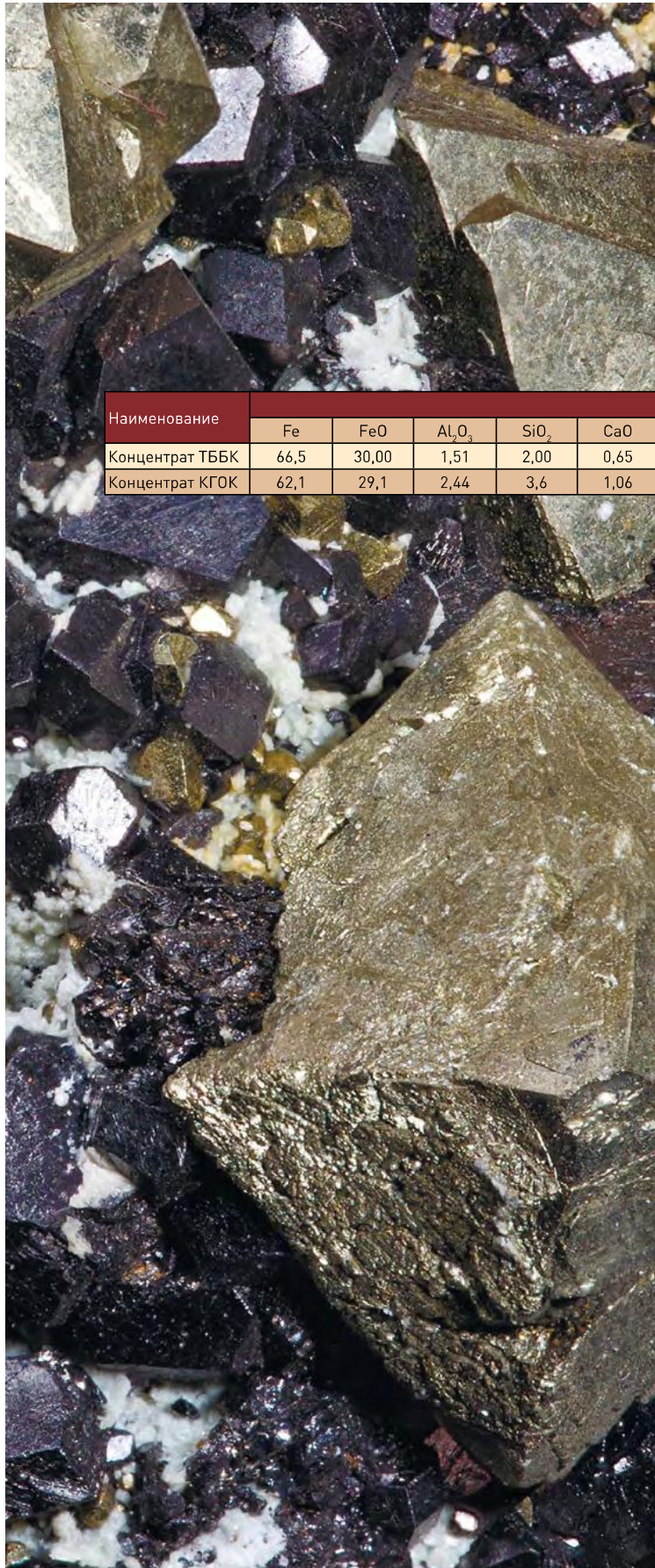
В СТАТЬЕ ПРИВЕДЕНЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО РАЗРАБОТКЕ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПЕРЕДЕЛА ПЕРЕРАБОТКИ ТИТАНОМАГNETИТОВОГО КОНЦЕНТРАТА ТЕБИНБУЛАКСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (РЕСПУБЛИКА УЗБЕКИСТАН), РАССМОТРЕНЫ ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ ДОМЕННОГО МЕТОДА ПЕРЕРАБОТКИ ПРИ ПОСЛЕДУЮЩЕЙ ОКИСЛИТЕЛЬНОЙ ПРОДУВКЕ ИЛИ ОБДУВКЕ ЧУГУНА В КОНВЕРТЕРЕ И ГИДРОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКЕ ВАНАДИЕВОГО ШЛАКА КОНВЕРТЕРА, ПРОВЕДЕНО СРАВНЕНИЕ С ДАННЫМ ПРОЦЕССОМ НА НТМК. ОСНОВНАЯ ПРОБЛЕМА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПЕРЕДЕЛА ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ СЫРЬЯ ТЕБИНБУЛАКСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЗАКЛЮЧАЕТСЯ В ПОВЫШЕННОМ СОДЕРЖАНИИ TiO_2 В ШЛАКЕ — 14,67 %. БЫЛО РАССМОТРЕНО НЕСКОЛЬКО ВАРИАНТОВ СНИЖЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ОКСИДА ТИТАНА В ДОМЕННОЙ ШИХТЕ: РАЗУБОЖИВАНИЕ КОНЦЕНТРАТА, ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИДЕРИТА. КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К РЕШЕНИЮ ПРОБЛЕМЫ ПЕРЕРАБОТКИ ТИТАНОМАГNETИТОВОГО СЫРЬЯ ОБЕСПЕЧИВАЕТ ПЕРЕРАБОТКУ КОНЦЕНТРАТОВ С СОДЕРЖАНИЕМ TiO_2 ДО 3 % В МЕТАЛЛУРГИЧЕСКУЮ ПРОДУКЦИЮ ВЫСОКОГО КАЧЕСТВА.

