

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА РАСХОДУЕМЫХ ТИТАНОВЫХ ЭЛЕКТРОДОВ – ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ ИХ РАЗРЕШЕНИЯ

Шалаев Н.С., магистрант
Логинов Ю.Н., профессор, д.т.н.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.Ельцина», г. Екатеринбург

Россия является одной из ведущих стран в области получения и переработки титана [1,2]. Существующая технология получения титана из рудного сырья основана на производстве титановой губки. Последующие приемы переработки самой губки должны учитывать повышенное сродство титана по отношению к кислороду при высоких температурах. Альтернативы дальнейшей переработки состоят в том, чтобы обрабатывать губку давлением в холодном или теплом состоянии [3-6] с последующей термической обработкой [7], либо перерабатывать губку с получением металлического порошка [8, 9], либо переплавлять губку в слитки с применением вакуумных технологий, для чего приходится предварительно получать электроды для последующего переплава в фасонные отливки [10-12] и для переплава в цилиндрические слитки, предназначенные для обработки давлением (vacuum arc remelting - VAR process) [13].

Довольно обширный обзор проблем, возникающих на стыке операций подготовки к получению слитка, собственно литья и последующей обработки давлением изложен в публикации [14] канадского университета University of British Columbia (Department of Metals and Materials Engineering). В том числе упомянуты различные виды дефектов, наблюдаемых в современных технологиях производства полуфабрикатов и изделий из титановых сплавов.

Существующий в настоящее время процесс прессования расходных титановых электродов не лишен недостатков, поэтому неоднократно предпринимались попытки усовершенствования технологии прессования, конструкций прессовых установок и инструментальной наладки. Основными недостатками существующей схемы производства

являются недостаточная прочность электродов, возможность возникновения трещин, на что указывалось, например, в статье [15].

В статье [16] исследователей из Института электросварки им. Е.О. Патона Национальной академии Наук Украины представлена экспериментальная технология прессования некомпактной шихты (стружки, губки и т.д.), в том числе, и титановой. Принципиальное отличие новой технологии заключается в том, что под воздействием электрического тока шихта не только нагревается во всем объеме, но происходит ее частичное оплавление в точках соприкосновения. Средняя температура подогрева шихты превышает нижний порог диапазона температур горячей деформации. Контролируемая атмосфера в известных пределах исключает загрязнение электрода азотом и кислородом. Под действием приложенного давления происходит деформация нагретых кусков и их сваривание в местах оплавления. Предварительный нагрев шихты прямым пропусканием тока позволяет частично дегазировать шихту, снизить усилие прессования более чем в 20 раз и получить сварно-спрессованный электрод. Технология применима для изготовления прочных расходных электродов из губки, а также 100% титановых отходов (например, стружки).

Схема предложенного процесса представлена на рис.1. Из нее, в частности, следует, что прессующую оснастку приходится помещать в герметичную емкость для защиты металла от окисления и газонасыщения. Это в большой степени ограничивает возможности операторов установки. В настоящее время прессование электродов осуществляется при не очень высокой температуре нагрева, поэтому подобной защиты не требуется.

