



УДК 669.187.526:51.001.57

ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВАЯ УСТАНОВКА УЭ-121

Н. П. Тригуб, Г. В. Жук, П. А. Пап,
А. Н. Калинюк, С. В. Хомутский, Ю. Т. Ищук

Описана электронно-лучевая установка промышленного типа УЭ-121 и приведены ее технические характеристики. Изложены основные функциональные особенности узлов установки — рабочих камер, технологической оснастки, электронных пушек, источника питания.

Electron beam industrial installation of the UE-121 type is described and its technical characteristics are given. Main functional features of installation units, such as working chambers, technological fixture, electron guns, power sources, are presented.

Ключевые слова: электронно-лучевой переплав; установка; промежуточная емкость; аксиальная пушка; плавка металлов и сплавов

Использование электронно-лучевого переплава с промежуточной емкостью (ЭЛПЕ) [1] благодаря наличию независимого концентрированного источника нагрева — электронного луча — значительно расширяет возможности процесса переплава. В настоящее время разработаны технологии утилизации отходов и выплавки сплавов способом ЭЛПЕ [2, 3]. Для достижения максимального эффекта от реализации данных технологий необходимы новые высокопроизводительные установки промышленного типа. В ИЭС им. Е. О. Патона накоплен богатый опыт разработки таких установок.

На базе лабораторной установки Э-121 [1] создана электронно-лучевая установка УЭ-121 (рис. 1), состоящая из трех камер — плавки, загрузки и слитка. Все элементы конструкции имеют полые стенки, в которых циркулирует вода для принудительного охлаждения слитка во время плавки и остывания. Установка оснащена также блоком электропитания,



Рис. 1. Внешний вид электронно-лучевой установки УЭ-121

вакуумной системой, системами управления и стабилизации. Основные технические характеристики электронно-лучевой установки УЭ-121 следующие:

Установленная мощность, кВ·А	900
Ускоряющее напряжение, кВ	30
Количество пушек, шт.	3
Максимальные размеры заготовки, м:	
длина	2,2
сечение	0,50×0,45
Максимальные размеры слитка, м:	
длина	2,0
диаметр	0,6
прямоугольное сечение	1,00×0,15
Производительность высоковакуумной системы откачки, л/с	18000
Рабочий вакуум, Па:	
в пушках	$(6,6... 13) \cdot 10^{-3}$
в камере плавки	$(6,6... 13) \cdot 10^{-2}$
Максимальный расход охлаждающей воды, м ³ /ч	80
Габарит установки, м	14×8×5

Плавильная камера является центральной частью установки, в которой и реализуется процесс плавки. Она представляет собой вертикально расположенный цилиндр диаметром 2,0 м и высотой 1,5 м, ограниченный сверху и снизу вакуум-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 кристаллизатора и промежуточной емкости (рис. 2). На верхней крышке установлены три электронно-лучевые пушки (рис. 3), имеющие следующие технические характеристики:

Номинальная мощность, кВт	300
Максимальная частота развертки, Гц	1000
Максимальный ток, А	15
Угол отклонения пучка электронов от оси пушки, град	0...35



Рис. 2. Технологическая оснастка для одновременной плавки нескольких слитков

Для отвода верхней крышки с расположенными на ней электронно-лучевыми пушками за пределы плавильной камеры применена рельсовая система. Благодаря ей возможно извлечение готового слитка из камеры с помощью цехового крана, а также очистка внутренних поверхностей крышки и пушек от возгонов, осаждающихся на них в процессе плавки. К технологическому отверстию в нижней крышке присоединена камера слитка. Через имеющиеся на нижней крышке штуцеры, предназначенные для охлаждения, в кристаллизатор и промежуточную емкость с помощью системы гибких шлангов подается вода. На боковой стенке камеры расположены смотровая система (стробоскопического типа) оператора, разъемы для ввода термпар и лампы-манометры. Слева от места оператора в стенке камеры имеется патрубок ДУ 630, через который с помощью вакуумного затвора камера плавки соединяется с системой откачки. Справа от места оператора на боковой стенке камеры находится вакуум-плотная технологическая дверь размером $1,8 \times 1,0$ м, на которой расположена смотровая система, используемая технологом для наблюдения за процессом плавки. Напротив места оператора камера плавки соединяется с камерой загрузки.

