

Висновки та напрямок подальших досліджень. Проведені дослідження та практика використання показує, що швидке зношення стрічки викликане впливом шкідливих факторів та неналежною експлуатацією. Серед основних факторів, які приводять до абразивного зношення обкладки стрічки та пориву її каркасу варто виділити зусилля натягнення стрічки, від якого залежать параметри коливання стрічки, а отже і динамічне навантаження, та умови контакту завантажуемого вантажу зі стрічкою. Зміна зусилля натягнення стрічки під час роботи конвеєра потребує більш глибокого дослідження. В подальшому необхідно розробити дослідний стенд, та вивчити як змінюється зусилля натягнення стрічки в часі.

Список літератури

1. Волотковский В.С., Нохрин А.Г., Герасимова М.Ф. Износ и долговечность конвейерных лент. –М.:Недра, 1976г. -176 с.
2. Ерофеева Н.В. Исследование сегрегации груза на ленточном конвейере под воздействием ударных импульсов: дис. кандидата техн. наук: 05.05.06./ Н.В. Ерофеева –Кемерово, 2011. –178 с.
3. Шуткин И.В. Оценка долговечности резиноканевых конвейерных лент при ударно-усталостном и абразивном изнашивании на горнах предприятия: дис. кандидата техн. наук: 05.05.06/И.В. Шуткин –М., 2000. –181 с.
4. Автоматическая система онлайн мониторинга в реальном времени для резиноканевоы ленты ТСК. – Режим доступа: www.tck-cn.com/ru.
5. Рыбкин С.К. Прогнозирование технического ресурса резиноканевых конвейерных лент для горной промышленности при ударном разрушении крупнокусковым грузом: дис...канд. техн. наук/ С.К. Рыбкин - М.:МГИ,1990г. -155 с.

УДК 669.295+669.295

БАБОШКО Д.Ю. аспирант, ТКАЧ В.В. к.т.н., проф., ГУБИН Г.В. д.т.н., проф., ЗИМА С.Н., к.г.-м.н., ОРЕЛ Т.В. к.т.н., доц., ГВНЗ «Криворожский национальный университет»

МЕХАНИЗМ КАРБОТЕРМИЧЕСКОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ТИТАНОМАГНЕТИТОВОГО КОНЦЕНТРАТА

Целью исследования являлось изучение особенностей структурных преобразований минеральных частиц в процессе карботермического восстановления титаномагнетитовых окатышей с высокой массовой долей титана (более 20% TiO₂) в интервале температур 800-1500 °С.

Метою дослідження було вивчення особливостей структурних перетворень мінеральних часток в процесі карботермічного відновлення титаномагнетитових окатишів з високою масовою часткою титану (більше 20% TiO₂) в інтервалі температур 800-1500 °С.

The aim of this research was to study the peculiarities of structural transformations of the mineral particles in the process of carbothermic reduction of titanomagnetite ore pellets with a high mass fraction of titanium (20% TiO₂) the temperature range of 800-1450°C.

Введение. Титан (Ti) - химический элемент IV группы периодической системы Менделеева, его содержание в земной коре составляет 0,57%. По распространенности в природе занимает 10 место, в свободном виде не встречается. Титан входит в состав многих минералов. В настоящее время известно около 70 минералов титана, однако основными промышленными источниками титанового сырья являются: ильменит – FeTiO₃ (содержание TiO₂ - 43,68-52,7%); рутил – TiO₂ (TiO₂ - 91,96-98,96%); лейкоксен – TiO₂Fe₂O₃nH₂O (TiO₂ - 77,9-97,59%); а в последнее время, анатаз – TiO₂ (TiO₂ - 94,05-99,75%). Также при переработке комплексных руд титан изымают из: титаномagnetита – Fe₃O₄ + FeTiO₃; перовскита – CaTiO₃ (TiO₂ - 38,7-57,75%); липарита - (TiO₂ - 38,3-41,0%). В мире выявлено более 310 месторождений титановых минералов, в том числе 70 - магматических (69% мировых запасов), 10 в коре выветривания (около 10% запасов) и более 230 россыпных (около 20% запасов).