Технологическая схема прессования

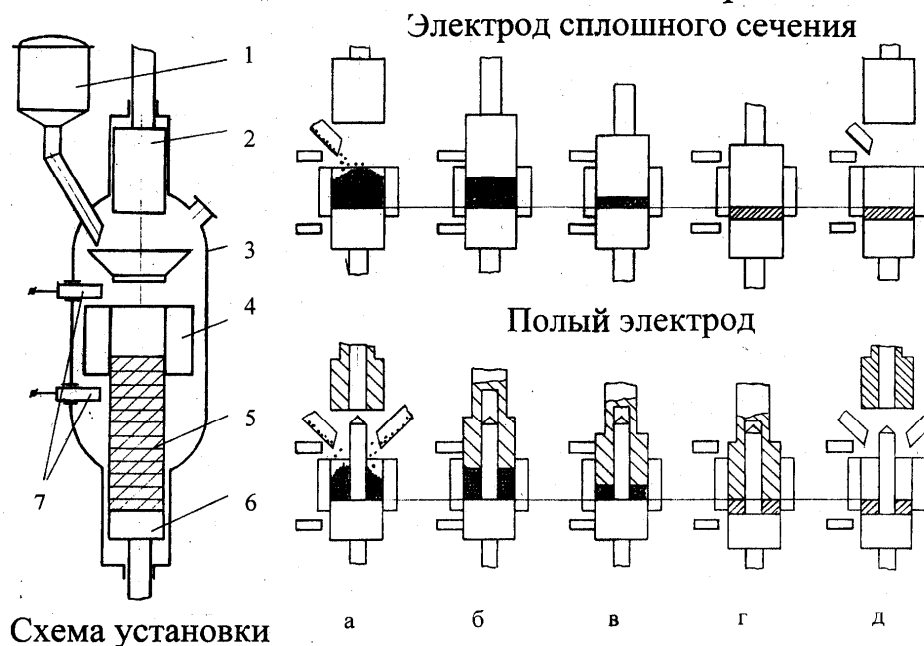


Рис. 1. Схема установки и схема технологического процесса прессования с электрическим нагревом некомпактной титановой шихты в соответствии с разработкой Института электросварки им.Е.О.Патона:

- | | |
|-----------------------------|---|
| 1 - бункер; | а - загрузка некомпактной шихты; |
| 2 - пуансон; | б - предварительное сжатие и нагрев всей порции шихты до температуры выше $0,5T_{пл}$ (в локальных областях температура превышает температуру плавления металла); |
| 3 - камера; | в - осадка и приваривание порции к спрессованной массе; |
| 4 - матрица; | г - проталкивание порции вместе с электродом вниз; |
| 5 - спрессованный электрод; | д - подъем пуансона. |
| 6 - поддон; | Повторение цикла. |
| 7 - токоподводы. | |

По а.с. СССР № 1038068[17] разработкой Уральского политехнического института предлагалось с целью повышения прочности электродов пресс-шайбу выполнить в виде дорна и охватывающей его кольцевой насадки, хвостовик дорна закрепить в теле пуансона, а насадку установить с возможностью осевого перемещения (рис. 2).

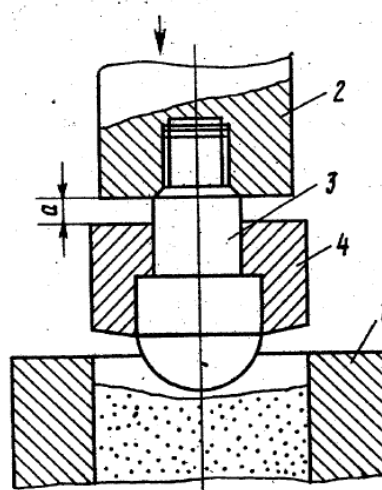


Рис. 2. Схема инструментальной оснастки, предложенной Уральским политехническим институтом для прессования титановых электродов по а.с. СССР № 1038068: 1 – контейнер-матрица; 2 – пуансон; 3 – дорн; 4 – кольцевая насадка; а - зазор

Такая конструкция позволяла рассредоточить нагрузку на прессуемую шихту во времени, что приводило к возможности увеличения давлений и соответственно плотности шихты.

Впоследствии эта схема была усовершенствована в а.с. СССР № 1217572 [18] тем, что дорн установили с возможностью вращения и осевого перемещения, а его рабочую часть снабдили несомотормозящейся винтовой нарезкой (рис. 3). Такой дорн формировал очередную порцию шихты и оставлял отверстие с резьбой, откуда он самопроизвольно вывинчивался и освобождал место для последующей порции шихты.

Дальнейшее усовершенствование было запатентовано а.с. СССР № 1678528 [19], в котором предложена конструкция, изображенная на рис. 4. Пуансон 2 при движении вниз в полости контейнера 1 опирает закрепленную гайкой 4 головку дорна 3 на прессуемый материал и начинает сдавливать порцию шихты. Из-за наличия зазора между торцом выступа 5 пуансона и упругим элементом 6 деформация последнего на первой стадии прессования не происходит. Продвижение головки дорна 3 вниз осуществляется за счет уплотнения шихты под головкой и прошивкой остального объема порции. Из-за роста силы, действующей на дорн, он преодолевает сопротивление пружины 7 и поднимается относительно торца пуансона. После выбора зазора между торцом выступа пуансона и упругим элементом начинается деформация упругого элемента, увеличивается его диаметр, и боковая поверхность элемента формирует кольцевую полость в теле электрода.

