



ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ПЛАВКИ МОЛИБДЕНА

В. О. Мушегян

Описана электронно-лучевая установка промышленного типа МВ-1. Приведены технические характеристики установки. Изложены функциональные особенности узлов установки: рабочих камер, технологической оснастки, электронных пушек.

Electron beam installation of MV-1 industrial type is described. Technical characteristics of the installation are given. Functional peculiarities of such installation components as: working chambers, technological fixture, electron guns are described.

Ключевые слова: электронно-лучевой переплав; установка; промежуточная емкость; природ; молибден

Плавка молибдена представляет собой сложную техническую задачу вследствие высокой температуры плавления (2617 °С) и повышенных требований по чистоте металла от примесей [1]. В мировой практике для выплавки слитков молибдена применяют вакуумно-дуговой или электронно-лучевой переплавы, в которых в качестве защитной среды используют вакуум и концентрированные источники энергии (электрическую дугу и электронный луч).

Вакуумно-дуговой переплав в разряженной атмосфере инертного газа отличается ограниченными возможностями по очистке исходного молибденового сырья от вредных примесей и газов, поэтому для него требуются шихтовые материалы высокой чистоты. Электронно-лучевую плавку производят при более высоком вакууме, что обеспечивает высокую степень очистки металла [2].

Особенно эффективен электронно-лучевой переплав с промежуточной емкостью (ЭЛПЕ) [3], который благодаря пространственному разделению процессов плавления, рафинирования и кристаллизации металла позволяет выдерживать расплав металла в промежуточной емкости в течение времени, необходимого для его рафинирования до заданного уровня чистоты.

Для достижения максимального эффекта от реализации метода ЭЛПЕ в области плавки тугоплавких металлов необходимы новые установки промышленного типа, сочетающие высокую производительность вакуумной системы с большой удельной мощностью электронных лучей. В Институте электросварки им Е. О. Патона накоплен богатый опыт по созданию таких установок.

Армения богата молибденом, который добывают на медно-молибденовых рудниках. Металлический молибден в виде восстановленного порошка произ-

водят на заводе ОАО «Чистое железо» (Ереван) в виде брикетов ТУ РА28-54-529-61-661-2007. Для дальнейшей очистки молибдена от примесей и получения качественных слитков, готовых для деформации в полуфабрикат, потребовалась плавильная установка.

С этой целью в НТЦ «Патон-Армения» Института электросварки им. Е. О. Патона создали электронно-лучевую установку МВ-1 (рис. 1), способную эффективно плавить тугоплавкие металлы и их сплавы.

Установка конструктивно состоит из плавильной камеры (камеры плавки), камеры загрузки и камеры слитка. Все элементы конструкции выполнены с полыми стенками, в которых циркулирует вода для принудительного охлаждения во время плавки и остывания слитка. Кроме того, установка оснащена блоком питания электронно-лучевых нагревателей, системами управления и стабилизации электронных лучей, вакуумной системой. Ниже приведены основные технические параметры установки.

Технические характеристики электронно-лучевой установки МВ-1

Максимальная мощность, кВт.....	480
Ускоряющее напряжение, кВ.....	30
Количество пушек, шт.	4
Наибольшие размеры заготовки, м:	
длина.....	2,2
сечение	0,5×0,45
Наибольшие размеры слитков, м:	
длина.....	2,0
диаметр.....	0,13
прямоугольного сечения.....	0,2×0,3
Производительность высоковакуумной системы откачки, л/с.....	15000
Рабочий вакуум в камере плавки, Па.....	1·10 ⁻²
Максимальный расход охлаждающей воды, м ³ /ч.....	40
Габариты установки, м.....	5×7×5

Камера плавки является центральной частью установки, в которой непосредственно осуществляют

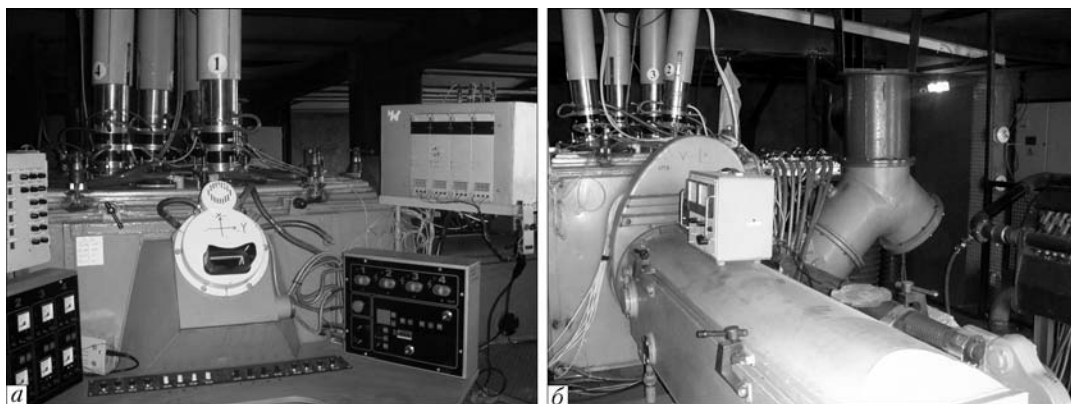


Рис. 1. Электронно-лучевая установка МВ-1: а — пульт оператора; б — вид со стороны камеры загрузки

процесс плавки. Она представляет собой вертикально расположенный прямоугольник 1,5×0,9 м, ограниченный сверху и снизу вакуумно-плотными крышками. Толщина стенок камеры позволяет полностью исключить проникновение наружу вторичного рентгеновского излучения, вызванного торможением электронов о переплавляемый материал.

