

УДК 669.187.56.001.7

ПЕРСПЕКТИВЫ ЭЛЕКТРОШЛАКОВОГО ПЕРЕПЛАВА ТИТАНА

А. В. Рябинин

*Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт»*

В настоящее время производство слитков титана и его сплавов главным образом основано на процессе двойной вакуумно-дуговой плавки с расходуемым электродом. Для обеспечения требуемого качества изделий авиакосмического назначения при выплавке слитков регламентируются: источники губки, легирующих элементов и переработанных отходов, способы их подготовки и методики входного контроля, методы изготовления расходуемых электродов и подготовки к переплаву слитков после предыдущего цикла плавления. Однако дальнейшее совершенствование и оптимизация метода ВДП с расходуемым электродом ограничены рядом особенностей, присущих этому методу; прежде всего, взаимосвязью при ВДП параметров процесса плавки электрода и формирования слитка, трудоемкостью изготовления расходуемых электродов, возможностью образования дефектов в виде включений (даже при тройном переплаве) и др.

Необходимо отметить, что в последние годы за рубежом (Германия, США и др.) возобновился и возрос интерес к применению ЭШП (самостоятельно или, особенно, в сочетании с другими технологическими процессами) в производстве титана и его сплавов.

При решении проблемы получения полуфабрикатов титана и его сплавов многие зарубежные и отечественные исследователи отмечают особую рафинирующую роль шлака, которая, как было установлено, прежде всего, зависит от его состава, а также термовременного фактора. Применение процесса ЭШП с прямым переплавом жидкого металла не только устраняет трудоемкую операцию изготовления расходуемых электродов, но и обеспечивает наиболее оптимальную технологическую схему получения бездефектных титановых слитков ЭШП, заключающуюся в разделении зоны плавления и зоны формирования слитка в пространстве.

В наш час виробництво титанових виливків та сплавів головним чином ґрунтується на процесі подвійної вакуумно-дугової плавки з витратним електродом. Для забезпечення потрібної якості виробів авіакосмічного призначення при виплавці виливків регламентуються: джерела губки, легуючих елементів та перероблених відходів, способи їх підготовки і методики вхідного контролю, методи виготовлення витратних електродів підготовки переплаву після попереднього циклу плавлення. Однак подальше вдосконалення й оптимізація методу ВДП з витратним електродом обмежені рядом особливостей, що притаманні цьому методу; передусім, взаємозв'язком при ВДП параметрів процесу плавки електроду і формування виливка, праце місткістю виготовлення витратних електродів, можливістю утворення дефектів у вигляді включень (навіть при потрібному переплаві) та ін..

Необхідно відмітити, що в останні роки за кордоном (Німеччина, США та ін.) відновився і зріс інтерес до використання ЕШП (самостійно, або, особливо в поєднанні з іншими технологічними процесами) у виробництві титану та його сплавів.

При розв'язанні проблеми отримання високочистого титану та його сплавів багато закордонних і вітчизняних дослідників відмічають особливу рафінуючу роль шлаку, яка, як було встановлено, передусім, залежить від його складу, а також термочасового фактору. Використання процесу ЕШП з прямим переплавом рідкого металу не тільки звільняє від праце місткої операції виготовлення витратних електродів, але і забезпечує найбільш оптимальну технологічну схему отримання бездефектних титанових виливків ЕШП, що полягає в розподіленні зони плавлення і зони формування виливка в просторі.

Nowadays the producing of titanium ingots and alloys is generally based on the process of double vacuum-arc remelting with consumable electrode. To ensure requisited quality of goods of the aerospace purpose the sources of sponge, alloying elements and altered scrap, the ways of their preparation and the entering control methodology the methods of consumable electrodes producing and preparation to remelting of ingots after the previous cycle of smelting are during the smelting process are regulated. But further improvement and optimization of VAR method with consumable electrode are limited with the number of features inherent in this method; first of all interconnection of the parameters of process of electrode smelting of ingot forming, laboriousness of producing of consumable electrodes, the possibility of defect formation in kind of inclusions during the VAR process.

We need to mention that in last years the to an ESR process had resumed abroad (Germany, USA) in producing titanium and it's ingots.[1].