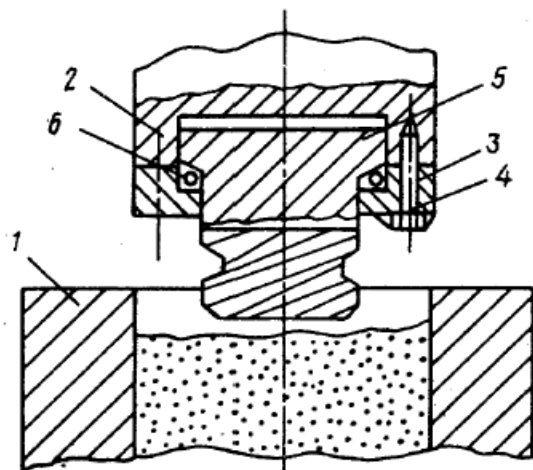


Рис. 3. Схема инструментальной оснастки, предложенной Уральским политехническим институтом для прессования титановых электродов по а.с.

СССР

№ 1217572: 1 – контейнер-матрица; 2 – пуансон; 3 – насадка; 4 – крепеж; 5 – дорн; 6 – подшипниковый узел

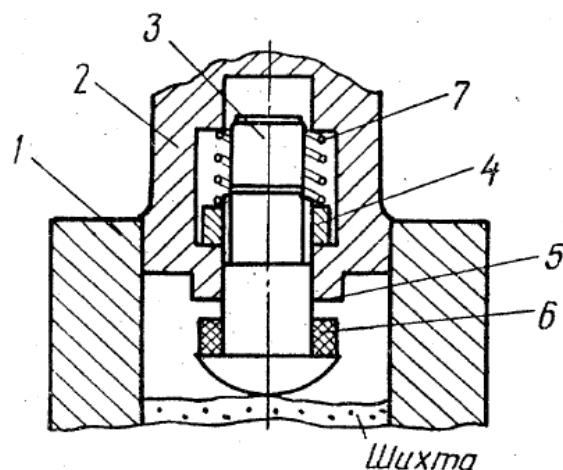


Рис. 4. Схема инструментальной оснастки, предложенной Уральским политехническим институтом для прессования титановых электродов по а.с. СССР № 1678528 (обозначения в тексте)

По патенту РФ № 2284360 [20], выданным ОАО ВСМПО, последнюю порцию шихты запрессовывают одновременно с переходником, торцевая поверхность которого, стыкуемая с электродом, имеет конические выступы. При этом их поверхности имеют наклон, равный $1...10^\circ$, что позволяет повысить производительность вакуумных дуговых печей на 20% за счет исключения операции вакуумирования печи и приварки переходника к электроду.

По патенту РФ № 2291030 [21], выданным ОАО ВСМПО, матрица для прессования электродов содержит корпус 1, входной цилиндрический участок 2 с винтовыми канавками 3, диски 4 конической обжимной части и выходной цилиндрический участок 5. После окончания прессования предыдущей порции шихтовых материалов пресс-штемпель с пресс-шайбой отводится в исходное положение и освобождает пространство во входном цилиндрическом участке 2, затем во входную часть матрицы 2 и винтовые канавки 3 засыпаются шихтовые материалы. При перемещении пресс-штемпеля с пресс-шайбой шихтовые материалы сжимаются и перемещаются вдоль входной части матрицы, при этом шихтовые материалы также перемещаются в винтовых канавках, где происходят сдвиговые окружные перемещения шихтовых материалов в окружном направлении. При дальнейшем спрессовывании шихтовых материалов в конической обжимной части матрицы происходит радиальная сдвиговая деформация. Одновременно за счет переменной конусности кольцевых участков происходят дополнительная радиальная деформация последовательно в разных направлениях, а за счет их винтового расположения - дополнительные окружные сдвиговые деформации, за счет чего происходит уплотнение и сцепление частиц шихтовых материалов, чем увеличивается прочность сцепления.

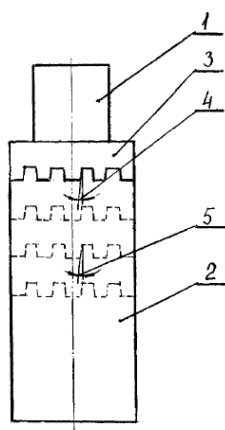


Рис. 5. Схема прессования электрода, предложенная ОАО ВСМПО по патенту РФ № 2284360: 1 – переходник; 2 – электрод; 3 – конические выступы; 4 и 5 – углы конусности инструмента и порции шихты