Авторы: Г. И. Газалеева, д. т. н., Е. В. Братыгин, к. т. н., Е. Г. Дмитриева, к. т. н., Д. С. Пешкин, м. н. с. (ОАО «Уралмеханобр»), О. Ю. Шешуков, д. т. н., А. Н. Дмитриев, д. т. н., Ю. А. Чесноков, к. т. н., И. В. Некрасов (ФГБУН ИМЕТ УрО РАН, г. Екатеринбург)

Тебинбулакское месторождение, являющееся наиболее крупным железорудным объектом на территории Республики Узбекистан, может рассматриваться как основная сырьевая база металлургического производства СНГ, учитывая, наряду с большими запасами руды (около 3,5 млрд т), благоприятные сопутствующие условия (открытая разработка, близость железных дорог и т. д.).

Титаномагнетиты Тебинбулакского месторождения по составу и свойствам близки к рудам Качканарского





ГЮКа (КГЮК), изучением которых наука Урала, в частности Институт металлургии УрО РАН и ОАО «Уралмеханобр», занимается несколько десятилетий и имеет богатый опыт в этой области.

На первом этапе переработки титаномагнетитовой руды предполагается ее открытая добыча, дробление и обогащение до железорудного концентрата с содержанием Fe > 65,0 % и крупностью 90 % менее 44 мкм. Состав получаемого при обогащении железорудного концентрата месторождения Тебинбулак (ТББК) приведен в таблице 1 по данным ОАО «Уралмеханобр» [1]. В той же таблице для сравнения приведен состав концентрата Качканарского месторождения.

Таблица 1. Химический состав концентратов

Наименование	Массовая доля, %											
	Fe	FeO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	MgO	TiO ₂	MnO	V ₂ O ₅	S	P	Осн.
Концентрат ТББК	66,5	30,00	1,51	2,00	0,65	1,24	3,00	0,20	0,60	0,02	0,01	0,325
Концентрат КГЮК	62,1	29,1	2,44	3,6	1,06	2,06	2,4	0,22	0,58	0,03	0,007	0,294

Как видно из представленных данных, оба концентрата комплексные и содержат как оксид титана, так и ванадия. Однако содержание оксида титана в концентрате ТББК выше, чем в концентрате КГЮКа, а содержание шлакообразующих (оксидов кремния, алюминия, кальция и магния) ниже. Указанные факторы могут затруднить традиционную переработку титаномагнетитовых руд, и их обязательно необходимо учитывать при разработке технологии металлургического производства.

Существует два основных способа переработки ванадийсодержащих титаномагнетитов — гидрометаллургический и пирометаллургический. Руды и концентраты с относительно высоким содержанием оксидов ванадия можно перерабатывать гидрометаллургическим способом. Однако технико-экономическая оценка этого способа для руд Тебинбулакского месторождения показала его недостаточную эффективность при переработке концентратов, содержащих не более 1,0 % V₂O₅, из-за увеличения расхода реагентов и значительного роста капиталовложений, а следовательно, и эксплуатационных затрат.

