



УДК 669.187.56.001.3

## ДЕГАЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОДА, СПРЕССОВАННОГО ИЗ ГУБЧАТОГО ТИТАНА, В ПРОЦЕССЕ ВАКУУМИРОВАНИЯ КАМЕРНОЙ ПЕЧИ ЭШП\*

И. В. Протокилов

Предложен способ удаления адсорбированных газов и влаги из расходуемого электрода, спрессованного из губчатого титана, посредством его нагрева проходящим электрическим током в процессе вакуумирования камерной электрошлаковой печи.

Method of removal of adsorbed gases and moisture from consumable electrode, pressed of spongy titanium, using its heating by passing electric current in the process of chamber electroslag furnace, is offered.

**Ключевые слова:** титан губчатый; спрессованный электрод; магнитоуправляемая электрошлаковая плавка; дегазация; влага; водород

Исходным сырьем для получения титановых слитков и слэбов является титан губчатый [1]. Из него (преимущественно способом прессования) изготавливают расходуемые электроды (рис. 1), которые затем переплавляют в слитки с использованием вакуумного дугового, электрошлакового переплава, магнитоуправляемой электрошлаковой плавки (МЭП) и др. [1–4]. При электронно-лучевой плавке используют спрессованные из губки заготовки или недробленые блоки губчатого титана [5].

Титан губчатый получают путем магнетермического восстановления тетрахлорида титана [1, 6]. Затем пористую массу титана очищают от паров магния и солей хлора посредством длительной вакуумной сепарации при значениях температуры 850... 1020 °С [6].

В результате в губчатом титане содержится минимальное количество вредных примесей (атмосферных газов) [7].

Однако в процессе последующих операций дробления губки, ее транспортировки, изготовления расходуемых электродов, при длительном хранении (особенно при нарушении соответствующих правил) и т. д. возможна адсорбция развитой по-

верхности губчатого титана. В результате в губчатом титане содержится минимальное количество вредных примесей (атмосферных газов) [7]. Однако в процессе последующих операций дробления губки, ее транспортировки, изготовления расходуемых электродов, при длительном хранении (особенно при нарушении соответствующих правил) и т. д. возможна адсорбция развитой по-



Рис. 1. Спрессованные из титана губчатого расходуемые электроды диаметром 35, 75 и 100 мм, используемые при МЭП

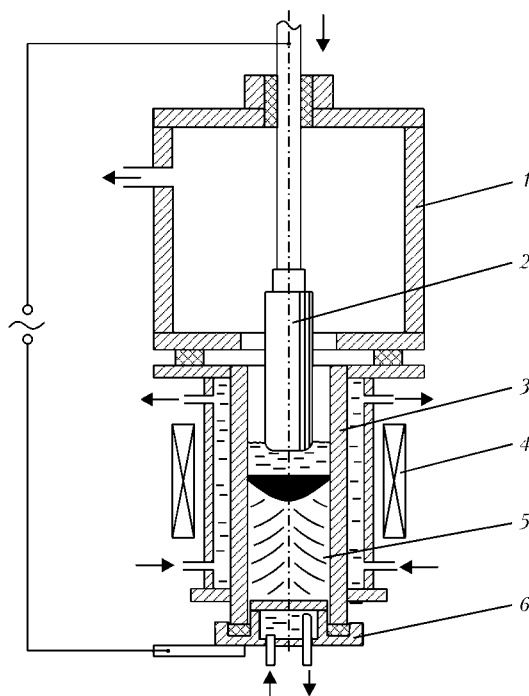


Рис. 2. Схема процесса МЭП: 1 – камера; 2 – расходуемый электрод; 3 – кристаллизатор; 4 – электромагнитная система; 5 – слиток; 6 – поддон

\*В работе принимали участие инженеры Д. А. Петров, В. Б. Порохонько.

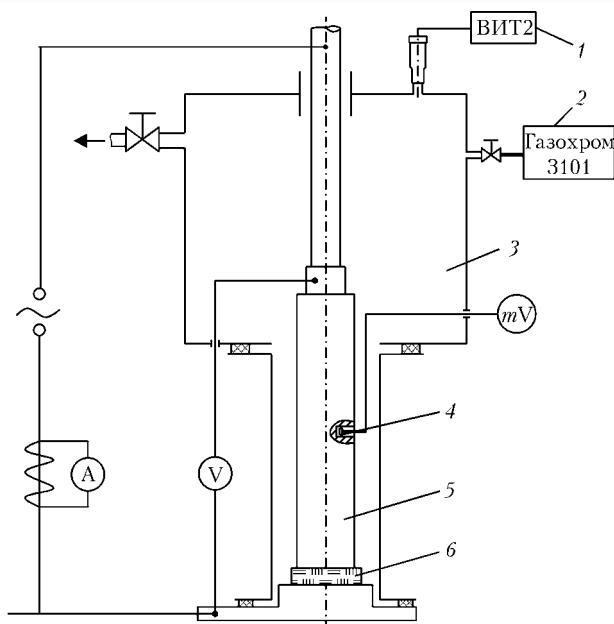


Рис. 3. Схема проведения экспериментов: 1 – вакуумметр; 2 – хроматограф; 3 – камера печи; 4 – термопара; 5 – расходный электрод; 6 – токопроводящая затравка

