

Электронно-лучевая литейная установка многоцелевого назначения

Предложена схема электронно-лучевой литейной установки, которая позволяет получать литые изделия заливкой расплава в форму из одного и того же тигля через сливной носок или через сливное отверстие в днище. Установка имеет две камеры литейных форм, а ее плавильный тигель оснащен системой электромагнитного перемешивания расплава.

Ключевые слова: электронно-лучевая плавка, литейная установка, гарнисажный тигель, электромагнитное перемешивание, пушка высоковольтного тлеющего разряда

Электронно-лучевая плавка (ЭЛП)* с момента своего возникновения и в процессе развития использовалась для переплава и рафинирования различных металлов и сплавов [1-4], но в настоящее время основной областью применения этого метода специальной электрометаллургии является переплав и рафинирование тугоплавких и высоко-реакционных металлов с получением слитков для последующего передела [5]. Последние годы характеризуются пробуждением интереса к электронно-лучевой гарнисажной плавке (ЭЛГП), которая в свое время разрабатывалась специально для получения литья [6]. ЭЛГП обычно рассматривается как конкурентная технология в вакуумно-дуговой гарнисажной плавке (ВДГП) [7], а ее достижения по состоянию на начало текущего столетия обобщены в работе [8]. В этой работе наряду с технологическими вопросами были достаточно подробно рассмотрены также вопросы создания оборудования для электронно-лучевой плавки и литья металлов и сплавов.

В последующие годы разработки по созданию оборудования для ЭЛГП были дополнены данными, полученными при усовершенствовании переплавных электронно-лучевых печей, преимущественно для плавки титана [9]. В первую очередь это касалось учета опыта использования при ЭЛП промежуточных емкостей и пушек высоковольтного тлеющего разряда (ВТР) [10], что позволило предложить конструктивные решения по созданию электронно-лучевых литейных установок нового поколения [11]. Для новых установок характерно, помимо промежуточных емкостей и пушек ВТР, использование также одного из двух вариантов разливки с заливкой расплава в формы через сливной носок путем наклона тигля и через сливное отверстие в днище тигля, то есть конструктивное исполнение установки зависит от варианта разливки. В принципе применение того или иного варианта определяется составом выплавляемого сплава: в случае выплавки многокомпонентных и сложнoleгированных сплавов разливку целесообразно проводить через сливной носок, а при выплавке чистых металлов и простых по составу

сплавов – через отверстие в днище. Это обуславливает необходимость иметь на предприятии как минимум две установки, что, при достаточно ограниченной номенклатуре литья, характерной для современного состояния практического использования ЭЛГП, становится в ряде случаев неприемлемым с экономической точки зрения.

В данной статье рассматривается электронно-лучевая литейная установка, которая позволяет осуществлять в одном и том же агрегате разливку расплава как через сливной носок, так и через сливное отверстие в днище тигля. Выбор того или иного варианта разливки определяется выплавляемым сплавом, а для его осуществления оказалось необходимым разработать специальный тигель**. Сама же идея установки была описана в [12].

Принципиальная схема установки приведена на рис. 1. От известных литейных установок она отличается наличием нескольких специфических элементов, а именно двух камер литейных форм, размещенных на разных уровнях; промежуточной емкости; тигля с системой электромагнитного перемешивания, оснащенного сливным носком и сливным отверстием в днище; нескольких средне- и низковакуумных пушек ВТР. Конструктивное исполнение каждого из перечисленных элементов зависит от выплавляемого сплава, используемой шихты, условий проведения технологического процесса. Ниже дается краткая характеристика новых элементов установки.

Две камеры литейных форм в рассматриваемой установке используются для реализации указанной выше возможности применения двух вариантов разливки: через сливной носок и через сливное отверстие в днище тигля. В случае разливки путем наклона тигля, то есть через сливной носок, камера форм размещается сбоку плавильной камеры, а литейные формы перемещаются на позицию заливки в плавильной камере с помощью специального устройства. Такая схема использована в переоснащенной в электронно-лучевую установку печи УППФ-3М [13].

В случае разливки через сливное отверстие в днище тигля камера форм размещается снизу на одной

* В настоящее время, когда говорят об ЭЛП, обычно имеют в виду плавку с промежуточной емкостью.