Внутри камеры находится технологическая оснастка, состоящая из промежуточной емкости, припода и кристаллизатора (рис. 2). На верхней крышке установлены электронно-лучевые пушки ВТР (4 шт.).

Технические характеристики пушки ВТР

Номинальная мощность, кВт.....	100
Рабочая частота развертки, Гц.....	50
Максимальная сила тока, А.....	4
Угол отклонения пучка от оси пушки, град.....	0... 10
Рабочий газ.....	смесь водорода и кислорода
Максимальный расход газа, л/ч.....	1,0
Диаметр пятна в фокусе пучка, мм.....	10... 20

Во время проведения регламентно-технологических работ верхняя плита может перемещаться с помощью цехового крана для чистки внутренних поверхностей крышки и пушек от возгонов, которые там осаждаются в процессе плавки.

К технологическому отверстию в нижней крышке присоединена камера слитка. Через имеющиеся на боковой стенке камеры штуцеры охлаждающая вода подается в элементы технологической оснастки с помощью системы медных патрубков.

На боковой стенке камеры установлена смотровая система (стробоскопического типа) оператора. Напротив оператора в стенке камеры имеется патрубок ДУ 400, через который с помощью вакуумного затвора камера плавки соединяется с откачной системой. Справа от оператора камера плавки соединяется с камерой загрузки также с помощью вакуумного затвора ДУ 400.

Камера загрузки представляет собой полый параллелепипед с крышкой, оснащенной вакуумным уплотнением. Общая длина камеры загрузки составляет 2,2 м. Для проведения операции загрузки шихты указанные части камеры расстыковываются после освобождения зажимов, расположенных по периметру уплотнения, после чего крышку открывают для загрузки шихты. В камере загрузки раз-

мещен механизм подачи шихты, позволяющий подавать цельную заготовку, расходуемый короб с шихтовыми материалами, кусковую шихту и насыпные материалы (например, порошок восстановленного молибдена).

В двух первых случаях на направляющих устанавливают рольганг, по которому толкатель подает заготовку в зону плавки. В случае раздельной шихты на направляющие устанавливают нерасходуемый короб, ширина которого не превышает таковую задней стенки промежуточной емкости, и толкатель равномерно сбрасывает шихтовые материалы в промежуточную емкость.

Камера слитка представляет собой полый прямоугольник 0,7×0,7×2,2 м, который крепится к нижней крышке камеры с помощью фланца. В камеру слитка через вакуумное уплотнение снизу вводят шток, на верхней части которого расположен медный водоохлаждаемый поддон. Поддон конструктивно закреплен в камере слитка с помощью двух траверс, соединенных между собой винтовыми тягами.

Снаружи камеры слитка расположен привод, который через винтовые тяги сообщает штоку вертикальное перемещение для вытягивания слитка в процессе плавки. Привод состоит из электродвигателя и редуктора. На поддоне перед началом плавки крепятся «закладные», изготовленные из материала выплавляемого слитка.

В нижней части камеры слитка размещен технологический люк, посредством которого обеспечивается доступ к внутренним частям механизма вытягивания. Через данный технологический люк производится установка закладных перед плавкой и освобождение готового слитка из закрепления после плавки перед его извлечением из установки.

Технологическая оснастка, где происходит процесс электронно-лучевого переплава, состоит из промежуточной емкости, припода и кристаллизатора. Промежуточная емкость (холодный под) представляет собой медную водоохлаждаемую поверхность, ограниченную стенками, в одной из которых выполнен проем для слива жидкого металла (сливной носок). В нее электронными лучами сплавляется шихта, подаваемая из камеры загрузки.

Промежуточная емкость служит для усреднения химического состава, рафинирования расплава от

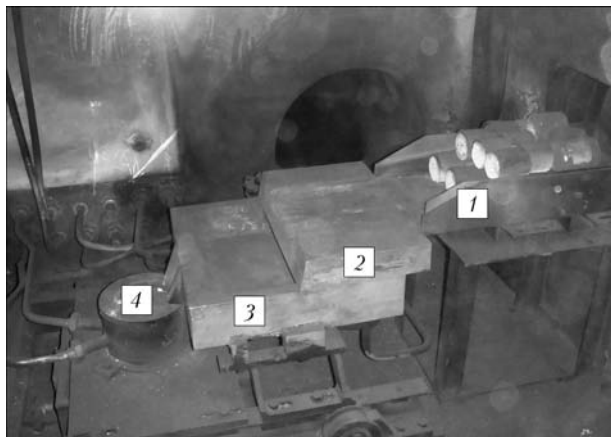


Рис. 2. Технологическая камера с оснасткой: 1 – короб с шихтой (брикеты молибдена); 2 – припод; 3 – промежуточная емкость; 4 – кристаллизатор

примесей (в том числе и газовых) и включений [3]. В процессе плавки на дне промежуточной емкости образуется гарнисаж, предохраняющий стенки и дно от взаимодействия с расплавленным металлом.