Для извлечения ванадия из титаномагнетитов обычно используют пирометаллургические способы, суть которых состоит в том, что ванадийсодержащий железорудный концентрат подвергают проплавке в доменной печи или подвергают прямому восстановлению. Ванадий в процессе восстановительной плавки почти полностью переходит в чугуны. При последующей окислительной продувке или обдувке чугуна в конвертере или ДСП ванадий концентрируется в ванадиевом шлаке, содержащем обычно 10—30 % V₂O₅. Переработка ванадиевого шлака включает окислительный обжиг с добавками оксидов калия, натрия и кальция, выщелачивание ванадия в раствор и дальнейшее его осаждение методом гидролиза. Сквозное извлечение ванадия из концентрата по этому способу составляет всего 47 %, а легирование сталей феррованадием снижает этот показатель до 40 % [2].

Рассмотрим преимущества и недостатки указанных способов.

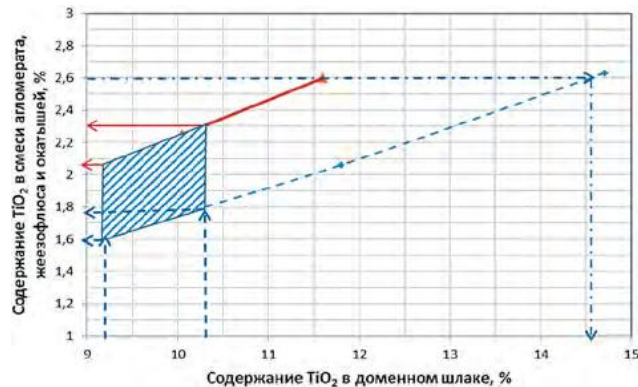
В настоящее время разработана малооперационная технология получения легированных ванадием сталей с использованием металлизированных ванадийсодержащих окатышей в электропечах. Сквозное извлечение ванадия при использовании этой технологии резко увеличивается и составляет 80 %. К недостаткам указанной технологии можно отнести отсутствие опыта промышленной переработки указанным способом, необходимость использования малосернистых обогащенных углей, образование большого количества шлака при плавке в ДСП и др.

Схема переработки «доменная печь — конвертер» является в настоящее время наиболее полно проработанной. Плавка титаносодержащих руд в доменных печах всегда отличалась трудностями, связанными с особенностями восстановления титана и образованием неплавких масс в горне печи. При 1 550—1 620 °С вязкость шлака увеличивается в несколько раз, вплоть до полного загустения расплава. При этом на поверхности шлака образуется пленка, ее свойства существенно отличаются от свойств остальной массы шлака. Обнаружено, что эта пленка содержит карбиды и нитриды титана, образующиеся при контакте с углеродом и азотом. Образование тугоплавких соединений в виде карбонитридов и оксикарбонитридов является одной из особенностей восстановления оксидов титана. Опыт работы доменных печей ОАО «ЕВРАЗ Нижнетагильский металлургический комбинат» (НТМК) показывает, что для предотвращения образования карбидов, карбонитридов и оксикарбонитридов титана в доменной печи необходимо работать на шлаках с содержанием TiO_2 9,5—10,5 % [3].

Задача технологов-доменщиков — с помощью состава доменной шихты и параметров дутья создать в доменной печи условия, препятствующие образованию нерастворимых соединений титана. Для решения указанной задачи Институтом металлургии УрО РАН и ОАО «Уралмеханобр» были проведены специальные исследования [1, 3] по выбору наиболее рациональной схемы переработки концентрата, состав которого приведен в таблице 1, и разработаны технологические регламенты для ее реализации.

На рисунке 1 представлена зависимость содержания TiO_2 в шлаке от содержания его в железорудной части шихты при разном количестве шлакообразующих — красная линия соответствует шихте НТМК, синяя пунктирная — расчетная для шихты ТББК. Защищенная область представляет собой участок наиболее благоприятной работы доменных печей на титаномангнетитовом сырье. Под графиком представлены составы и усредненный химический состав доменной шихты НТМК и расчетный Тебинбулака, стрелками показано содержание оксида титана в шлаке при соответствующем содержании его в шихте.