Камера загрузки является полым параллелепипедом и состоит из двух частей, соединенных между собой вакуумным уплотнением. Ее общая длина составляет 2,2 м. Для проведения загрузки шихты указанные части камеры расстыковываются после освобождения зажимов, расположенных по периметру уплотнения, затем задняя часть камеры загрузки отделяется и отъезжает с помощью электропривода. В камере загрузки размещен механизм подачи шихты, который удаляется вместе с отделяемой частью камеры. Механизм подачи шихты представляет собой ряд параллельных направляющих, вдоль которых с помощью цепной передачи перемещается толкатель. Благодаря механизму подачи можно подавать цельную заготовку, расходуемый короб с шихтовыми материалами, кусковую шихту и насыпные материалы, например губчатый титан. В двух первых случаях на направляющие устанавливается рольганг, по которому толкатель подает заготовку в зону плавки. При использовании насыпной шихты

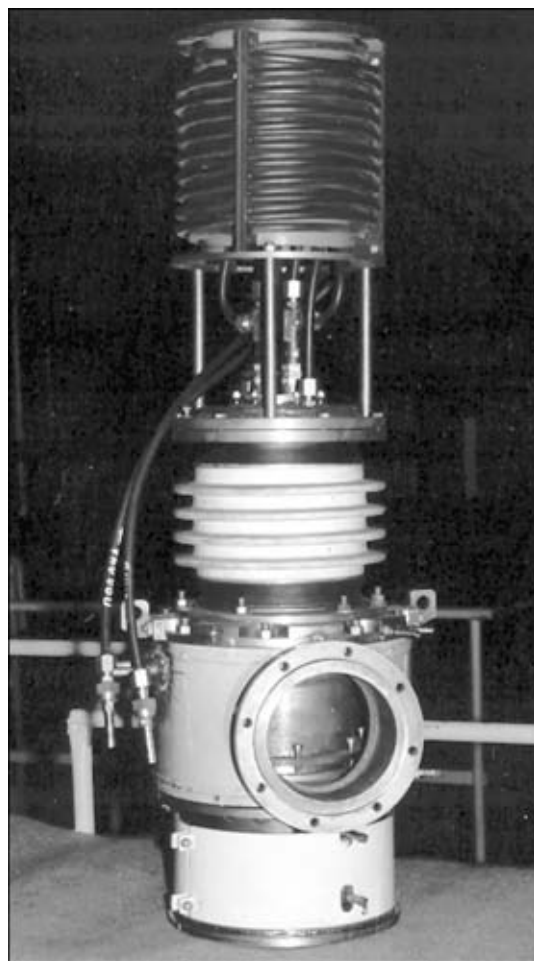


Рис. 3. Электронно-лучевая пушка «Патон-300»

на направляющие помещается нерасходуемый короб, ширина которого не превышает ширины задней стенки промежуточной емкости, и толкатель равномерно подает шихтовые материалы в промежуточную емкость. Благодаря расстыковке камеры загрузки можно оперативно загружать шихту, используя цеховой кран грузоподъемностью 10 т.

Камера слитка представляет собой водоохлаждаемый цилиндр диаметром 1,4 м, который крепится к нижней крышке камеры плавки через фланец. В камеру слитка через вакуумное уплотнение снизу вводится шток, на верхней части которого расположен медный водоохлаждаемый поддон. Поддон закреплен в камере слитка с помощью двух траверс, соединенных между собой винтовыми тягами. Снаружи камеры слитка расположен привод, который посредством винтовых тяг перемещает шток в вертикальном направлении для вытягивания слитка в процессе плавки. Привод состоит из электродвигателя и редуктора. Перед началом плавки на поддоне крепятся «закладные», изготовленные из материала выплавляемого слитка. В нижней части камеры слитка расположен технологический люк, который обеспечивает доступ к внутренним частям механизма вытягивания. Через этот люк производится установка «закладных» перед плавкой, освобождение готового слитка после плавки и его извлечение из установки.