Металл из промежуточной емкости сливается в кристаллизатор, представляющий собой полый замкнутый контур (проем), внутренняя часть которого, контактирующая с металлом слитка, выполнена из водоохлаждаемой меди. Промежуточная емкость, припод и кристаллизатор составляют единый узел, смонтированный на стальной раме, закрепленной в камере плавки.

Конструктивная схема крепления оснастки внутри камеры позволяет оперативно заменять ее узлы (переходить на другие размеры слитка).

Вакуумная система установки МВ-1 включает вакуумные магистрали, затворы и насосы: механические, пароструйные и диффузионные. Магистрали состоят из стальных труб, соединяющих насосы как между собой, так и с камерой плавки, пушками, и обеспечивают необходимые проходные сечения для максимального использования производительности насосов.

Вакуумирование внутренних полостей камер установки от уровня атмосферного давления осуществляется механическим насосом АВЗ-125Д. Производительность насоса позволяет достичь в камере плавки уровня остаточного давления $3 \cdot 10^4$ Па в течение 10 мин. Для дальнейшего вакуумирования установки и удаления газов и паров металла во время процесса плавки используется основная вакуумная магистраль, состоящая из следующих типов насосов:

АВЗ-125Д – 2 шт.

2ДВН1500 – 1 шт.

2НВБМ400 – 2 шт.

Вакуумная система установки МВ-1 позволяет создавать разрежение в объеме плавильной камеры ($1 \cdot 10^{-2}$ Па), обеспечивающее бесперебойную работу пушек и необходимую степень рафинирования переплавляемого металла в течение всего технологического процесса.

Главной технической особенностью электронно-лучевой установки МВ-1 является возможность плавки тугоплавких металлов – высокая удельная мощность электронно-лучевого нагрева относительно объема камеры плавки и конструктивные решения технологической оснастки, позволяющие эффективно производить дегазацию и плавку исходного сырья.

Наличие четырех пушек ВТР общей мощностью 480 кВт обеспечивает удельную мощность потока электронов в промежуточной емкости на уровне $2 \cdot 10^6$ Вт/м², а в зоне плавки брикетов восстановленного порошка молибдена – $3 \cdot 10^7$ Вт/м², что вполне достаточно для тугоплавких металлов.

При необходимости установка позволяет создавать в точке электронную бомбардировку удельной мощностью $5 \cdot 10^8$ Вт/м². Для повышения производительности электронно-лучевой плавки тугоплавких металлов необходимо осуществлять дегазацию исходной шихты [4].

С этой целью технологическая оснастка в электронно-лучевой установке МВ-1 дополнена медной водоохлаждаемым приподом (подложкой) значительной протяженности (рис. 2), на котором происходит предварительный нагрев и частичное плавление брикетов молибдена под действием электронных лучей.

Установка оснащена стробоскопической системой наблюдения за процессом плавки с использованием внешнего привода, что позволяет вести визуальный контроль и осуществлять обслуживание смотровой системы без прерывания технологического процесса.

Электронно-лучевая установка МВ-1 является высокопроизводительным агрегатом промышленного типа для плавки металлов и сплавов с промежуточной емкостью. В качестве шихтовых материалов могут быть использованы как цельная расходуемая заготовка, так и кусковые отходы, насыпные материалы. Высокая удельная мощность электронных пучков позволяет эффективно плавить тугоплавкие металлы и сплавы на их основе. Благодаря возможности оперативной замены технологической оснастки на установке можно выплавлять слитки как круглого, так и прямоугольного сечений.

1. *Молибден в ядерной энергетике* / Под ред. чл.-кор. АН СССР В. С. Емельянова и д-ра техн. наук проф. А. И. Евстюхина. – М.: Атомиздат, 1977. – 160 с.
2. *Мовчан Б. А., Тихоновский А. Л., Курапов Ю. А. Электронно-лучевая плавка и рафинирование металлов и сплавов.* – Киев: Наук. думка, 1972. – 240 с.
3. *Электронно-лучевая плавка* / Б. Е. Патон, Н. П. Тригуб, Д. А. Козлитин и др. – Киев: Наук. думка, 1997. – 265 с.
4. *Патон Б. Е., Тригуб Н. П., Ахонин С. В. Электронно-лучевая плавка тугоплавких и высокорекреакционных металлов.* – Киев: Наук. думка, 2008. – 306 с.

ГП НТЦ «Патон Армения»

Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины

Поступила в редакцию 15.12.2009