Как видно из рисунка, при формировании состава железорудной части шихты ТББК по сравнению с ших-



Тебинбулак:

Доменная шихта:
Агломерат в/о — 60 %
Окатыши — 30 %
Железофлюс — 10 %
Шихта: $Fe_{общ}$ — 60,08 %, TiO_2 — 2,63 %
Доменный шлак:
 TiO_2 = 14,67 %

НТМК:

Доменная шихта:
Агломерат в/о — 38,3 %
Окатыши — 52,3 %
Железофлюс — 9,4 %
 $Fe_{общ}$ — 56,5 %, TiO_2 — 2,25 %
Доменный шлак:
 TiO_2 = 10,05 %

Рис. 1. К выбору состава доменной шихты

той НТМК содержание TiO_2 составит 14,67 %, что значительно выше допустимых значений.

Таким образом, высокое содержание железа и титана в исходном концентрате (соотношение Fe/Ti) не позволяет использовать вариант доменной плавки НТМК (соотношение агломерат / окатыши / железнофлюс как 60/30/10, основность агломерата 2,2), поскольку более низкий выход шлака обуславливает содержание TiO_2 в шлаке на уровне 15—17 %, что вызовет существенные затруднения при существующей технологии.

Поэтому было рассмотрено несколько вариантов снижения содержания оксида титана в доменной шихте:

1) разубоживание концентрата, поступающего на агломерацию, промпродуктом до 20 % в агломерационной шихте с получением агломерата основностью 2,2. Химический состав промпродукта приведен в таблице 2. Такая схема позволит решить проблему с повышенным содержанием TiO_2 (варианты 2—4 в табл. 6) и организовать полноценный ванадиевый передел «доменная печь — конвертер» с получением низколегированной стали (полупродукта) и ванадиевого шлака при соответствующем подборе соотношения агломерат/окатыши на загрузке доменной печи;

2) использование в качестве дополнительного компонента доменной шихты передельной составляющей, в частности сидерита. Вариант доменной плавки с использованием в качестве одного из компонентов доменной шихты сидерита снимает все

Таблица 2. Химический состав зернистого промежуточного продукта обогащения

Наименование	Массовая доля, %											
	Fe	FeO	Al_2O_3	SiO_2	CaO	MgO	TiO_2	MnO	V_2O_5	S	P	Осн.
Промпродукт	8,27	6,7	6,96	45,0	18,7	11,9	1,26	0,22	0,66	0,15	0,071	0,415

проблемы по составу доменного шлака, однако встает вопрос с дополнительной доставкой сидеритового сырья на комбинат.

В результате расчетов доменного процесса и анализа предложенных вариантов доменной плавки был выбран вариант с добавкой 20 % промпродукта как наиболее выгодный с экономической и экологической точек зрения. На основе проведенных расчетов были определены необходимые составы выплавляемого чугуна и шлака [3, 4], таблицы 3 и 4, которые обеспечат нормальную работу доменных печей.

Таблица 3. Состав чугуна

Содержание, %	Ванадиевый чугун
Кремний	0,05–0,15
Титан	не более 0,18
Ванадий	не менее 0,40
Марганец	не более 0,40
Сера	не более 0,025

Таблица 4. Состав шлака

Показатели	Шлак
Основность, CaO/SiO ₂	не более 1,30
Содержание, %:	
TiO ₂	не более 10,5
Al ₂ O ₃	не более 17,0
MgO	не более 12,5

Исходя из требований по содержанию TiO₂ и заданной основности в доменном шлаке, расчетный средний химический состав смеси доменной шихты приведен в таблице 5, а ниже приведены ее металлургические характеристики.

Металлургические характеристики железорудной смеси:

Содержание класса -5 мм, %	4,1
Восстановимость по ГОСТ 17212-84, %	84,85
Горячая прочность по ГОСТ 19575-84, %	64,27
Холодная прочность по ГОСТ 15137-77, %	84,2
Температура размягчения, °С	1 102
Температура плавления, °С	1 227

Выходные данные и расчетные коэффициенты, основные значения материального и тепловых балансов доменной плавки на сырье, состав которого указан в таблице 5, приведены в таблице 6.

Представленный в таблице 6 доменный процесс обеспечивает получение ванадиевого чугуна, который перерабатывается по эффективной и хорошо отработанной технологии НТМК.

