



УДК 669.187.56.002.2

## ПОЛУЧЕНИЕ РАСХОДУЕМЫХ ЭЛЕКТРОДОВ ИЗ ТИТАНОВОЙ ГУБКИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СЛИТКОВ СПОСОБАМИ ЭШП И ДШП

Л. Б. Медовар, В. Я. Саенко, В. А. Рябинин

Рассмотрены особенности и эффективность использования различных способов прессования титановой губки (холодное в глухдонной матрице, изостатическое в контейнере высокого давления, взрывом в металлической оболочке в специальной камере) при изготовлении расходоуемых электродов для электро- и дугошлакового переплавов.

Peculiarities and effectiveness of use of different methods of pressing the spongy titanium (cold in a blind-bottom matrix, isostatic in a high-pressure container, explosion in a metal shell using a special chamber) in manufacture of consumable electrodes for electro- and arc-slag remelting are considered.

**Ключевые слова:** электрошлаковый и дугошлаковый переплав, губчатый прессованный электрод, изостатическое прессование, прессование взрывом

Главным препятствием на пути к расширению и использованию титана в отраслях народного хозяйства является его высокая стоимость. Это связано прежде всего с особенностями технологии получения титановой губки, способом и трудоемкостью изготовления из нее расходоуемых электродов, сложностью и энергоемкостью оборудования.

В настоящее время основным способом получения слитков из титана и его сплавов является вакуумно-дуговой переплав (ВДП), предусматривающий два передела. Для первого используют расходоуемые электроды, полученные способом полунепрерывного прессования губки и скрапа в проходную матрицу на мощных прессах. Также могут применяться комбинированные электроды, изготовленные путем прессования брикетов с последующей их сваркой между собой. При производстве титановых сплавов в расходоуемый электрод включают различные легирующие добавки. Процесс изготовления таких электродов трудоемкий, дорогостоящий, для его реализации требуются специальные оборудование и оснастка.

Эффективность применения способов электрошлакового (ЭШП) и дугошлакового (ДШП) переплавов для производства слитков из титана и его сплавов, как и других переплавных способов, во многом определяется и трудоемкостью изготовления расходоуемых электродов. В работе [1] описано применение расходоуемых электродов, прессованных из титановой губки, и лигатуры для получения слитков ЭШП из технического титана и сплава ОТ4. Для выплавки слитков диаметром 130 мм применяли круглые прессованные электроды диаметром 100 мм, а для плоских слитков сечением 175×75 мм — плоские прямоугольного сечения 45×135 мм. Электроды прессовали на вертикальном гидравлическом прессе с применением губки различных марок. В качестве легирующих добавок использовали алюминий элек-

тролитический, металлический марганец, металлический ванадий и алюминий-молибденовую лигатуру.

В результате исследований структуры и механических свойств установлено, что однократная ЭШП расходоуемых прессованных электродов позволяет получать технический титан и сплав ОТ4, по качеству не уступающие металлу двойного ВДП.

В процессе создания технологического процесса выплавки слитков ДШП из титана и его сплавов в бескамерных печах ЭШП [2–4] проведены специальные работы по оценке эффективности применения при ДШП прессованных электродов, полученных различными способами. В лабораторных и опытно-промышленных условиях опробованы следующие способы производства расходоуемых электродов из титановой губки:

холодное прессование губки на лабораторном гидравлическом прессе усилием 200 кН в глухдон-



Рис. 1. Электроды из губчатого титана, полученные способом холодного прессования в матрице

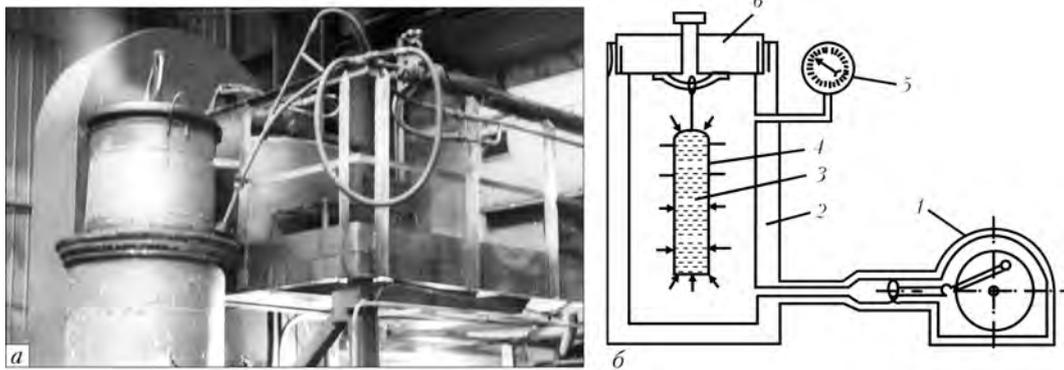


Рис. 2. Установка холодного изостатического прессования: *a* — внешний вид; *б* — схема; 1 — насос высокого давления; 2 — камера; 3 — титановая губка; 4 — эластичная оболочка; 5 — манометр; 6 — крышка

ной матрице, в качестве которой применяли стальную трубу. После прессования трубу разрезали и полученные брикеты (диаметром 40...80 мм) извлекали из оболочки (рис. 1). Однако получить плотные брикеты, а также сварить их между собой в один цельный электрод не удалось;