Thereby during the determination of problem of high-qualified titanium reception many foreign and home scientists are marking the special refining role of the slag, that depends on it's composition and time-thermal factor. The using of ESR process with the direct remelting not only eliminates the laborious operation of consumable electrode producing but also supplies the most optimal technological scheme redivision of defect-loss titanium ingots (ESR) that consists in separation of the zone of smelting and zone of forming of ingot in the space.

Вступление

Первые публикации отечественных и зарубежных ученых, посвященные получению слитков титана методом ЭШП были изданы в начале шестидесятых годов двадцатого века; наиболее известными из них являются работы Б.И. Медовара, С.М. Гуревича и Р. Нефзигера. Работая с титаном, Гуревич пришел к выводу, что электрошлаковая плавка титана имеет ряд существенных преимуществ (возможность обходиться без источника постоянного тока, выплавка крупных плоских слитков, отсутствие в ряде случаев необходимости обдирки слитка и вывода усадочной лунки) и недостатков (загрязнение всех узлов печи пылевидным флюсом, повышенная взрывоопасность). Нефзигер же ставил целью своих исследований усовершенствование процесса электрошлаковой выплавки титана, особенно рафинирования. Исходя из того, что переплав реакционных металлов, таких как титан, требовал значительного изменения и подхода к процессу и технологии, обычно используемых при переплавке стали (прежде всего это касается оборудования) были внедрены защитная атмосфера (чтобы устранить взаимодействие титана с кислородом, азотом и водородом) и питатель для засыпки сухого шлака в процессе плавки (в дальнейшем это устройство убрали и сухой шлак загружали перед началом плавки).

В настоящее время производство слитков титана и его сплавов главным образом основано на процессе двойной вакуумно-дуговой плавки с расходуемым электродом [4]. Для обеспечения требуемого качества изделий авиакосмического назначения при выплавке слитков регламентируются: источники губки, легирующих элементов и переработанных отходов, способы их подготовки и методики входного контроля, методы изготовления расходуемых электродов и подготовки к переплаву слитков после предыдущего цикла плавления, параметры выплавки слитков, методы анализа их качества и контроля, включая микроструктурный анализ и ультразвуковой контроль. Особое внимание уделяется повышению уровня сертификации готовой титановой продукции [5].

Однако дальнейшее совершенствование и оптимизация метода ВДП с расходуемым электродом ограничены рядом особенностей, присущих этому методу. Прежде всего, взаимосвязью при ВДП параметров процесса плавки электрода и формирования слитка, трудоемкостью изготовления расходуемых электродов, возможностью образования дефектов в виде включений (даже при тройном переплаве) и др[6].

При ВДП расходуемых электродов получение бездефектных слитков из титана и его сплавов зависит от качества применяемых шихтовых материалов, которые не должны содержать частиц, имеющих большую температуру плавления и плотность, чем основной металл. Область применения выплавляемого металла (роторные части газотурбинных авиационных двигателей, особо ответственные детали корпуса самолетов и т. п.) делает это требование абсолютным. Поэтому подготовка шихтовых материалов оказывается наиболее трудоемкой и дорогостоящей технологической операцией при производстве полуфабрикатов из титановых сплавов [7].

Необходимо отметить, что в последние годы за рубежом (Германия, США и др.) возобновился и возрос интерес к применению ЭСП (самостоятельно или, особенно, в сочетании с другими технологическими процессами) в производстве титана и его сплавов [1]. Также, для получения титана и его сплавов пользуются следующими методами: Вакуумно-дуговой переплав с нерасходуемым электродом (Рототрод), вращающимся с высокой скоростью, разработанный в начале 80-х годов в США (обычно используется для первичной плавки, а полученный слиток переплавляется в вакуумных дуговых печах);[8];индукционно-шлаковый и вакуумно-индукционный переплав медном водоохлаждаемом секционном кристаллизаторе, которые применяются для получения слитков непосредственно из губки и титановых отходов, включая стружку [9]; получение вторичного титана методом плазменно-дугового переплава отходов листового производства, реализованное еще 20 лет назад [10]; электронно-лучевой переплав с холодным подом, нашедший свое применение при выплавке титановых слитков в США и Японии [11]; переплав в плазменно-дуговой печи с холодным подом, по своей конструкции напоминающей электронно-лучевую, только в которой вместо электронных пушек используются плазмотроны и плавильное пространство которой не вакуумируется, а заполняется инертным газом [12]. Получение слитков с хорошей поверхностью и оптимальным для последующего передела сечением позволяет существенно снизить отходы при механической обработке, а также в ряде случаев исключить количество переделов от слитка к готовой продукции.