верхностью губчатого титана и остатками солей хлора атмосферных газов (влаги).

При последующем металлургическом переделе в условиях высоких значений температуры и вакуума данные примеси возгоняются и удаляются вакуумной системой. В случае же переплава в застойной атмосфере инертного газа такие примеси могут стать причиной повышенного содержания в металле водорода, кислорода и азота.

Следует отметить, что адсорбированные поверхностью губки (спрессованного электрода) атмосферные газы не растворяются в титане и их можно удалить путем вакуумной сепарации. Однако такая операция требует применения специального оборудования, значительно усложняет и удорожает технологический цикл выплавки слитков.

Цель данной работы заключалась в оценке возможности дегазации расходного электрода, спрессованного из губчатого титана, непосредственно в камере печи перед его переплавом способом МЭП.

По принятой технологической схеме процесса МЭП (рис. 2) спрессованный из губчатого титана расходный электрод монтируют в печи с обеспечением его электрического контакта с поддоном, затем в зону плавки засыпают флюс и производят герметизацию и вакуумирование печи. По достижении необходимого давления вакуумную систему отключают, и плавильное пространство заполняют инертным газом. Затем на электрод и поддон пода-

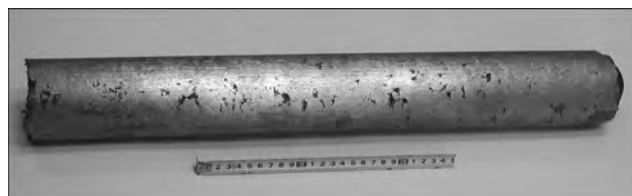


Рис. 4. Спрессованный из губчатого титана электрод диаметром 75 мм

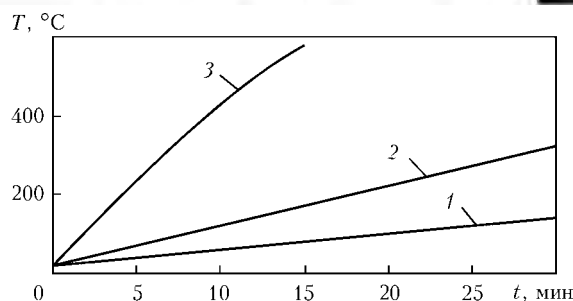


Рис. 5. Температура электрода в зависимости от продолжительности нагрева для разных значений тока, А: 1 – 1000; 2 – 1500; 3 – 2500

ют электрическое напряжение, обеспечивающее наведение шлаковой ванны и переплавление электрода.

Предложено дегазацию спрессованного из губчатого титана расходного электрода осуществлять на этапе вакуумирования плавильного пространства посредством его нагрева проходящим электрическим током, питаемым от стандартного печного трансформатора. Для предотвращения расплавления флюса и оплавления электрода электрическое напряжение на последнем не должно превышать значения, определяемого удельным сопротивлением спрессованной массы и геометрическими размерами электрода.

Преимущество предложенной схемы дегазации электрода заключается в том, что в ней не требуется использование дополнительного оборудования и не увеличивается продолжительность технологического цикла выплавки слитков.

Для оценки эффективности и разработки режимов дегазации электрода выполнили серию экспериментов (рис. 3). Использовали спрессованные из губчатого титана ТГ-130 электроды диаметром 75 мм и длиной 600 мм, которые длительное время (более 5 лет) хранились на открытом воздухе (в открытой емкости) (рис. 4). Нагрев электрода осуществляли путем пропускания электрического тока от печного трансформатора ТШП10000-1, оснащенного блоком плавного регулирования напряжения. При этом имитировали реальные условия токоподвода при МЭП. Температуру электрода контролировали при помощи термопары ХА(К), расположенной в теле электрода на расстоянии 25 мм от его поверхности. Давление в камере определяли вакуумметром «ВИТ 2». Содержание водорода в атмосфере печи анализировали с использованием хроматографа «Газохром 3101». Основные параметры процесса регистриро-