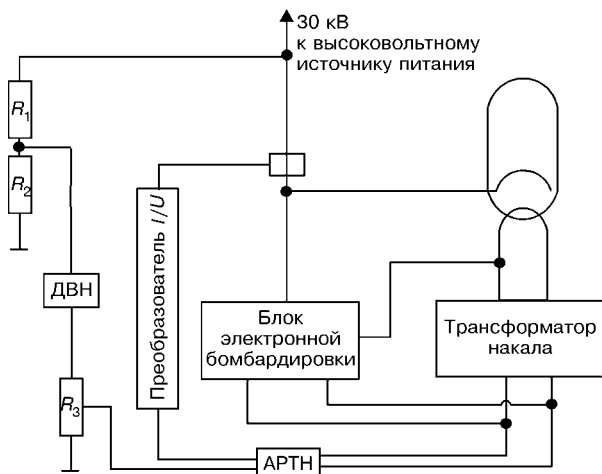


Рис. 4. Принципиальная схема управления накалом пушки

Технологическая оснастка, в которой происходит процесс электронно-лучевого переплава, состоит из промежуточной емкости и кристаллизатора. В стенах промежуточной емкости (холодный под) имеется проем для слива жидкого металла (сливной носок). В указанную емкость сплавляется шихта, которая подается из камеры загрузки. Промежуточная емкость служит для усреднения химического состава, рафинирования расплава от примесей (в том числе и газовых) и включений [1]. В процессе плавки в емкости образуется гарнисаж, предохраняющий ее стенки и дно от взаимодействия с расплавленным металлом. Металл из промежуточной емкости сливается в кристаллизатор, представляющий собой полый замкнутый контур (проем). Его внутренняя часть, контактирующая с металлом слитка, выполнена из водоохлаждаемой меди. Промежуточная емкость и кристаллизатор составляют единый узел, смонтированный на стальной раме, закрепленной в камере плавки. Конструктивная схема крепления оснастки внутри камеры позволяет оперативно заменять ее узлы при изменении размеров слитков. С целью снижения затрат времени и материалов использована принципиально новая схема технологической оснастки (см. рис. 2). При замене сливного носка на прорезь в стенке промежуточной емкости уменьшились потери металла, поскольку именно на сливном носке происходит максимальный перегрев расплава и его испарение. Благодаря прорезям в кристаллизаторе увеличивается производительность процесса плавки в случае слитков малого диаметра.

Пушки «Патон-300» (рис. 3) представляют собой электронно-лучевые нагреватели аксиального типа [1]. Каждая пушка состоит из катодного узла с вольфрамовым электродом, установленного на высоковольтном изоляторе, анодного водоохлаждаемого узла, магнитной линзы, отклоняющей системы и лучевода. Она оснащена также индивидуальной системой откачки. Электропитание пушек осуществляется с помощью высоковольтного источника постоянного напряжения 30 кВ, состоящего из коммутационной пускозащитной аппаратуры, тири-

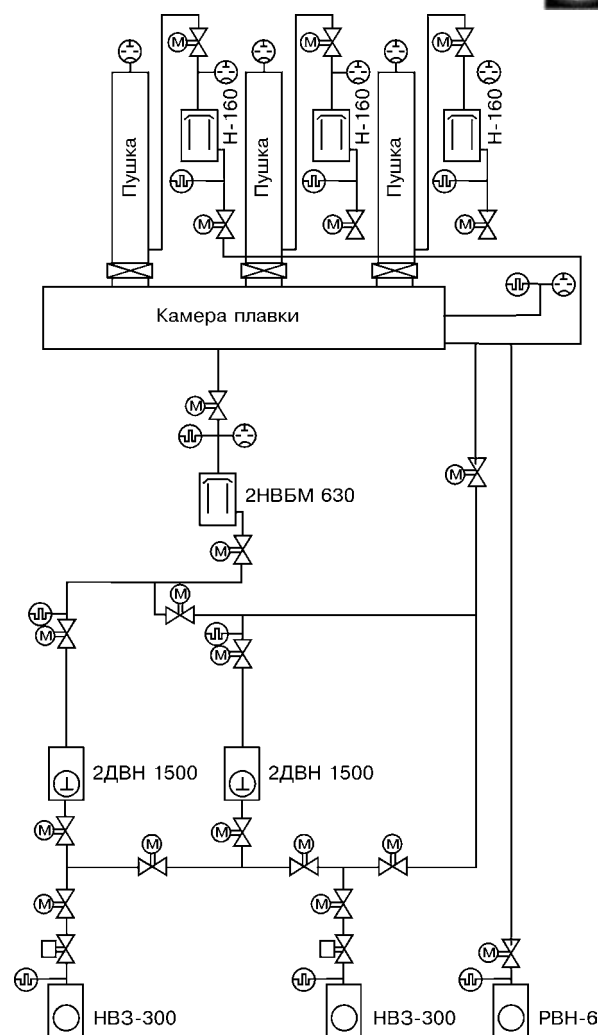


Рис. 5. Схема вакуумной системы установки УЭ-121

торного ключа, дросселя, трансформатора, выпрямителя и источников накала катодов пушек. Система управления обеспечивает стабилизацию тока электронного луча путем введения обратной связи в цепь автоматической регулировки тока накала катода. Принципиальная схема управления накалом пушки (рис. 4) состоит из следующих функциональных узлов: резисторные высоковольтные делители напряжения R_1 , R_2 ; датчик высокого напряжения ДВН; резистор-датчик тока накала R_3 ; автоматический регулятор тока накала АРТН; измерительный, гальванически развязанный от высоковольтных цепей преобразователь тока электронного луча в постоянное напряжение; источник накала пушки (блок электронной бомбардировки и трансформатор накала).