холодное изостатическое прессование. Для изготовления губчатых титановых электродов использовали контейнер высокого давления для холодного изостатического прессования, применяемый на заводе «Днепроспецсталь» при производстве высоколегированной быстрорежущей стали. Общий вид установки для холодного изостатического прессования приведен на рис. 2. Отработку технологии прессования осуществляли с применением титановой губки марки ТГ-ТВ, ТГ-120, находившейся в металлической и эластичной оболочке\*. Опробовано также изостатическое прессование электродов из губки с закладной стальной бобышкой для облегчения их сварки с инвентарной головкой. Давление на прессе холодного изостатического прессования составляло

160 МПа. Полученные расходоуемые электроды диаметром 150 и 400 мм (рис. 3) имели правильную цилиндрическую форму. После прессования оболочка легко отделялась от брикета. Плотность прессованного губчатого электрода была одинаковой по всему объему. Следует отметить, что в применяемой для прессования губчатых электродов эластичной оболочке в процессе многократного использования появлялись микротрещины. Поэтому перед загрузкой губки необходимо производить контроль оболочки на герметичность для исключения ее возможного разрыва и попадания рабочей жидкости в тело электрода при прессовании. Расходоуемый электрод диаметром 400 мм, полученный способом изостатического прессования из губки ТГ-120, использовали для выплавки опытного слитка ДШП в кристаллизаторе сечением 565×565 мм с флюсовым затвором на печи ЭШП-5ВГ. Внешний вид слитка показан на рис. 4;

прессование титановой губки осуществляли способом взрыва\* в специальной камере в условиях опытного производства ИЭС им. Е. О. Патона.



Рис. 3. Электроды длиной 1450 мм, диаметром 400 мм (*a*, *б*) и длиной 380 мм, диаметром 150 мм (*в*, *г*), полученные способом изостатического прессования: *a* — губка ТГ-ТВ; *б* — губка ТГ-120; *в* — губка ТГ-ТВ; *г* — губка ТГ-120

\*В работе принимали участие С. С. Казаков, Ю. Г. Габуев, В. Н. Макогон (з-д «Днепроспецсталь»).



Рис. 4. Слиток из титана, выплавленный способом ДШП в кристаллизатор 365 мм



Рис. 5. Торец составного электрода диаметром 65 мм, полученного способом взрыва после плавки в режиме ДШП

Титановую губку марки ТГ-120 помещали в металлическую оболочку. После взрывной обработки оболочка отделялась от брикета. Брикет, полученный способом взрыва, отличался высокой плотностью. Сварку таких брикетов при изготовлении составных расходоуемых электродов проводили без особых затруднений.

Прессованные способом взрыва губчатые электроды использовали для одностадийного производства слитков титана способом ДШП. Переплав проводили на установке Р-951 в кристаллизаторе сечением 200×200 мм, оснащенный флюсовым затвором. Для переплава использовали расходоуемый электрод, сваренный по длине из трех брикетов длиной 300 мм и диаметром 65 мм каждый, собранных в трехпалый пучок.

Составной электрод крепили к инвентарной головке диаметром 130 мм, проходящей через флюсовый затвор без нарушения герметизации плавильного пространства кристаллизатора. В качестве защитного газа использовали аргон, подаваемый под крышку флюсового затвора.



Рис. 6. Слиток из титана, выплавленный способом ДШП в кристаллизатор 200 мм

Процесс ДШП составного электрода из прессованной губки методом взрыва проходил стабильно. Внешний вид торца электрода после окончания плавки (рис. 5) свидетельствует о равномерности плавления электрода. Слиток имел хорошую поверхность, покрытую тонким слоем гарнисажа (рис. 6). Исследование содержания газов в электроде и слитке показало, что в процессе ДШП прирост кислорода составил всего 0,012, а азота — 0,003 %.

Результаты проведенных механических испытаний показали, что литой металл слитка ДШП ( $\sigma_B = 490$  МПа,  $\sigma_T = 377$  МПа,  $\delta = 18$  %,  $\psi = 25$  % — даны средние значения) соответствуют требованиям ГОСТ 23755-79 к прокату из металла ВТ1-0 ВДП толщиной 60... 150 мм ( $\sigma_B \geq 294$  МПа,  $\delta \geq 10$  %; остальные показатели не регламентируются).

Таким образом, расходоуемые электроды, полученные из титановой губки путем изостатического прессования, а также прессования взрывом, отличаются высокой технологичностью и могут быть эффективно использованы для выплавки слитков титана способами ЭШП и ДШП.

1. *Свойства* технического титана и сплавов типа ОТ4, полученных электрошлаковой плавкой / С. М. Гуревич, В. П. Дидковский, Ю. К. Новиков и др. // Автомат. сварка. — 1963. — № 4. — С. 29–33.
2. *Переплавление* губчатых титановых расходоуемых электродов методами ЭШП и ДШП / Б. Е. Патон, Б. И. Медовар, В. Я. Саенко и др. // Пробл. спец. электрометаллургии. — 1994. — № 3-4. — С. 7–11.
3. *Arc-slag remelting of steel and alloys* / В. I. Medovar, V. Ja. Saenko, G. M. Grigorenko et al. // Cambridge International Science Publishing. — 1996. — P. 1–160.
4. *Arc-slag remelting — state-of-the-art and prospects of development* / В. Е. Патон, V. Ja. Saenko, Yu. M. Pomarin et al. // Proc. of Intern. symp. on ESR technology & equipment (Kyiv, 15–17 May, 2001). — Kyiv, 2001. — P. 177–185.

Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, Киев  
Поступила в редакцию 08.07.2009

\*В работе принимали участие Л. А. Волгин, Л. С. Гаврилюк (ИЭС им. Е. О. Патона).