** Тигель был разработан и изготовлен В. И. Мирошниченко

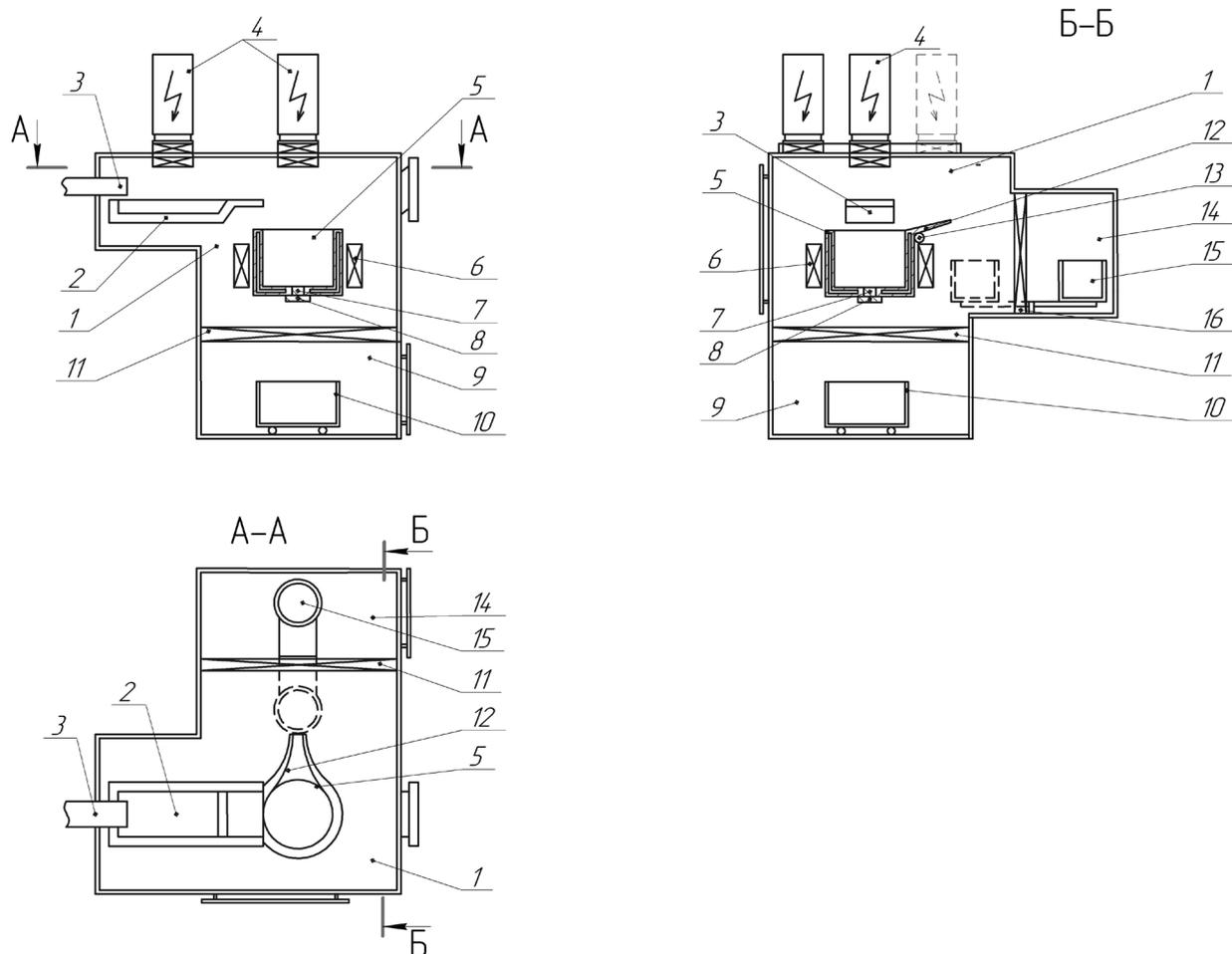


Рис. 1. Схема электронно-лучевой литейной установки с двумя камерами литейных форм: 1 – плавильная камера; 2 – промежуточная емкость; 3 – заготовка; 4 – электронные пушки; 5 – гарнисажный тигель; 6 – система ЭМП; 7 – сливное отверстие; 8 – пробка; 9 – нижняя камера литейных форм; 10 – литейная форма; 11 – вакуумный затвор; 12 – сливной носок; 13 – ось поворота тигля; 14 – боковая камера литейных форм; 15 – литейная форма; 16 – устройство перемещения формы

вертикальной оси с тиглем. Такое размещение камеры форм было реализовано, в частности, в электронно-лучевой литейной установке типа ЭЛК-500М, в которой предусматривалось применение четырех камер форм, перемещающихся по окружности, что позволяло проводить несколько плавов без разгерметизации установки [8].

Наличие двух камер литейных форм, размещенных на разных уровнях и позволяющих проводить разливку расплава из тигля через сливной носок и через сливное отверстие в днище, открывает перспективу по-новому организовать технологический процесс. В частности, можно организовать проведение нескольких плавов подряд без разгерметизации установки с заливкой литейных форм поочередно в разных камерах. При этом будет обеспечиваться повышение производительности агрегата и уменьшение расхода электроэнергии на передел. Вероятно, что в случае разливки расплава через сливной носок наиболее целесообразным представляется получение фасонных изделий литьем в керамические подогреваемые формы, как это реализовано в [13]. Разливку же через сливное отверстие в днище логично использовать для получения центробежного литья, в том числе трубных заготовок.