Вакуумная система установки УЭ-121 (рис. 5) включает в себя вакуумные магистрали, затворы и насосы — механические, пароструйные и диффузионные. Магистрали состоят из стальных труб, соединяющих насосы между собой, а также с камерой плавки и пушками. Магистрали обеспечивают необходимые проходные сечения для максимального использования производительности насосов. Вакуумирование внутренних полостей камер установки



от уровня атмосферного давления осуществляется механическим насосом РВН-6. Благодаря его производительности в камере плавки остаточное давление $3 \cdot 10^4$ Па достигается в течение 10 мин. Для дальнейшего вакуумирования установки и удаления газов и паров металла во время плавки используется основная магистраль, состоящая из механических насосов НВЗ-300 (2 шт.), 2ДВН 1500 (2 шт.), а также пароструйного 2НВБМ 630 (1 шт.) и диффузионного Н-160 (3 шт.) насосов.

Вакуумная система установки УЭ-121 позволяет создать в объеме плавильной камеры давление $1 \cdot 10^{-2}$ Па, а в пушках — $1 \cdot 10^{-3}$ Па, что обеспечивает бесперебойную работу пушек и сохранение необходимого уровня рафинирования переплавляемого металла в течение всего технологического процесса.

Таким образом, электронно-лучевая установка УЭ-121 является высокопроизводительным агрегатом промышленного типа для плавки металлов и сплавов с промежуточной емкостью. В качестве

шихтовых материалов могут быть использованы как цельные расходуемые заготовки, так и кусковые отходы или насыпные материалы. Благодаря оперативной замене технологической оснастки на установке можно выплавлять слитки круглого и прямоугольного сечений из сплавов на основе железа, никеля, титана и тугоплавких металлов

1. *Электронно-лучевая плавка* / Б. Е. Патон, Н. П. Тригуб, Д. А. Козлитин и др. — Киев: Наук. думка, 1997. — 265 с.
2. *Утилизация* отходов титанового производства методом электронно-лучевой плавки с промежуточной емкостью / А. Л. Тихоновский, Н. П. Тригуб, А. Н. Калинюк и др. // Пробл. спец. электрометаллургии. — 1991. — № 1. — С. 59–63.
3. *Структура* и свойства титанового сплава ВТ6С электронно-лучевой выплавки / А. Н. Калинюк, О. Н. Козловец, И. В. Цыбань, Н. П. Тригуб // Там же. — 1999. — № 2. — С. 45–50.

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

Поступила 06.03.2003

УДК 669.187.526.001.5

УСКОРЕННОЕ ОХЛАЖДЕНИЕ СЛИТКОВ ТИТАНА ПОСЛЕ ЭЛП

**А. М. Касумов, Н. Ф. Наконечный,
В. Н. Федоров, В. А. Щекин-Кротов**

Реализовано сокращение времени охлаждения слитков титана после ЭЛП в три раза. Эффект достигнут за счет повышения излучательной способности поверхности слитков при окислении потоком воздуха. Описана возможность переплава стружки. Увеличение производственной мощности плавильного участка составляет 21 %.

Time of cooling titanium ingots after EBM was 3 times reduced. Effect was attained by increasing radiation capability of surface of ingots in oxidizing by air flow. The feasibility of chips remelting is described. Increase in production capacity of the melting shop bay is 21 %.

Ключевые слова: титан; слиток; охлаждение; электронно-лучевая плавка

Охлаждение слитков титана в вакууме после электронно-лучевой плавки (ЭЛП) до температуры поверхности 300 °С, безопасной для извлечения из плавильной установки, длится около 6 ч и составляет существенную часть всего цикла их изготовления. Сократить время охлаждения слитков можно путем дополнительного отбора тепла. Выбор способа такого отбора определяется как его эффективностью, так и возможностью совмещения с принятой

технологией выемки и последующей обработки слитков. В настоящей работе дан пример реализации такого подхода, примененного на заводе электронно-лучевой металлургии АОЗТ «ФИКО».

Эффективность различных способов отбора тепла определялась по времени, затрачиваемому на охлаждение слитков диаметром 640 мм и рассчитываемому по методике работы [1] для постоянной температуры окружающей среды. Было установлено, что время охлаждения слитков в рассмотренных способах соотносится следующим образом: охлаждение