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Украина является второй страной СНГ по запасам титана. Разведанные запасы титана здесь составляют 40,5% от общих запасов стран СНГ, к ним относятся крупные ильменит-рутил-цирконевые россыпные месторождения - Иршанской группы (Житомирская область) и Малышевское (Днепропетровская область). Довольно значительные запасы титана сосредоточены в коре выветривания и коренных рудах крупнейшего в СНГ Стригородского ильменит-титан-магнетитового месторождения (30,8% от общих запасов СНГ). Схема переработки основных титановых концентратов приведена на рис. 1. В последнее время на мировом рынке титана не достаток рудного сырья. Ирландская компания Kenmare Resources прогнозирует дефицит титановых концентратов на мировом рынке в течение двух лет из-за закрытия ряда рудников. Дефицит концентратов в 2015 году может составить 20% от сегодняшнего мирового спроса. Поэтому титановые компании планируют разработку новых месторождений.

Украина обладает благоприятными возможностями для того, чтобы повысить свою роль в мировой титановой промышленности. Сырьевой потенциал страны оценивается в 900 млн. тон ильменита и рутила, соответствует 30% выявленных мировых запасов. Кроме того, в Украине сосредоточены значительные производственные мощности, как в сфере производства концентратов, так и металлического титана. На территории Украины также сосредоточены большие запасы комплексных титаномagnetитовых руд, использование которых возможно только, после разработки технологии нового типа для переработки титансодержащих концентратов с высоким содержанием титана (не более 23 % TiO₂) [1].

Анализ исследований и публикаций. Из рис. 1 следует, что не одна из представленных промышленных технологий переработки титановых концентратов (45-96 % TiO_2) не целесообразна для титаномагнетитового концентрата с содержанием TiO_2 не более 23 %.

Наиболее перспективной для промышленного применения является пирометаллургическая технология, разработанная ИМЕТ им. А.А. Байкова, предусматривающая переработку титаномагнетитового концентрата по двухстадийной схеме восстановления, но основным недостатком данной технологии является повышенный расход энергоресурсов, что на данный момент времени делает эту технологию экономически нецелесообразной [2-4]. Перспективной для переработки богатых титаномагнетитовых концентратов, включающая элементы технологии ИМЕТ им. А.А. Байкова, является технология третьего поколения ITmk3 (Ironmaking Technology Mark Three), разработанная для производства чугуна и основанная на процессе твердофазного восстановления железосодержащих окатышей концентратов в печах с вращающимся подом [5-7] Технология ITmk3 характеризуется высокими показателями качества конечного продукта, малыми выбросами загрязняющих веществ и сравнительно небольшими удельными капитальными затратами, а также возможностью производства чугуна в условиях горно-обогатительных комбинатов [7, 9]

Постановка задачи исследования. Ранее проведенные исследования карботермического процесса восстановления титаномагнетитовых концентратов, выполненные для разных месторождений с массовой долей $\text{Fe}_{\text{общ.}}$ 56,5-64,5 %, оксида титана 3,0-16,7 %, показали, что при металлизации получены шлаки с широким спектром химического состава (15,4-62,5 % TiO_2) и это является важным фактором для изучения и выявления закономерности формирования фазового состава титанованадиевых шлаков и распределения элементов, в частности, ванадия и титана, между фазами в них [8]. Для титаномагнетитовых концентратов с массовой долей оксида титана более 20 % исследования не проводились.

Материалы и методика исследования. Объектом исследования являлся титаномагнетитовый концентрат апатит-ильменит-титаномагнетитовых руд [10, 11], имеющий состав, масс. %: 45,5 FeO ; 23,0 Fe_2O_3 ; 22,03 TiO_2 ; 1,5 SiO_2 ; 1,2 Al_2O_3 ; 0,26 CaO ; 3,4 MgO ; 0,42 MnO ; 0,516 V_2O_5 ; 0,04 Cr_2O_3 . С учетом рекомендаций [8] массовая доля углерода и флюса в шихте исследуемых окатышей диаметром 5-10 мм составила, соответственно 20 и 3 %.

