

Отзыв
на автореферат диссертации **Смирнова Константина Игоревича** на тему
«**ТВЕРДОФАЗНОЕ СЕЛЕКТИВНОЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЖЕЛЕЗА В ИЛЬМЕНитОВОМ
КОНЦЕНТРАТЕ С ЦЕЛЬЮ ПОЛУЧЕНИЯ МЯГКОГО ЖЕЛЕЗА И КОНЦЕНТРАТА
ДИОКСИДА ТИТАНА**»,

представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 2.6.2 Metallургия черных, цветных и редких металлов

В Российской Федерации наблюдается дефицит сырья для производства продукции из титана (пигментного диоксида титана и металлического титана). Разработка и освоение технологии комплексной переработки титансодержащих руд с извлечением всех ценных элементов (железа, титана и ванадия) позволит обеспечить сырьем предприятия сталеплавильной промышленности, титановой, а также ферросплавной, лакокрасочной и химической промышленности. Условия невосполнимости обрабатываемых минеральных ресурсов, высокая стоимость добычи полезных ископаемых требует наиболее разумного и бережного их использования, что позволит обеспечить сырьем ряд отраслей, значительно сократить или полностью исключить образование техногенных отходов.

Исследованиями по переработке титансодержащих железорудных материалов в настоящее время занимается большое количество научных коллективов. Однако известные научные разработки направлены, в основном, на извлечение одного или нескольких полезных элементов. В исследованиях по комплексной переработке подобных руд, основанной на предварительном восстановлении и последующем разделении продуктов восстановления плавлением, существенным недостатком является неизбежное совместное с железом восстановление до низших оксидов титана. Таким образом, представленная диссертационная работа, направленная на определение условий селективного восстановления железа из ильменитового концентрата при использовании углерода и водорода с последующим разделением продуктов восстановления на железо и концентрат оксидов титана, несомненно является **актуальной**.

Представленная диссертационная работа обладает научной новизной:

1. Обоснована эффективность селективного твердофазного восстановления железа в кристаллической решетке ильменита водородом с целью получения мягкого железа и концентрата диоксида титана.

2. Показано, что селективное твердофазное восстановление и выделение металлического железа может происходить внутри кусков комплексного оксида в окружении анионов кислорода, либо на поверхности. Место выделения металлической фазы определяется различием в скорости движения заряженных анионных вакансий, ионов кислорода и железа сквозь кристаллическую решетку оксида, которое в свою очередь зависит от количества термических и восстановительных дефектов кристаллической решетки оксида.

3. Установлено, что дититанат железа $\text{FeO} \cdot 2\text{TiO}_2$ является не промежуточным продуктом реакции восстановления, а продуктом растворения образованного при восстановлении рутила с ильменитом, не вступившим в реакцию восстановления.

4. Выявлены условия жидкофазного разделения продуктов восстановительного обжига с использованием водорода в качестве восстановителя при температуре от 1650 до 1700 °С. Полученные результаты и данные литературного анализа позволили рекомендовать технологическую схему переработки ильменитовых концентратов с получением мягкого железа и концентрата диоксида титана.

Показана и практическая значимость полученных результатов:

1. Экспериментально подтверждена возможность селективного твердофазного восстановления железа из ильменитового концентрата водородом с высокой скоростью и получением востребованных продуктов железа и диоксида титана. Вследствие использования водорода в качестве замены углерода как восстановителя исключается образование тугоплавких карбидов титана и восстановление титана из диоксида до низших оксидов.

2. Показана возможность жидкофазного разделения продукта металлизации ильменитового концентрата водородом при температуре от 1650 до 1700 °С с получением первородного железа, пригодного к производству качественной металлопродукции, и концентрата диоксида титана, пригодного для дальнейшей переработки на пигментный диоксид титана.

3. Показана энергетическая эффективность водородного восстановления по сравнению с восстановлением углеродом за счет восстановления только железа без восстановления титана до низших оксидов. Суммарные затраты энергии на восстановление железа из ильменита водородом при температуре 900 °С в 2,25 раз меньше затрат на протекание восстановления железа углеродом при температуре 1300 °С и в 1,58 раз меньше, чем при температуре 900 °С.

4. Предложена технологическая схема и набор технологического оборудования для комплексной ресурсосберегающей пирометаллургической технологии переработки ильменитового концентрата по двухстадийной схеме путем предварительного восстановления железа водородом при температуре 900 °С в многоподовой печи и разделения продуктов восстановления в плазменной печи. По результатам работы получен патент на изобретение RU № 2826667 от 07.03.2024 г. «Получение оксидов активных металлов и концентратов из комплексных и трудно перерабатываемых железосодержащих руд селективным восстановлением элементов».

К представленной работе имеются следующие замечания:

1. На стр. 10 автореферата, автор указывает, что: «В качестве восстановителя использовали углерод или водород в количестве необходимом по стехиометрии на