Аналогичные требования были сформулированы и к конвертерному переделу ванадиевого чугуна [3, 4].

Конечной продукцией проектируемого предприятия предполагается «шихтовая заготовка» — высо-

Таблица 5. Средний состав доменной шихты

Наименование	Fe	FeO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	MgO	TiO ₂	MnO	V ₂ O ₅	SO ₃	P ₂ O ₅
Железорудная смесь	56,8	5,72	2,49	4,61	6,89	2,58	2,25	0,22	0,56	0,04	0,03

Таблица 6. Показатели доменной плавки

Показатель	Единицы измерения	Значение
Полезный объем печи	м ³	1 033
Производительность печи	т/сут	2 352
Общий расход руды	кг/т чугуна	1 701
Среднее содержание Fe в руде	%	56,77
Общий расход кокса		400,3
Выход пыли	кг/т чугуна	29,9
Потери металла со скрапом и шлаком		10
Расход газообразного топлива	м ³ /т чугуна	120
Дутье:		
количество	м ³ /т чугуна	969
температура	°С	1 200
кислород	%	28,00
Колошниковый газ:		
выход	м ³ /т чугуна	1 510
давление	атм	2,00
температура	°С	127,8
теплотворная способность	кДж	3 789
CO	%	22,38
CO ₂	%	22,36
H ₂	%	8,89
Теоретическая температура горения	°С	2 021
Состав чугуна:		
Si	%	0,10
Ti	%	0,15
S	%	0,014
V	%	0,457
Mn	%	0,216
P	%	0,038
Fe	%	94,28
C	%	4,66
Состав шлака:		
CaO	%	33,90
MgO	%	11,21
SiO ₂	%	27,563
TiO ₂	%	9,8
Al ₂ O ₃	%	14,52
MnO	%	0,26
V ₂ O ₅	%	0,278
FeO	%	0,61
S	%	0,53
Основность CaO/SiO ₂		1,23
Выход шлака	кг/т чугуна	359
Материальный баланс:		
Приход	кг/т чугуна	3470,47
Расход		3470,49
Тепловой баланс:		
Приход	МДж/т чугуна	10336,27
Расход		10335,92

коуглеродистый и частично рафинированный от примесей чугуна. Химический состав данного продукта приведен в таблице 7.

Таблица 7. Химический состав чугуна рафинированного (полупродукта углеродистого) по СТО 00186341-28-2010

Массовая доля элементов, %									
не менее	не более								
	C	Si	Mn	V	Cr	Ti	P	S	
								категория I	категория II
3,6	0,10	0,10	0,10	0,10	0,02	0,05	0,04	0,05	

Технико-экономическая целесообразность организации такого производства подтверждается реализацией похожего решения на ОАО «Чусовской металлургический завод» и НТМК [3].

Полученная шихтовая заготовка может использоваться в качестве металлошихты как на Узбекском металлургическом заводе (г. Бикабад), так и за рубежом. Известен аналогичный случай ЧусМЗ, который долгое время до вынужденного перепрофилирования предприятия отправлял свою шихтовую заготовку (т. н. чугун рафинированный) на экспорт. Выбор литейной машины возможен только после определения заказчиком работы вида и формы конечной продукции и подробного технико-экономического анализа вариантов для условий Узбекистана.

У решения по производству шихтовой заготовки есть еще одно важное преимущество. При выбранной технологической схеме из металла удаляется ванадий, который выводится в шлак. Окислившийся ванадий находится в нем в трехвалентном состоянии. Данное соединение труднорастворимо в воде и не представляет экологической опасности. Ванадиевый шлак далее может продаваться или перерабатываться.

Таким образом, для выполнения приведенных выше требований к промежуточной и конечной продукции передела титаномагнетитового концентрата требуется внедрение большинства современных достижений металлургии чугуна и стали.

Технологическая схема предполагаемого металлургического комплекса по переделу титаномагнетитового концентрата Тебинбулакского месторождения приведена на рисунке 2. Цеха, которые будут размещены на территории металлургического комбината, выделены на рисунке 2 контурной линией. К ним относятся:

- агломерационный цех,
- цех обжига окатышей,
- доменный цех,
- конвертерный цех,
- цех по обогащению шлака.