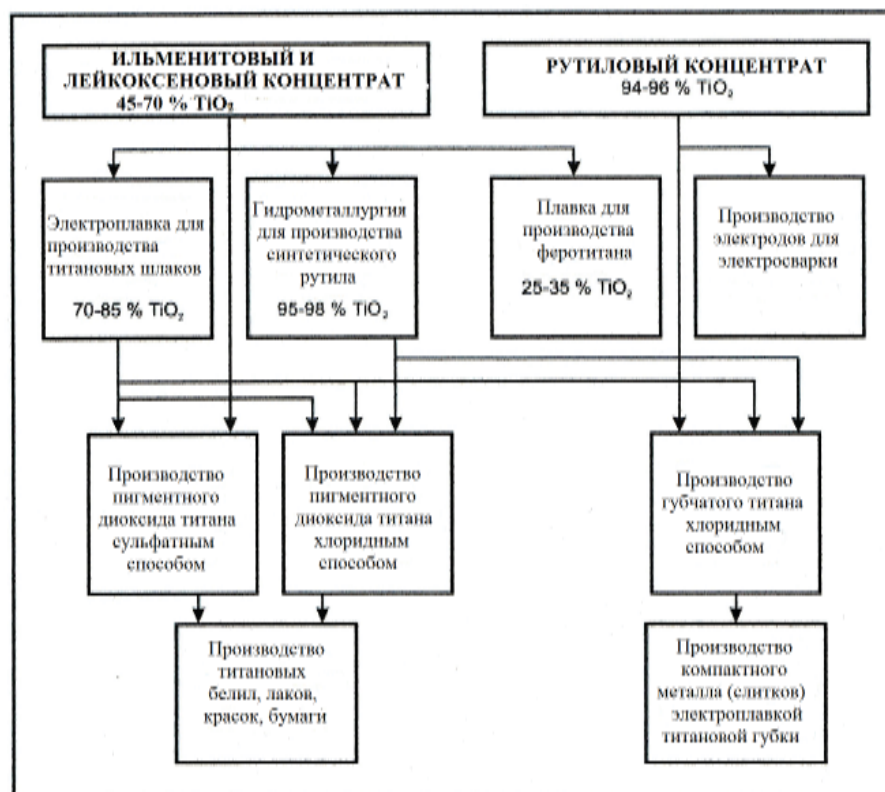


Рис. 1. Схема переработки основных титановых концентратов

Результаты исследований и их обсуждение. Необходимо отметить, что для оценки процесса восстановления использовался и термин “интенсивность восстановления”, без уточнения каким из параметров (температура – время выдержки) он обусловлен.

Минераграфическими исследованиями серий окатышей в указанном диапазоне температур (800-1500 °С) выдержек (5-40 минут) было установлено, что заметное восстановление титаномагнетитового концентрата начинается при температуре около 900 °С, выдержках 10-20 минут и определяется размером зёрен. Восстанавливаются сначала самые мелкие (менее 40-50 мкм), крупные (до 0,6-0,7 мм) – могут сохраняться до самых высоких температур. Но чем выше степень восстановления концентрата, тем меньше в нем количество остаточных зёрен титаномагнетита и тем они крупнее. При восстановлении железо уходит из кристаллической решетки минералов и мигрирует за пределы рудных зёрен. В контурах рудных зёрен сосредотачиваются мелкие частицы Fe⁰, а за пределами рудных зёрен формируется железная губка (рис. 2-а). Весь цикл изменений, в том числе и структурно-морфологических, представляет собой:

- на поверхности рудных зёрен, по контуру, появляются каймы серого цвета (рис. 2-б);
- зерна приобретают блоковое строение, подчёркнутое развивающимся восстановительным процессом (рис. 2-в);
- блоки разобщаются (рис. 2-г, д), в некоторых случаях уменьшаются в размере, как бы “тают”, но почти всегда сохраняется при этом контур первоначального зерна.

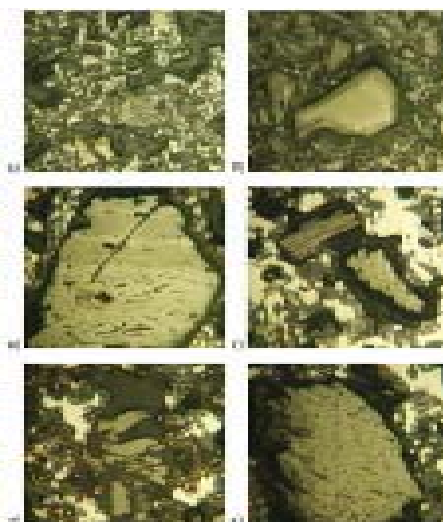


Рис. 2. Стадии преобразования зерен титаномагнетита в процессе восстановления

Отраженный свет, без анализатора. Ув. $\times 200$. Белое – железо металлическое; кремовые различные оттенки – титаномагнетит; серое и темно-серое – фазы шлака; черное – поры; оранжевое – выделения мелких “оранжевых” зерен.

