



УДК 669.187.56.002.2

ИЗГОТОВЛЕНИЕ РАСХОДУЕМЫХ ЭЛЕКТРОДОВ ДЛЯ МАГНИТОУПРАВЛЯЕМОЙ ЭЛЕКТРОШЛАКОВОЙ ПЛАВКИ ТИТАНА

И.В. Протокивиллов, Д.А. Петров, В.Б. Порохонько, Л.М. Бабич

Институт электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины.
03680, г. Киев, ул. Боженко 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

Разработаны оснастка и режимы прессования расходоуемых электродов, используемых для получения титановых слитков способом магнитоуправляемой электрошлаковой плавки. Прессование исходных шихтовых компонентов в виде губчатого титана и легирующих добавок осуществляется на гидравлическом прессе в конусную проходную матрицу с получением цилиндрических электродов требуемой длины. Удельное усилие прессования составляет $2,8...3,6 \text{ т/см}^2$, плотность полученных из губчатого титана электродов — $3,4...3,8 \text{ г/см}^2$. Предложен новый способ приварки инвентарной головки к расходоуемому электроду, не требующий использования дополнительного сварочного оборудования и оснастки. Способ основан на нагреве свариваемых поверхностей электрическим током, питаемым от трансформатора электрошлаковой печи, их оплавлении электрической дугой и последующей осадке. Указанные операции осуществляются в камере электрошлаковой печи в условиях форвакуума. Разработанные технологические процессы обеспечивают получение электродов заданного химического состава с равномерным распределением легирующих добавок, выдерживающих механические, тепловые и электрические нагрузки в процессе магнитоуправляемой электрошлаковой плавки. Снижение трудоемкости изготовления электродов повышает эффективность применения указанного способа для получения слитков титановых сплавов. Библиогр. 15, ил. 4.

Ключевые слова: титан губчатый; прессование; расходоуемый электрод; магнитоуправляемая электрошлаковая плавка; инвентарная головка; контактная сварка; камерная печь ЭШП

Исходными шихтовыми материалами при производстве титановых сплавов являются губчатый титан и легирующие добавки [1, 2]. Современные способы специальной металлургии, использующие независимые источники нагрева (электронные пушки, плазмотроны, высокочастотные магнитные поля, токоподводящие кристаллизаторы и др.) позволяют получать титановые слитки непосредственно из некомпактной шихты [3–6]. Однако значительная разница в значениях плотности, температур плавления, формы и размеров шихтовых компонентов, а также особенности плавления губчатого титана, характеризующегося бурным газовыделением и разбрызгиванием, затрудняют получение титановых сплавов, особенно высоколегированных, непосредственно из некомпактной шихты. В связи с этим большинство технологических процессов производства слитков первого передела предусматривают компактирование кусковой шихты с получением расходоуемых электродов (заготовок, брикетов), которые затем переплавляют в вакуумно-дуговых, электронно-лучевых, электрошлаковых, плазменно-дуговых и других печах [1, 2, 7–10]. При этом дозированное равномерное распределение легирующих компонентов в расходоуемом электроде являет-

ся залогом получения однородных по химическому составу слитков.

В настоящее время для производства расходоуемых электродов используют различные способы, основанные на процессах спекания шихты, холодного и горячего прессования на гидравлических прессах, прессования взрывом, изостатического прессования и др. [1, 2, 10–13]. Наибольшее распространение получил способ прессования электродов на гидравлических прессах в глухондную или проходную пресс-формы (матрицы) [1]. В первом случае получают отдельные цилиндрические блоки относительно небольшой высоты, которые затем сваривают между собой в длинномерную заготовку. Во втором, прессование осуществляется полунепрерывно с получением электродов необходимой длины.

Основными преимуществами прессования электродов в проходную матрицу являются высокая производительность процесса (в 4...5 раз выше, чем при прессовании в глухондную матрицу), возможность получения электродов требуемой длины и исключение необходимости дополнительной трудоемкой операции сварки блоков между собой.

В ИЭС им. Е.О. Патона разработана оснастка и освоена технология прессования электродов из

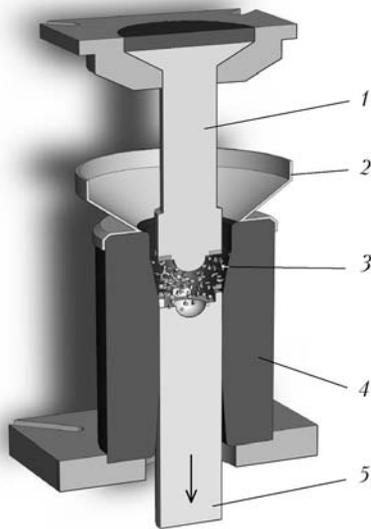


Рис. 1. Схема процесса прессования электродов: 1 – пуансон; 2 – приемная воронка; 3 – шихта; 4 – конусная проходная матрица; 5 – электрод

губчатого титана диаметром 35, 45, 75, 100 мм, используемых при магнитоуправляемой электрошлаковой плавке (МЭП) титановых сплавов [14].