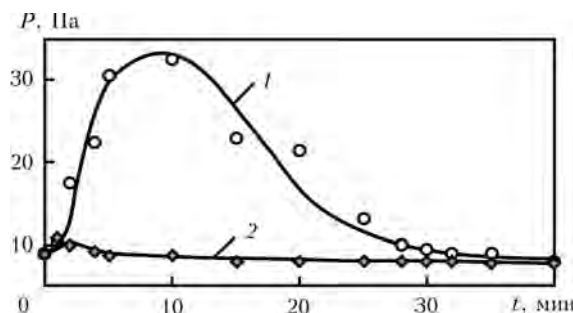


Рис. 6. Изменение давления в камере печи при первом (1) и повторном (2) нагревах электрода

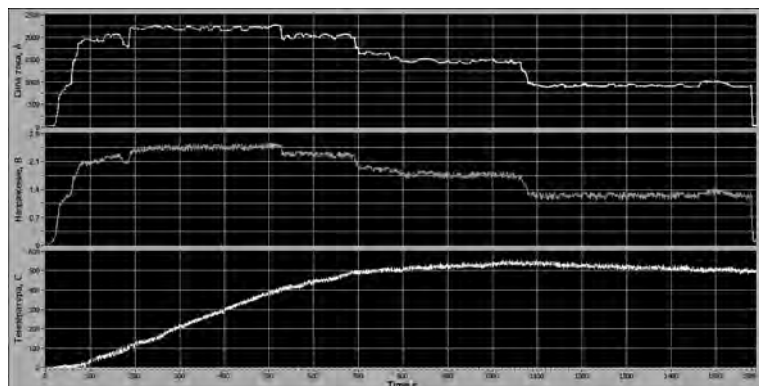


Рис. 7. Режимы нагрева электрода проходящим током

вали при помощи программного пакета LabView.

Для определения режимов нагрева электрода исследовали зависимость его температуры от значения проходящего электрического тока и продолжительности нагрева. В результате проведенных измерений разработаны электрические режимы нагрева электрода для его дегазации (рис. 5) с учетом необходимости быстрого нагрева электрода до температуры 450...500 °С и поддержания ее на данном уровне в течение всего периода дегазации. При этом температура электрода не должна превышать 500 °С из-за возможных нежелательных процессов растворения титаном остаточных атмосферных газов в условиях форвакуума.

Режимы нагрева электрода заключались в подаче на его торцы напряжения 2,2...2,6 В, обеспечивающего значение тока в электроде в интервале 2250...2500 А, и последующем снижении его до 1000 А по заданной программе в результате плавного понижения напряжения источника питания.

В другой серии экспериментов изучали изменение давления в камере печи при нагреве электрода, что косвенно характеризует процессы дегазации губчатого титана. Эксперименты проводили следующим образом. После монтажа электрода и герметизации печи включали вакуумную систему. После достижения вакуума на уровне 5,3 Па ( $4 \cdot 10^{-2}$  мм.рт.ст.) осуществляли нагрев электрода до 400...450 °С, при этом фиксировали изменение давления в плавильном пространстве.

Эксперименты показали, что в течение первых 5 мин после включения напряжения и пропускания по электроду электрического тока давление в печи начинает резко расти, что свидетельствует об ин-

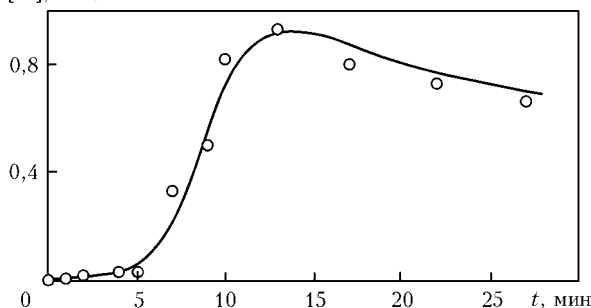


Рис. 8. Динамика изменения содержания водорода в атмосфере печи при нагреве электрода

тенсивной дегазации электрода (рис. 6). Затем через 10 мин за счет работы вакуумного насоса давление начинает постепенно снижаться, а еще через 20...30 мин — стабилизируется на уровне, несколько ниже исходного.

При повторном нагреве электрода после незначительного повышения давление в печи восстанавливалось до исходного уровня уже через 5 мин (рис. 6, поз. 2). Это свидетельствует об удалении адсорбированной влаги из электрода и завершении процесса дегазации.

В последней серии экспериментов исследовали изменение содержания водорода в атмосфере печи при нагреве электрода. Для этого после герметизации и вакуумирования печи плавильное пространство заполняли аргоном. Затем нагревали электрод и периодически отбирали пробы для хроматографического анализа на содержание водорода в атмосфере печи. Впоследствии эксперимент повторяли с использованием уже «просушенного» электрода.