а) начало изменения зёрен титаномагнетита с развитием в них тонкой вкрапленности Fe^0 ; $T = 1100\text{ }^\circ\text{C}$, $t = 10$ мин.;

б) измененная кайма по контуру зерна, обусловленная различной степенью изменения его состава; $T = 1100\text{ }^\circ\text{C}$, $t = 10$ мин.;

в) блоковая структура зерен, обусловленная различной степенью изменения его состава; $T = 1250\text{ }^\circ\text{C}$, $t = 40$ мин.;

г) различная степень изменения двух зёрен титаномагнетита в окружении металлической губки и шлака; $T = 1300\text{ }^\circ\text{C}$, $t = 40$ мин.;

д) разобщение очень измененного зерна титаномагнетита на разобщающиеся блоки, выделение “оранжевых” зерен; нагрев $800\text{-}1300\text{ }^\circ\text{C}$, выдержка 40 мин.;

е) перекристаллизация измененного зерна титаномагнетита; $T = 1300\text{ }^\circ\text{C}$, $t = 40$ мин.

При высокой интенсивности процесса остаточные рудные зёрна вообще подвергаются перекристаллизации с образованием призматических или тонкоигольчатых рутилоподобных агрегатов (рис. 2-е). Эти изменения происходят в твёрдой фазе и следуют друг за другом именно в указанном порядке, сменяя предыдущие с увеличением интенсивности восстановления, если величина зерна к тому времени ещё позволяет ему сохраниться.

Стадии образования шлаковой фазы показано на рис. 3:

- в рудных зернах со структурами распада твердого раствора сначала восстанавливается магнетитовая матрица с образованием Fe^0 с уходом его в межзерновое пространство, а на месте рудного зерна остается ильменитовая “сетка” (рис. 3-а);

- ильменитовая “сетка” некоторое время остается на месте, структурно и по составу изменяясь и закладывая основу будущего титанового шлака (рис. 3-б), требующего для своего формирования более высокой интенсивности (температуры) процесса;

Отраженный свет, без анализатора. Ув. $\times 200$. Белое – железо металлическое; кремное различные оттенки – остаточные зерна титаномагнетита; красновато-коричневое (д) – металл; различные оттенки серого – ильменит (а) и шлак; черное – поры.

а) “сетка” ильменита – остаточная от структуры распада твёрдого раствора в очень измененном зерне титаномагнетита; $T=1100\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t=40$ мин.;

б) начало формирования участков шлака на месте зерен титаномагнетита (видны контуры) и выделения Fe° за их пределами; $T=1100\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t=40$ мин.;

в) разобшение участков шлака и Fe° (пятнистая текстура); $T=1200\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t=20$ мин.;

г) развитие укрупняющейся губки Fe° в сростании со шлаком, видны контуры рудного зерна с останцами измененного титаномагнетита; $T=1250\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t=40$ мин.;

д) раскристаллизация крупных выделений шлака с образованием рутилоподобных кристаллов в плёночном цементе (стекло), выделения белого и красновато-коричневого металлов; $T=1350\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t=50$ мин.;

е) тонкозернистый рутиловый шлак, остаточное зерно титаномагнетита с плёнкой Fe° ; $T=1500\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t=5$ мин.

Отраженный свет, без анализатора. Ув. $\times 200$. Белое – железо металлическое; кремное различные оттенки – остаточные зерна титаномагнетита; красновато-коричневое (д) – металл; различные оттенки серого – ильменит (а) и шлак; черное – поры.