По патенту РФ №22015845 [22], выданному ОАО ВСМПО, производят смешивание шихтовых сыпучих материалов крупной средней и мелкой фракций, подачу их по желобу порциями в конусную матрицу, прессование шихты с одновременным продавливанием порций через матрицу за один ход пуансона. Прессование начинают после попадания в приемную часть матрицы компонентов шихты крупной и средней фракций, а компоненты шихты мелкой фракции прессуют со следующей порцией шихты. В предлагаемом решении порция шихты, состоящая из крупной, средней и мелкой фракций сбрасывается с весов дозатора одновременно и подается в смеситель. После перемешивания порция шихты по желобу перемещается к матрице. При этом перемещении по желобу длиной до 2 м происходит перераспределение фракций шихты; крупная и средняя (губка и кусковые отходы) попадают в матрицу раньше, чем мелкая фракция (лигатура, мелкая губка и стружка), скорость перемещения которой меньше.

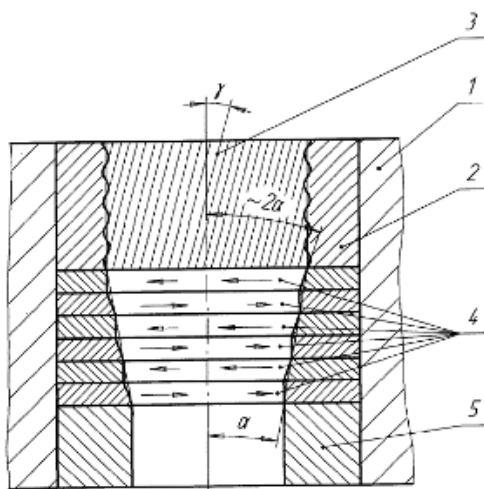


Рис. 6. Схема прессования электрода, предложенная ОАО ВСМПО по патенту РФ № 2291030: 1 – переходник; 2 – электрод; 3 – конические выступы; 4 и 5 – углы конусности инструмента и порции шихты

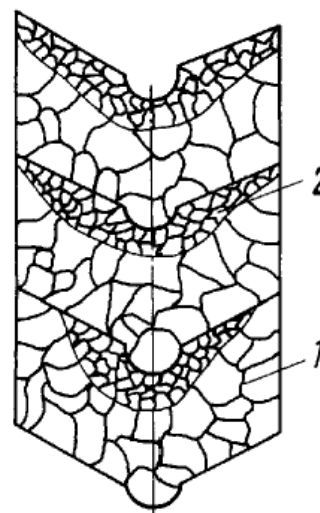


Рис. 7. Схема прессования электрода, предложенная ОАО ВСМПО по патенту РФ № 2015845: 1 – основная часть шихты; 2 – лигатура, стружка и мелкая губка

Прессование начинают сразу после попадания в приемную часть матрицы крупной и средней фракций шихты, отсекая пресс-штемпелем мелкую фракцию, которая остается на конце желоба и частично на стенках приемной воронки матрицы. Оставшаяся часть порции состоит из кусочков шихты мелкой и средней фракции, а это – лигатура, стружка и мелкая губка. В связи с высокими прочностными свойствами первых двух компонентов спрессовывается эта часть порции хуже, чем основная масса. После подъема пресс-штемпеля оставшаяся часть порции первой попадает в выемку (пресс-штемпель имеет фигурную рабочую часть), а сверху в это время сыпается часть следующей порции, более пластичной, в связи с тем, что в ней основу составляют крупные куски губчатого титана. Такое перераспределение фракций одной порции улучшает качество прессуемого электрода. Основная масса лигатуры попадает в центр (выход лигатуры на периферию является браком, электрод сдается вторым сортом). Легирующие элементы, из которых большинство тугоплавкие, находясь в центре электрода, при его распределении в ВДП, позволяют получить более однородную структуру, снижают возможность образования внутренних литейных дефектов. В связи с тем, что на периферии количество крупных кусковых фракций (губка, литой кусок, обрезь) выше, чем в целом в порции, цилиндрическая поверхность электрода не имеет трещин. Трещинообразование на поверхности считается не допустимым и такие электроды сдаются в плавильный отдел после дополнительной операции укрепления электрода продольными элементами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Костюхин Ю.Ю., Сулов Е.Д. Россия на мировом титановом рынке. Экономика в промышленности. 2009. № 3. С. 56-64.