К отличительным особенностям предлагаемых технологических решений можно отнести следующее.

Агломерационный цех:

1) стабильность химического состава агломерата обеспечивается схемой с двойным усреднением железорудных материалов — в штабеле (концентрат и промпродукт) и с помощью системы весового дозирования компонентов;

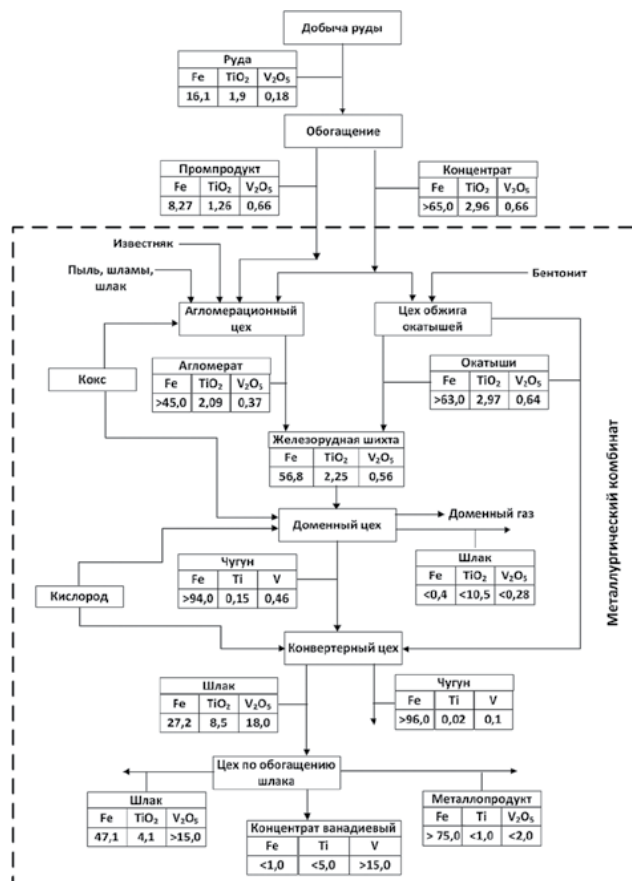


Рис. 2. Технологическая схема металлургического комплекса по переделу титаномагнетитовой руды Тебинбулакского месторождения

2) стабильность химического состава и влажность отходов металлургического производства — шламов, пыли, шлака — достигается также за счет весового дозирования компонентов и дальнейшего смешивания и увлажнения в барабанном смесителе, установленном на участке приема отходов;

3) обеспечение малого расхода твердого топлива на агломерацию достигается тремя способами — дозированием кокса непосредственно перед окомкованием шихты, использованием машин с зоной охлаждения агломерата и применением различных схем рециркуляции — как агломерационного газа, так и горячего воздуха с зоны охлаждения;

4) использование машин-охладителей позволяет получить стабилизированный агломерат с ферритной связкой, что обеспечивает его высокую холодную прочность и стабильность гранулометрического состава при хранении.

Цех обжига окатышей:

1) стабильность химического состава окатышей и низкий выход мелочи обеспечивается путем интенсивного смешивания компонентов шихты и использования тарельчатых окомкователей для подготовки сырых окатышей;

2) применение обжиговой машины с трехзонным охлаждением, рациональной схемы газовых потоков и использование регулируемых тягодутьевых средств позволяет получить требуемый режим термообработки при низком расходе природного газа для машин малой площади (ниже 1500 м³/т окатышей);

3) использование системы оперативного управления качеством окатышей за счет гибкой схемы сортировки и складирования готовых окатышей позволяет поддерживать заданный химический состав и качество окатышей.