Предложен способ, согласно патенту США, в котором слиток металла, подлежащий рафинированию, подвешивается на механическом устройстве и опускается нижней частью в расплавленный шлак в водоохлаждаемом тигле. Через слиток и шлак пропускается ток, который плавит металл. Слой жидкого рафинированного металла накапливается под слоем шлака в конической части тигля. В процессе переплава шлак и металл все время поддерживаются в расплавленном состоянии. В нижней конической части тигля образуется настывь рафинированного металла. Через вертикальный канал в центре днища тигля посредством специального устройства, «размораживающего» с помощью автономного индукционного нагрева (или «замораживающего») образовавшийся настывь, осуществляется дозированный выпуск жидкого металла в виде тонкой струйки, которая распыляется газом по поверхности вращающегося и перемещающегося в горизонтальном направлении слитка. Этот способ плавки и рафинирования позволяет получать за одну ступень крупные слитки чистого металла или сплава без включений. В частности, он позволяет при минимальных затратах получать слитки жаропрочных сплавов с заданной микроструктурой.

Используя метод ЭШП при решении проблемы получения высокочистого титана и его сплавов многие зарубежные и отечественные исследователи отмечают особую рафинирующую роль шлака, которая, как было установлено, прежде всего, зависит от его состава.

Результаты исследований по новым возможностям ЭШП титана

В этой связи электрошлаковый процесс с прямым переплавом жидкого металла, исключая использование расходующих электродов, открывает принципиально новые возможности в решении на основе ЭШП проблемы получения титановых слитков без дефектов в виде включений высокой твердости. Дело в том, что применение этого нового процесса ЭШП позволяет обеспечить наиболее оптимальную, как уже указывалось выше, технологическую схему получения бездефектных титановых слитков, заключающуюся в разделении зоны плавления и зоны формирования слитка в пространстве. При этом не только отпадает весьма трудоемкая операция изготовления расходующих электродов, но и упрощается использование вторичных материалов. В результате одновременно с повышением качества титановых слитков ЭШП имеет место существенная экономия средств при их производстве по сравнению с канонической технологией ЭШП [13].

1. Основным направлением совершенствования технологии производства слитков титановых сплавов, обеспечивающей их высокое качество, прежде всего однородность и стабильность состава, отсутствие

дефектов и включений, является создание технологий и печей с разделением зоны плавления и зоны кристаллизации слитка [14].

2. Применение процесса ЭШП с прямым переплавом жидкого металла не только устраняет трудоемкую операцию изготовления расходных электродов, но и обеспечивает наиболее оптимальную технологическую схему передела бездефектных титановых слитков ЭШП, заключающуюся в разделении зоны плавления и зоны формирования слитка в пространстве [15].

Эксперименты с использованием с использованием открытых печей ЭШП показали, что при переплаве под бескислородным флюсом одной лишь шлаковой защиты недостаточно для получения металла, не загрязненного кислородом, водородом, азотом выше нормы. Потребовалась изоляция шлаковой ванны от воздуха. Работы, проведенные в Институте электросварки им. Е.О. Патона в этом направлении, показали, что наиболее низкое содержание газов в слитках ЭШП титана, выплавленных в бескамерных печах, обеспечивается в случае применения флюсового затвора с одновременной подачей аргона в плавильное пространство. Первые флюсовые затворы появились в начале 70-х годов, когда был разработан способ дугошлакового переплава.

Ссылаясь на результаты, полученные в ходе исследований [16], можно заключить, что использование флюсовых затворов при ЭШП и ДШП является перспективным направлением при производстве титановых слитков высокого качества в обычных бескамерных электрошлаковых печах.