2. Зеленов Б.А., Крылов Б.С. Повышение роли титана в развитии специального машиностроения для нефтегазовой отрасли. Газовая промышленность. 2005. № 6. С. 78-81.
3. Титан /В.А. Гармата, А.Н. Петрунько, Н.В. Галицкий и др. М.: Metallurgy, 1984. 439 с.
4. Ободовский Е.С., Лаптев А.М. Влияние технологических факторов на свойства на свойства плотных брикетов и изделий из титановой губки//Порошковая металлургия. 1987. № 4. С. 28-33.
5. Новожинов В.И., Залазинский А.Г., Давыдова Л.С. и др. Исследование возможности получения прутков из титановой губки//Цветные металлы. 1999. № 3. С. 91-92.
6. Потапов А.И., Логинов Ю.Н., Вичужанин Д.И. Влияние плотности на сопротивление деформации губчатого титана. Заготовительные производства в машиностроении (кузнечно-штамповочное, литейное и другие производства). 2010. № 4. С. 24-27.
7. Трахтенберг И.Ш., Борисов А.Б., Новожинов В.И., Рубштейн А.П., Владимиров А.Б., Осипенко А.В., Мухачев В.А., Макарова Э.Б. Механические свойства и структура пористого титана, полученного спеканием компактированной губки. Физика металлов и металловедение. 2008. Т. 105. № 1. С. 99-104.
8. Боровинская И.П., Прокудина В.К., Ратников В.И. Применение титана в процессах СВС. Известия высших учебных заведений. Порошковая металлургия и функциональные покрытия. 2010. № 4. С. 26-33.
9. Ратников В.И., Прокудина В.К., Беликова А.Ф., Сачкова Н.В. Получение порошка титана из титановой губки СВС-гидрированием и дегидрированием. Известия высших учебных заведений. Порошковая металлургия и функциональные покрытия. 2009. № 4. С. 25-30.
10. В.И. Добаткин, Н.Ф. Аношкин, А.П. Андреев и др. Слитки титановых сплавов М.: Металлургия, 1966. 268 с.
11. Плавка и литье титановых сплавов. М.: Металлургия, 1978. 383 с.
12. Ивченко З.А., Лунев В.В. Изготовление фасонных отливок и расходных электродов из титановых сплавов для авиадвигателей. Металловедение и термическая обработка металлов. 2008. № 1. С. 33-36.
13. Yang Zhi-jun, Zhao Xiao-hua, Kou Hong-chao. Numerical simulation of temperature distribution and heat transfer during solidification of titanium alloy ingot in vacuum arc remelting process. Transactions of Nonferrous Metals Society of China. 2010. V. 20. Issue 10, P. 1957-1962.
14. Mitchell A. Melting, casting and forging problems in titanium alloys. Materials Science and Engineering A, 1998, V. 243. P. 257-262.
15. Логинов Ю.Н., Карсаков В.В., Хайкин Б.Е. Сокращение образования трещин на поверхности расходных титановых электродов. Технология легких сплавов, 1984. № 6. С. 62-64.
16. Жадкевич М.Л., Шаповалов В.А. Технология прессования расходных электродов с электрическим нагревом некомпактной титановой шихты. Кузнечно-штамповочное производство: перспективы и развитие. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ. 2005. С.373-377.
17. А.с.СССР №1038068. Устройство для прессования электродов /С.И. Бурасов Б.Е.Хайкин, Ю.Н.Логинов. Оpubл. БИ№32, 1983, МПК В22F3/02.
18. А.с.СССР №1217572. Устройство для прессования электродов /Ю.Н.Логинов, Б.Е.Хайкин, Л.М.Железняк. Оpubл. БИ№10, 1986, МПК В22F3/02.
19. А.с.СССР №1678528. Устройство для прессования электродов /Ю.Н.Логинов В.В. Урусова. Оpubл. Б.И. №35, 1991. МПК В22F3/02.
20. Патент РФ №2284360. Способ изготовления расходного электрода для выплавки слитков титановых сплавов. /В.Г.Смирнов, В.В.Тегухин, И.В.Левин. Оpubл. Б.И. №27, 2006. МПК С22В 9/21, В22F3/02.
21. Патент РФ №2291030. Способ полунепрерывного прессования расходного электрода и матрица для его осуществления /В.Г.Смирнов, И.В.Левин, В.И.Зобнин. Оpubл. Б.И. №01, 2007. МПК В22F3/02, В22F3/03, В30В 15/02.
22. Патент РФ № 2015845. Способ изготовления расходного электрода для выплавки слитков высоколегированных титановых сплавов /В.А.Баранов, А.П.Бычков. Оpubл. 15.07.94. МПК В22F3/02, В22F3/20.