Прессование осуществляют на гидравлическом прессе в конусную проходную матрицу (рис. 1). Перед началом процесса в нижней части матрицы устанавливают заглушку, позволяющую спрессовать первые порции шихты. Затем заглушку удаляют и дальнейшее прессование осуществляют на проход. Усредненные шихтовые компоненты расчетного состава подают в приемную воронку и далее в цилиндрическую часть матрицы. Пуансон опускают и по мере его продвижения происходит уплотнение, деформация и сцепление шихтовых компонентов. После достижения максимальных усилий прессования происходит перемещение спрессованной массы в матрице вместе с ранее отпрессованными порциями. Далее пуансон поднимают, засыпают очередную порцию шихты и цикл прессования повторяют. Рабочая поверхность пуансона имеет специальную форму, обеспечивающую плотное сцепление отдельных порций шихты между собой. После достижения необходимой длины электрода в матрице устанавливают прокладки, способствующие его отделению от следующих порций спрессованной шихты. При необходимости в состав шихты вво-



Рис.3. Внешний вид сварных соединений инвентарной головки и прессованного электрода, выполненных аргонодуговой (а) и контактной (б) сваркой

дят флюс, обеспечивающий пополнение шлаковой ванны при переплаве электрода.

Разработанный технологический процесс позволяет получать электроды заданного химического состава с равномерным распределением легирующих добавок по их сечению и высоте, выдерживающие механические, тепловые и электрические нагрузки в процессе МЭП (рис. 2). Максимальное удельное усилие прессования достигает 2,8...3,6 т/см². Плотность электродов, полученных из губчатого титана, составляет 3,4...3,8 г/см² (75...85 % теоретической), удельное электросопротивление — 3,8...4,2·10⁻⁴ Ом·см, прочность на разрыв — 3...8 МПа.

С увеличением диаметра электрода требуется существенно увеличивать усилие прессования и, соответственно, мощность используемого прессового оборудования. Поэтому при плавке слитков большого диаметра целесообразно использовать составной электрод, собранный в пучок из электродов меньшего диаметра.

Следующим этапом подготовки электрода к плавке является приварка инвентарной головки, при помощи которой осуществляется его крепление к механизму вертикального перемещения. Инвентарные головки изготавливают из технического титана или сплава, аналогичного переплавляемому электроду. Для их крепления к электроду можно



Рис. 2. Внешний вид прессованных электродов диаметром 75 мм (а) и макротемплет поперечного сечения электрода (б)

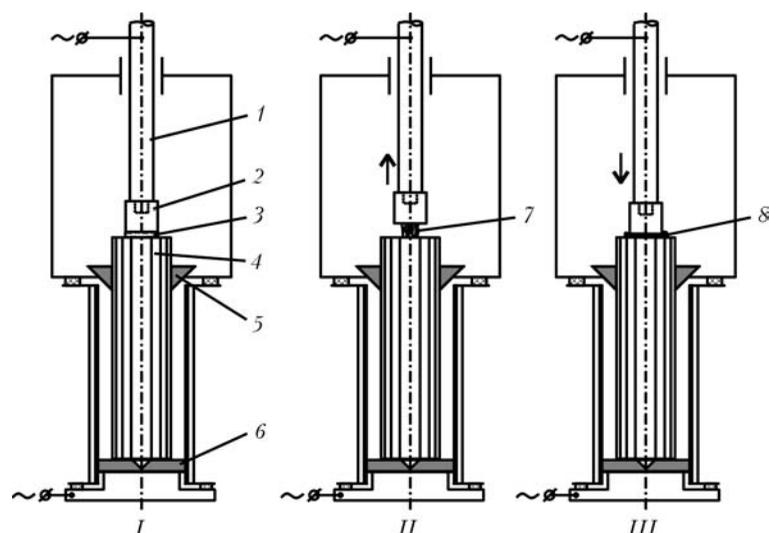


Рис. 4. Схема приварки инвентарной головки к расходуемому электроду (I — нагрев соединяемых поверхностей проходящим током; II — оплавление поверхностей электрической дугой; III — осадка): 1 — шток вертикального перемещения электрода; 2 — инвентарная головка; 3 — токопроводящая прослойка; 4 — расходούμεый электрод; 5, 6 — соответственно центрирующие клинья и втулка; 7 — электрическая дуга; 8 — сварное соединение

использовать аргонодуговую сварку, обеспечивающую необходимые прочность и электропроводность сварного соединения (рис. 3, а). Однако данный процесс требует применения дополнительного сварочного оборудования и специальной оснастки для получения строгой соосности электрода и головки.