Так же, в ходе проведенных исследований было определено, что, как и при ЭШП, при ДШП прессованных из губки расходуемых электродов позволяет получать слитки из технического титана за один передел, не уступающие по качеству металлу двойного вакуумно-дугового переплава [17]. В работе [18] указано, что, в результате проведенного на базе ИЭС им. Патона комплекса исследований также установлена возможность повышения механических свойств технического титана за счет легирования азотом до 0,1%. При этом пластические характеристики, а также свариваемость и коррозионная стойкость остаются практически на прежнем уровне.

Выводы

Пользуясь материалами, приведенными в работах отечественных и зарубежных ученых, посвященных электрошлаковой технологии титана можно сделать выводы, что данная технология по праву может называться перспективной, и обязана занять свою нишу в производстве высококачественных слитков из титана и его сплавов. Существует

предположение, что приведенные материалы доказывают пригодность ЭШП для прямого переплава Ti-губки и Ti-отходов, так же для удаления богатых азотом включений. Эти особенности привлекательны для развития полномасштабных производственных процессов. ЭШП использования для обработки титана и могут быть особенно многообещающим в странах, которые только создают их собственные отрасли промышленности титана, такие как Украина [19]. Дополнительные возможности ЭШП, такие как непрерывная разливка, могут также реализоваться посредством продолжающихся всесторонних исследований процесса.

Литература

1. F.G. Muller, F.W. Hugo, M.G. Benz // A new process for production of ceramic metals. – 1994. – P. 435-440.
2. Гуревич С.М., Дидковский В.П., Новиков Ю.К. // Получение слитков и литых заготовок из титановых сплавов методом электрошлакового переплава – 1964. – С. 184-188.
3. Нэфзигер Р. // Шлаки для электрошлаковой выплавки титана и режимы плавки – 1971. – С. 202-219.
4. Б.И. Медовар, В.Я. Саенко, Л.Б. Медовар // Проблемы специальной электрометаллургии - 1997. - №1 (47) – С. 14 – 23.
5. Б.Е. Патон, Л.Б. Медовар // Современная электрометаллургия – 2003. - №4 . С. 3 – 8.
6. А.Н. Петрунько // О проблемах развития производства и применения титана в Украине – 1996 - №3 – С. 49 – 54.
7. Б.И. Медовар, В.Я. Саенко, В.И. Кумыш // Переплав губчатых расходуемых электродов методами ЭШП и ДШП -1994. - №3. – С. 10 – 14.
8. Аскерс В.Р., Гриффинг Н., Бул Р.К. // Вакуумная металлургия – 1973. – С. 50-61
9. Клайтес П.Дж. // Индукционно-шлаковый переплав титана – 1973. – С. 93-103.
10. В.И. Лакомский, О.С. Забарило, А.В. Жеодев и др. // Проблемы спец. Электрометаллургии. – 1976. – Вып. 4. – С. 94-96.
11. Harker H.R., Forsberg V.K. // Electron beam plus vacuum arc remelting – 1980.
12. Eschenbach R.C., Herman G. // Plasma melting of refractory metals – 1984. – P. 17-21.
13. Б.И. Медовар, В.Я. Саенко // Свойства толстых плит, прокатанных из листового крупнотоннажного слитка титана - 1995. - №2. – С.10-14.
14. Б.Е. Патон, Б.И. Медовар, В.Я. Саенко // Как делать слитки-слябы из титана и его сплавов – 1992. - №2. – С. 16-21.
15. Б.Н. Патон, Б.И. Медовар Л.Б. Медовар // ЭШП: каким ему быть в ближайшее десятилетие. – 1996. - №3. – С. 9-10.
16. В.Я. Саенко, А.Г. Богаченко, Л.Б. Медовар, В.И. Кумыш, В.А. Рябинин // Оценка эффективности применения флюсового затвора слитков из высокопрочных титановых сплавов в бескамерных печах ЭШП. – 1994. – С. 3-7.
17. Б.Е. Патон, Б.И. Медовар, В.Я. Саенко, В.И. Кумыш, Л.Б. Медовар, В.В. Шепелев, В.А. Рябинин // Переплав губчатых титановых расходуемых электродов методами ЭШП и ДШП. – 1994. – С. 7-11.