а) «сетка» ильменита – остаточная от структуры распада твёрдого раствора в очень измененном зерне титаномагнетита; $T=1100\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t=40$ мин.;

б) начало формирования участков шлака на месте зерен титаномагнетита (видны контуры) и выделения Fe° за их пределами; $T=1100\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t=40$ мин.;

в) разобшение участков шлака и Fe° (пятнистая текстура); $T=1200\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t=20$ мин.;

г) развитие укрупняющейся губки Fe° в сростании со шлаком, видны контуры рудного зерна с останцами измененного титаномагнетита; $T=1250\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t=40$ мин.;

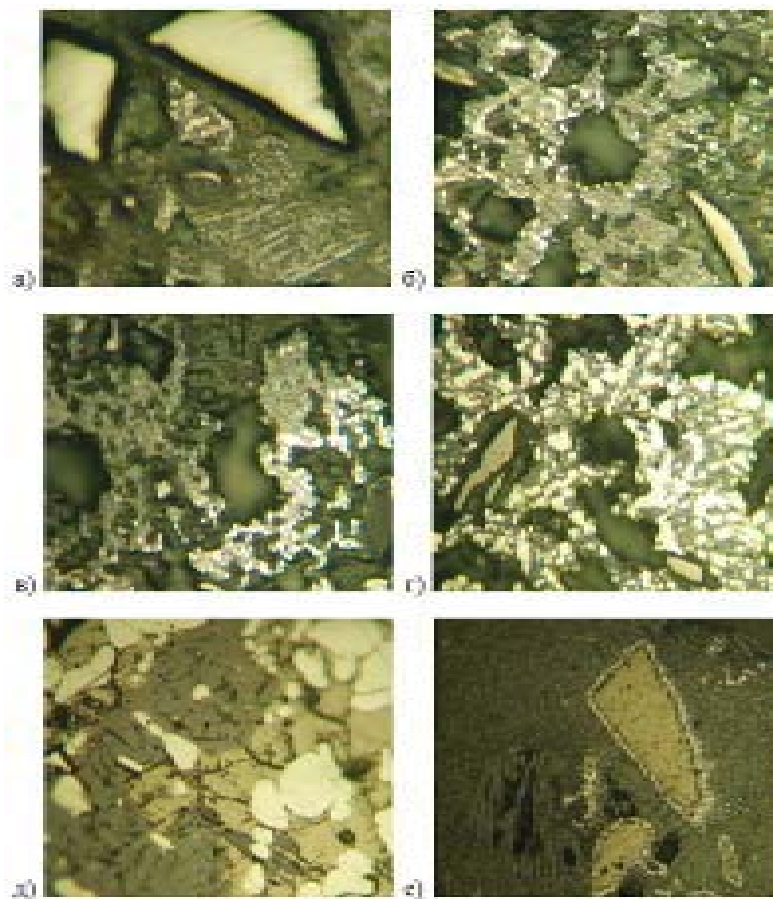


Рис. 3. Формирование шлака

д) раскристаллизация крупных выделений шлака с образованием рутилоподобных кристаллов в плёночном цементе (стекло), выделения белого и красновато-коричневого металлов; $T = 1350\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t = 50\text{ мин.}$;

е) тонкозернистый рутиловый шлак, остаточное зерно титаномагнетита с плёнкой Fe° ; $T = 1500\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t = 5\text{ мин.}$

- Fe° , удаляющееся из кристаллической решетки минерала при восстановлении мигрирует на небольшие расстояния (как бы “стекает”) и концентрируется в отдельных участках (рис. 3-в);

- при дальнейшем увеличении интенсивности восстановления выделения Fe° укрупняются, сливаются с образованием крупной губки, гнёзд размером до десятых долей миллиметров (рис. 3-г);

- расширяются и увеличиваются микрообъемы шлака. При температуре $1300\text{ }^{\circ}\text{C}$ и выдержках более 50 минут создаются условия для размягчения окатышей и появления расплава, что способствует перекристаллизации шлака с укрупнением индивидов, приобретающих вид кристаллов рутилоподобного облика (рис. 3-д). При этом в шлаке присутствует значительное количество сравнительно крупных округлых выделений Fe° (рис. 4-в);

- при температуре $1500\text{ }^{\circ}\text{C}$ и выдержки 5 минут выделения шлака, в основном, раскристаллизованы и сложены тонкоигольчатыми и тонковолокнистыми агрегатами рутила с толщиной индивидов от долей до первых микрометров. Иногда в массе шлака наблюдаются остаточные, полу-

оплавленные рудные зерна титаномагнетита размером 0,04×0,07 и 0,07×0,15 мм с обязательной пленкой металлического железа толщиной 1-3 микрометра (рис. 3-е).