При вакуумно-дуговом переплаве титана используют эффективный способ приварки инвентарной головки, основанный на нагреве и оплавлении свариваемых поверхностей электрической дугой с последующей осадкой [1]. Процесс осуществляют в камере вакуумно-дуговой печи, что не требует использования дополнительного оборудования.

Реализация данного способа применительно к процессу МЭП связана с определенными трудностями, обусловленными характеристиками электрошлаковых источников питания. В отличие от выпрямителей вакуумно-дуговых печей, рассчитанных на работу в дуговом режиме, трансформаторы для электрошлаковых печей имеют жесткую вольт-амперную характеристику, не позволяющую получить стабильную электрическую дугу. Соответственно, не удастся достичь равномерного нагрева и оплавления свариваемых поверхностей, а также удовлетворительного сварного соединения электрода с головкой.

В связи с этим с целью повышения эффективности процесса МЭП титановых сплавов разработан способ контактной приварки инвентарной головки с использованием стандартного электрошлакового оборудования непосредственно в камере электрошлаковой печи, суть которого заключается в следующем. Расходуемый электрод устанавливают в печи, центрируют и фиксируют в кристаллизаторе при помощи специальных клиньев и втулки (рис. 4). Последняя обеспечивает плотный электрический контакт между электродом и поддоном. Затем на свариваемую поверхность электрода наносят токопроводящий слой, представляющий собой

усредненную в миксере смесь фтористого кальция и 45...55 мас. % порошка титана. Инвентарную головку устанавливают на штоке и опускают до плотного контакта с расходующим электродом (рис. 4, I). Затем печь герметизируют и откачивают воздух. По достижении давления в печи 4,0...6,7 Па ($3...5 \cdot 10^{-2}$ мм рт. ст.), на электрод подают напряжение 5...7 В, обеспечивающее электрический ток в цепи 5000...7000 А (в случае прессованных электродов диаметром 75 мм и длиной 700 мм). Прослойка из смеси фторида кальция и титанового порошка обеспечивает высокое контактное сопротивление и быстрый равномерный нагрев свариваемых поверхностей до значений температуры 700...900 °С. После незначительной выдержки (10...20 с) электрод поднимают на 5...10 мм, одновременно повышая напряжение до 18...24 В, что приводит к образованию непродолжительного электрического разряда, оплавления свариваемых поверхностей (рис. 4, II). Затем отключают напряжение и опускают шток, осуществляя осадку и сварку деталей (рис. 4, III). Указанные процессы выполняют в вакууме, что исключает насыщение металла сварного соединения и нагретых до высоких температур участков электрода атмосферными газами. После приварки инвентарной головки при необходимости осуществляют процесс дегазации губчатого электрода [15].

Разработанный способ приварки инвентарной головки к расходующему электроду обеспечивает их соосность и позволяет получать сварное соединение, удовлетворяющее по механическим свойствам и электропроводности требованиям МЭП (рис. 3, б). Важное преимущество данного процесса заключается в отсутствии необходимости использования дополнительного оборудования и оснастки, в результате чего снижается трудоемкость и затраты на изготовление расходующих электродов.



Выводы

1. В ИЭС им. Е.О. Патона освоен технологический процесс изготовления расходоуемых электродов для МЭП титановых сплавов: разработана и изготовлена оснастка для прессования электродов диаметром 35, 45, 75, 100 мм в конусную проходную матрицу; разработаны техника и режимы прессования электродов из губчатого титана и легирующих добавок; разработан способ контактной приварки инвентарной головки. Указанные процессы позволяют получать прессованные электроды заданного химического состава с равномерным распределением легирующих добавок, выдерживающие механические, тепловые и электрические нагрузки в процессе МЭП.

2. Снижение трудоемкости изготовления электродов повышает эффективность применения способа МЭП для получения слитков титановых сплавов.