Доменный цех:

1) разделение бункерной эстакады и комплекса по сортировке агломерата, окатышей и кокса позволяет снизить капитальные затраты на строительство доменного цеха, повысить степень оперативного управления загрузкой доменной печи и исключить запыление в корпусе шихтовых бункеров;

2) применение двухтрактной конвейерной шихтоподачи и БЗУ в комплексе с математической моделью загрузки обеспечивает равномерность состава шихты по площади колошника и стабильность химического состава продуктов плавки и загрузки печи в соответствии с заданным технологическим режимом. Кроме того, установка БЗУ позволяет снизить высоту печи и повысить газопроницаемость столба шихты;

3) использование современных компрессоров, обеспечивающих давление более 700 кПа и работающих на электрическом приводе, обеспечивает высокое качество дутья, стабильность работы воздухоустановок, возможность их оперативного переключения, снижает влажность дутья, исключает коррозию привода и облегчает обслуживание компрессоров;

4) высокая температура дутья (до 1 400 °С) и ее стабильность на протяжении всего периода дутья достигается за счет применения воздухоподогревателей системы Калутина с рекуперацией тепла отходящих газов и подогревом воздуха горения;

5) высокая температура доменного газа — высокая температура, низкое содержание влаги и пыли, а также существенное снижение удельных затрат воды на 1 т чугуна обеспечивается применением сухой газоочистки на основе рукавных фильтров;

6) полная утилизация энергии и теплосодержания доменного газа на газотурбинных установках ТУЭС дает возможность полного самообеспечения металлургического завода по электроэнергии.

Конвертерный цех:

1) малое остаточное содержание ванадия в полупродукте (0,007—0,009 %) за счет применения комбинированной продувки кислородом и аргоном;

2) низкие удельные и эксплуатационные затраты за счет применения схемы с полным дожиганием конвертерных газов в котле-утилизаторе. Это позволяет избежать заметалливания поверхностей котла при продувке на полупродукт, исключить шламовое хозяйство цеха и обеспечить запыленность отходящих газов не более 10—15 мг/нм³ за счет применения электрофильтров. Кроме того, применение указанной схемы позволит полностью обеспечить цеха комбината по пару, теплу и горячей воде.

Цех по обогащению шлака:

1) получение концентрата оптимальной для гидрометаллургии крупности менее 200 мкм и с содержанием V₂O₅ более 25 %;

2) получение товарного металлосодержащего продукта с содержанием железа более 75 % крупностью 3—100 мм и обогащенного шлака для агломерационного производства с содержанием железа более 45 % и крупностью 0—3 мм.

Кроме того, к преимуществам представленных технологических решений можно отнести следующее:

- низкие тепловые потери металлургических агрегатов за счет применения эффективной огнеупорной футеровки и теплоизоляция нового поколения с низкой теплопроводностью и удельным весом, существенно снижающие нагрузки на несущие конструкции и эксплуатационные затраты на обслуживание;

- использование современной единой системы КИП автоматизации контроля и стабилизации технологических параметров агрегатов и управления технологическими процессами, обеспечивающей стабилизацию технологических параметров и заданного качества продукции при оптимизации технико-экономических показателей и теплоэнергетических затрат на производство;

- высокая экономичность и экологичность проектных решений за счет низких удельных расходов природного газа (или даже его полное исключение из потребления), воды, электроэнергии и полного рециклинга всех металлургических отходов, возникающих на каждом этапе производства.

Таким образом, комплексный подход к решению проблемы переработки титаномагнетитового сырья обеспечивает переработку концентратов с содержанием TiO₂ до 3 % в металлургическую продукцию высокого качества при низких удельных расходах электроэнергии, воды и природного газа и количествах вредных выбросов. Реализация данного проекта позволит создать высокорентабельное производство по переработке титанистых железных руд, что откроет перспективы для освоения других аналогичных месторождений. 🌐

Список использованной литературы

1. Технологические исследования обогатимости титаномагнетитовой руды Тебинбулакского месторождения. Отчет от научно-исследовательской работе / ОАО «Уралмеханобр», рук. Сопина Н. А. — Екатеринбург, 2013. — 148 с.
2. Леонтьев Л. И. Пирометаллургическая переработка комплексных руд / Л. И. Леонтьев, Н. А. Ватолин, С. В. Шаврин, Н. С. Шумаков. — М.: Металлургия, 1997. — 432 с.
3. Разработка технологического регламента на производство чугуна доменным способом. Аннотационный отчет о научно-исследовательской работе / ИМет УрО РАН, рук. Шешуков О. Ю. — Екатеринбург, 2013. — 32 с.
4. Технологический регламент на разработку технологии получения ванадиевого чугуна доменным способом и шихтовой заготовки с целью дальнейшего проектирования / ИМет УрО РАН, рук. Шешуков О. Ю. — Екатеринбург, 2013. — 53 с.