Виды выделений металла представлены на рис. 4:

- при температуре 1300 °С и выдержках около 40 мин. появляется так называемый “грязный” металл, с включениями химических элементов на микроуровне (рис. 4-б), впоследствии они концентрируются в более крупных (до 0,05-0,07 мм) выделениях округлой или вытянутой формы.

Отраженный свет, без анализатора. Ув. ×200, кроме (а) ×140. Белое – железо металлическое; красновато-коричневое металл; оранжевое – “оранжевые” зерна; “розовый металл”; различные оттенки серого – шлак; черное – поры.

а) формирование шпироподобных структур Fe⁰ в сростании со шлаком, выделение “оранжевых” зерен в металле и шлаке; T= 1400-1500 °С, в течение 40 мин.;

б) “грязный” металл (с микровключениями) с кристаллами белого металла; T= 1300 °С, t= 40 мин.;

в) включения красновато-коричневого металла в белом; T= 1300 °С, t= 50 мин.;

г) красновато-коричневый металл с плёнками белого по поверхности гранул; T= 800-1300 °С, выдержка 80 мин.;

д) включения розового металла в белом (структура напоминает эвтектику); T= 1300 °С, t= 50 мин.;

е) включения оранжевых зерен и розового металла в белом, крупные остаточные зерна; T= 1300 °С, t= 50 мин.

- при температуре выше 1400 °С интенсивно “коричневеют” и сплошные крупные поля металла, только по границам гранул наблюдается белая, более чистая кайма (рис. 4-г).. Иногда, в условиях температуры 1300 °С, с выдержек более 50 мин., в белом металле наблюдаются мелкие неправильной формы (напоминают эвтектику) включения розового цвета (рис. 4-д), которые характеризуются повышенным содержанием марганца, ниобия и хрома. В тех же условиях и нередко сопровождая появление “розового” металла, в зоне контакта металла и шлака образуются мелкие, около 50-70 мкм, оранжевые зерна изометричной формы с выступающим рельефом (рис. 4-а, е). В коричневом, розовом металле и в оранжевых зернах нередко наблюдается аномально высокое до 1,2-2,4 масс.%, содержание ванадия.

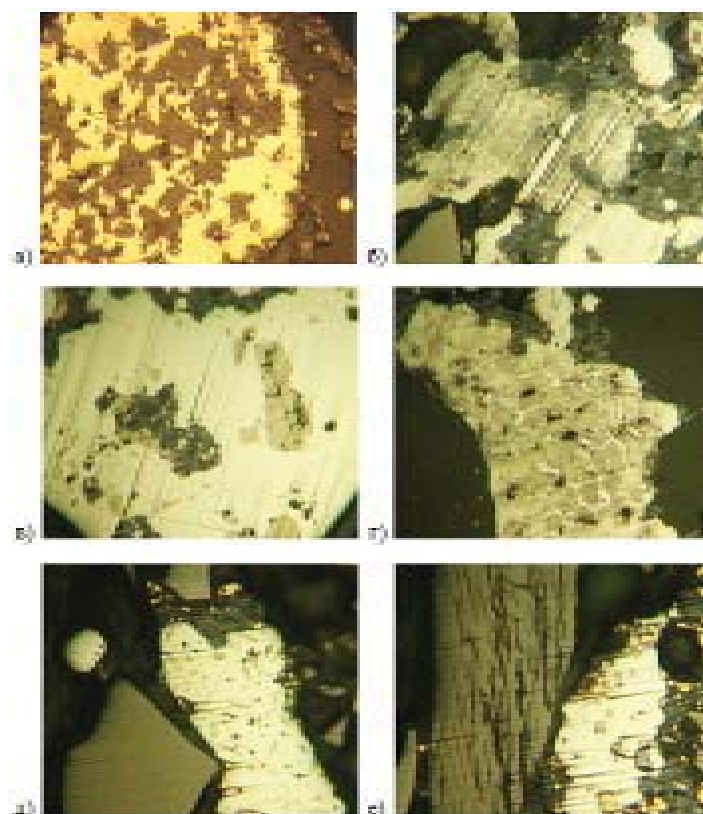


Рис. 4. Особенности выделений металла

- следует отметить, что при температуре 1500 °С Fe⁰ приобретает сферическую форму (корольки) и имеет структуру металла.