Результаты экспериментов приведены на рис. 7, 8. Они показывают, что через 5 мин после начала эксперимента при нагреве электрода проходящим током выше 200 °С содержание водорода в атмосфере печи резко возрастает до 0,7...0,9 об. % (рис. 8). Это свидетельствует об испарении адсорбированной влаги с поверхности электрода, а также из его внутреннего объема вследствие наличия в нем несплошностей. В дальнейшем содержание водорода в атмосфере незначительно снизилось, что, вероятно,



Рис. 9. Слиток сплава VT1-0



связано с обратными процессами взаимодействия титана с водородом. В реальных условиях дегазации электрода испарившаяся влага удаляется из плавильного пространства вакуумной системой.

При проведении повторного эксперимента водород в атмосфере печи не обнаружен, что подтверждает факт удаления адсорбированной влаги при первом нагреве электрода.

После проведения указанных экспериментов часть электродов переплавили способом МЭП в титановые слитки диаметром 100 мм (рис. 9). Несмотря на использование для выплавки слитков низкосортной титановой губки ТГ-130 и длительное (более 5 лет) хранение изготовленных из нее расходоуемых электродов на открытом воздухе содержание атмосферных газов в металле было следующим, % [O] — 0,08... 0,17; [N] — 0,016... 0,025; [H] — 0,006... 0,008, что соответствует требованиям стандарта на сплав ВТ1-0.

Таким образом, эксперименты показали эффективность удаления адсорбированной влаги из электрода, спрессованного из губчатого титана путем нагрева электрическим током при вакуумировании камерной электрошлаковой печи. В предложенной схеме дегазации электрода не требуется использование дополнительного оборудования, не увеличи-

вается продолжительность технологического цикла выплавки титановых слитков. Данную операцию целесообразно проводить для электродов, изготовленных из некачественной губки, или длительное время хранившихся на открытом воздухе.

1. *Титан* / В. А. Гармата, А. Н. Петрунько, Н. В. Галицкий и др. — М.: Металлургия, 1983. — 559 с.
2. *Плавка и литье титановых сплавов* / Н. Ф. Аношкин, С. Г. Глазунов, Е. И. Морозов, В. В. Тетюхин. — М.: Металлургия, 1978. — 383 с.
3. *Компан Я. Ю., Протоковилос И. В.* Некоторые технологические аспекты магнитоуправляемой электрошлаковой плавки (МЭП) титановых сплавов // Материалы междунар. науч.-техн. конф. «Специальная металлургия: вчера, сегодня, завтра» (Киев, 8-9 окт. 2002 г.). — Киев, 2002. — С. 256-262.
4. *Переплав губчатых титановых расходоуемых электродов способами ЭШП и ДШП* / Б. Е. Патон, Б. И. Медовар, В. Я. Саенко и др. // Пробл. спец. электрометаллургии. — 1992. — № 2. — С. 7-11.
5. *Электронно-лучевая плавка недробленых блоков губчатого титана* / Н. П. Тригуб, С. В. Ахонин, Г. В. Жук и др. // Современ. электрометаллургия. — 2006. — № 4. — С. 6-9.
6. *Запорожский титано-магниевого комбинат. Технология производства* // www.ztmc.zp.ua/ru/o-kombinate/tehnologiya-proizvodstva
7. *ДСТУ 3079-95 (ГОСТ 17746-96). Титан губчатый. Технічні умови.* — К.: Держкомітет стандартизації, метрології та сертифікації України, 1995. — 26 с.

Ин-т электросварки им. Е. О. Патона

Поступила 16.01.2012

## В Кировоградской области открыт новый титановый горно-обогащительный комбинат

Компания «Велта» сегодня провела официальное открытие горно-обогащительного комбината (ГОК) по добыче и переработке титановой руды (Новомиргородский район Кировоградской области). Об этом сообщает пресс-служба компании.

Общий объем инвестиций в проект в 2011 г. составил около 90 млн дол. Из них 80 млн дол. инвестировано в первую очередь ГОК, остальные средства — в развитие второй очереди.

Строительство комплекса стартовало в начале 2011 г. Сооружение карьера заняло около 7 месяцев и завершилось в конце октября 2011 г. Создание обогащительного производства длилось свыше 8 месяцев и вошло в завершающий этап в декабре в 2011 г. Мощность предприятия в 2012 г. составит 240 тыс. т титановой руды в год.

РБК-Украина, 27.12.2011  
<http://www.rbc.ua>