1. *Плавка и литье титановых сплавов* / А.Л. Андреев, Н.Ф. Аношкин, К.М. Борзцовская и др. — М.: Металлургия, 1978. — 384 с.
2. *Металлургия титана* / В.А. Гармата, Б.С. Гуляницкий, В.Ю. Крамник и др. — М.: Металлургия, 1968. — 643 с.
3. *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.
4. *Реконструкция плазменно-дуговой печи УП-100 для выплавки титановых слитков из некомпактной титановой шихты* / Ю.В. Латаш, В.С. Константинов, В.В. Тэлин и др. // Пробл. спец. электрометаллургии. — 1990. — № 1. — С. 66–72.
5. *Индукционная плавка металлов — возможности и перспективы применения в специальной электрометаллургии* / И.В. Шейко, Ю.В. Латаш, В.С. Константинов, В.В. Степаненко // Пробл. спец. электрометаллургии. — 1994. — №3–4. — С.65–69.
6. *ESR for titanium: yesterday, today, tomorrow* / В.Е. Paton, В.И. Medovar, М.С. Ben. et al. // Proc. of 9-th World conf. on Titanium. (St. Petersburg, Russia, June 7–11, 1999). — St. Petersburg, 1999. — P. 175–181.
7. *Исследование состава газовой фазы при плазменно-дуговой плавке титана из прессованной заготовки* / М.Л. Жадкевич, В.А. Шаповалов, В.В. Тэлин и др. // Современ. электрометаллургия. — 2004. — № 4. — С. 24–28.
8. *Дереча А.Я., Собко-Нестерук О.Е., Сухин С.А.* Производство титановых слитков и слябов способом ЭЛП на установках, разработанных в МК «Антарес» // Там же. — 2010. — № 1. — С. 15–19.
9. *Рябцев А.Д., Троянский А.А.* Электрошлаковый переплав металлов и сплавов под флюсами с активными добавками в печах камерного типа // Электрометаллургия. — 2005. — № 4. — С. 25–32.
10. *Переплав губчатых титановых расходоуемых электродов способами ЭШП и ДШП* / Б.Е. Патон, Б.И. Медовар, В.Я. Саенко и др. // Пробл. спец. электрометаллургии. — 1994. — № 3–4. — С.7–11.
11. *Анализ технологических схем изготовления прессованной заготовки из некомпактной шихты для получения слитка титана первого перепада* / Ю.В. Латаш, В.Н. Замков, В.С. Константинов и др. // Пробл. спец. электрометаллургии. — 1998. — № 2. — С. 35–39.
12. *Получение расходоуемых электродов компактированием титановой губки под током* / М.Л. Жадкевич, В.А. Шаповалов, В.С. Константинов и др. // Современ. электрометаллургия. — 2005. — № 3. — С. 64–67.
13. *Изченко З.А., Лунев В.В.* Изготовление и использование прессованных титановых брикетов // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. — 2010. — № 1. — С. 90–92.
14. *Компан Я.Ю., Протокопилов И.В.* Некоторые технологические аспекты магнитоуправляемой электрошлаковой плавки (МЭП) титановых сплавов // Материалы междунар. науч.-техн. конф. «Специальная металлургия: вчера, сегодня, завтра» (8–9 окт. 2002 г., Киев). — Киев, 2002. — С. 256–262.
15. *Протокопилов И.В.* Дегазация электрода, спрессованного из губчатого титана в процессе вакуумирования камерной печи ЭШП // Современ. электрометаллургия. — 2012. — № 1. — С. 12–15.

Developed are the equipment and conditions of pressing the consumable electrodes, used for producing titanium alloys by the method of magnetically-controlled electroslag melting. The pressing of initial charge components in the form of a spongy titanium and alloying additions is realized in a hydraulic press into a conical through-type matrix, producing cylindrical electrodes of a required length. The specific pressure force is 2.8–3.6 t/cm², density of electrodes, produced of titanium spongy, is 3.4–3.8 g/cm³. The new method was offered for welding-on of an inventory head to the consumable electrode, not requiring application of additional welding equipment and fixture. The method is based on heating of surfaces being welded by electric current, supplied from electroslag furnace transformer, their fusion by electric arc and next upsetting. The mentioned operations are realized in the electroslag furnace chamber under forevacuum conditions. The developed technological processes provide producing electrodes of a preset chemical composition with uniform distribution of alloying additions, withstanding mechanical, thermal and electrical loads during the process of magnetically-controlled electroslag melting. Reduction of labor consumption in manufacture of electrodes increases the efficiency of application of the mentioned method for producing ingots of titanium alloys. Ref. 15, Figs. 4.

Key words: spongy titanium; pressing; consumable electrodes; magnetically-controlled electroslag melting; inventory head; welding; chamber-type ESR furnace

Поступила 24.04.2013