Таким образом, восстановление титаномагнетитового концентрата, после появления металла и шлака, совершается параллельно в трёх влияющих друг на друга средах: остаточных зернах титаномагнетита, металле и шлаке. В зернах титаномагнетита, характеризующиеся многофазным составом и сложным проростанием фаз, на уровне структур распада твёрдого раствора, восстанавливается сначала (температура 1200 °С) магнетитовая матрица. После чего, оставшаяся ильменитовая сетка, меняясь структурно и по составу, ещё долго не “отдает” железо окончательно и для более полной его отдачи требуется высокая температур - до 1500 °С.

Выводы. Изучение особенностей структурных преобразований в титаномагнетитовых окатышах при карботермическом восстановлении показало принципиальную возможность применения особенностей технологии ITmk3 для разделения железа и титана из титаномагнетитовых зерен на Fe⁰ в виде корольков и титаносодержащий шлак. Для осуществления этого процесса необходимо создание в кольцевой вращающейся печи определенных температурных, временных и физико-химических условий:

- необходимо предварительное доизмельчение крупнозернистого концентрата до крупности не менее 96-99 % класса -0,05мм с целью ускорения процесса и снижения энергетических затрат;

- максимальная температура процесса восстановления должна приближаться к температуре плавления ильменита (1440-1470 °С) и с кратко-

временным нахождением титаномагнетитовых окатышей в этой температурной зоне;

- технология восстановления должна включать две стадии – нагрев и предварительная выдержка титаномагнетитовых окатышей при температуре 1300 °С в течение не менее 20; и их последующая выдержка при температуре около 1500 °С в течение 5-15 минут.

Список литературы:

1. Металиди В.С. Титан России // Минеральные ресурсы Украины. 2008. №3. -С. 42-45.

2. Погудин Д.С., Морозов А.А., Садыхов Г.Б., Олюнина Т.В., Леонтьев Л.И. Исследование одностадийного процесса металлизации титаномагнетита месторождения Гремяха-Вырмес// Цветные металлы. 2011. № 1. -С.73-76.

3. Резниченко В.А., Карязин И.А., Морозов А.А., Садыхов Г.Б. Комплексное использование титаномагнетитов на новом этапе развития производства // Металлы. 2000. -№ 6. -С. 3-8.

4. Морозов А.А. Восстановительная электроплавка железотитановых концентратов месторождения Гремяха-Вырмес // Цветные металлы. 2002. № 1. -С. 92-95.

5. Пат. 2318899 РФ, МПК С 22 С 33/00, С 22 В 34/12. Способ переработки титаномагнетита / Серба В.И., Фрейдин Б.М., Калинин В.Т., Майоров Л.А. и др.,: Ин-т химии и технологии редких элементов и минер. Сырья Кольского науч. Центра РАН. - № 2006124475/02; заявл. 07.07.2006; опубл. 10.03.2008б Бюл. № 7.

6. Разаз Юнес, Опрышко И.А., Лобода П.И. Анализ технологий прямого восстановления оксидов металлов с применением печей с вращающимся подом // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Серія Машинобудування №61. -2011, -С. 184-192.

7. Копоть Н.Н., Рыбкин В.С., Евстюгин С.Н., Горбачев В.А., Леонтьев Л.И. Пути снижения себестоимости железа прямого восстановления. //Сталь, 2008, №1, -С. 4-5.

8. Садыхов Г.Б., Карязин И.А. Исследование титанованадиевых шлаков процесса прямого получения железа из титаномагнетитовых концентратов // Металлы. 2007. № 6. С.3-12.

9. Ткач В.В., Губин Г.В., Орел Т.В. Современная технология получения товарной продукции высокой добавленной стоимости в условиях горно-обогатительного // Разработка рудных месторождений: Респ. межвед. научн.-техн.сб. –2005. –Кривой Рог: КТУ. –Вып. 88. -С. 88-92.

10. Зима С.Н. Минералого-петрографические особенности апатитильменит-титаномагнетитовой руды Крапивенского месторождения. Сб. научн. Трудов НИПИ “Механобрчермет”. Новое в технологии, технике и переработке минерального сырья. –Кривой Рог, 2007. -С. 40-52.