Промежуточная емкость в литейных электронно-лучевых установках до настоящего времени пока не

применялась, хотя предложения о применении этого элемента металлургической оснастки в литературе высказывались неоднократно, прежде всего, исходя из положительного опыта их эксплуатации в переплавных электронно-лучевых печах. В рассматриваемой установке промежуточная емкость будет способствовать протеканию рафинировочных процессов за счет испарения примесей с высокой упругостью пара. При использовании промежуточной емкости в этом качестве желательно ее оснащение системой электромагнитного перемешивания, что представляется возможным с учетом опыта создания холодного подового желоба с системой ЭМП [8].

Однако в связи с вероятным использованием установки для получения литых изделий из титановых сплавов, промежуточная емкость будет необходима для рафинирования от неметаллических включений, которые могут быть в этих сплавах и удаление которых реализуется проще всего за счет использования промежуточной емкости как раз без перемешивания расплава. Наиболее логичное объяснение влияния промежуточной емкости на удаление включений дано в работе [5]. На рис. 2 приведена позаимствованная из этой работы схема, которая показывает, каким образом в промежуточной емкости проходит перемещение включений различной

плотности в расплаве в процессе его течения вдоль емкости. Видно, что включения малой плотности, обычно это нитриды α -титана, всплывают в поверхностные слои расплава, где попадают под воздействие электронно-лучевого обогрева, в то время как включения высокой плотности, обычно это нерастворившиеся в расплаве титана осколки режущего инструмента на основе карбидов тугоплавких металлов (WC, MoC и др.), оседают в придонные слои ванны и «вмораживаются» в гарнисаж.

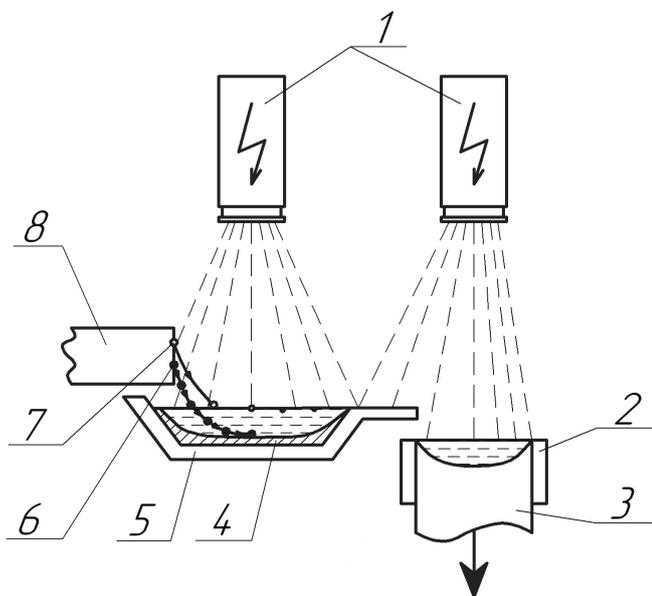


Рис. 2. Схема рафинирования титана от включений при электронно-лучевой плавке с промежуточной емкостью: 1 – электронные пушки; 2 – кристаллизатор; 3 – слиток; 4 – гарнисаж; 5 – промежуточная емкость; 6 – включение высокой плотности; 7 – включение малой плотности; 8 – заготовка

Тигель с системой электромагнитного перемешивания, сливным носком и сливным отверстием в днище, схема и общий вид которого приведены на рис. 3, является оригинальной разработкой специально для установки рассматриваемого типа. Тигель отличается от известных конструкций аналогичного назначения наличием сливного носка для слива рас-

плава путем наклона тигля и сливного отверстия в днище для слива расплава без наклона тигля. Последнее означает, что тигель должен быть обязательно оснащен системой электромагнитного перемешивания расплава, которая в этом случае необходима не только для обеспечения гомогенизации и увеличения массы расплава, но также для обеспечения слива расплава из тигля.

Учитывая, что это первая разработка подобного рода в практике ЭЛГП, целесообразно представить основные параметры этого тигля. Собственно плавильная емкость тигля изготовлена из меди и состоит из цилиндрической части с внутренним диаметром 260 мм, высотой 200 мм, толщинами стенки и днища по 25 мм. Емкость с боковой стороны охвачена системой электромагнитного перемешивания (ЭМП), представляющей собой две катушки (по 16 витков в каждой) из медной трубки диаметром 8 мм с толщиной стенки 1 мм. Катушки вмонтированы в наборный магнитопровод П-образной формы из электротехнической стали толщиной 0,35 мм. Межвитковая и общая изоляция представляет собой стекловолокно, пропитанное кремнийорганическим лаком. Высота системы ЭМП – 160 мм, ширина – 45 мм. В стенке емкости выполнено 24 сквозных разреза на высоте, охватывающей емкость системы ЭМП. Аналогично в днище выполнены сквозные разрезы длиной по 75 мм, а также отверстие для слива расплава диаметром 80 мм. Между разрезами в стенке и днище просверлены отверстия диаметром 10 мм для прохождения охлаждающей воды. Электропитание системы ЭМП тигля осуществляется токами промышленной частоты при напряжении около 20 В и силе тока около 1000 А.

Средне- и низковакуумные пушки ВТР в рассматриваемой установке предлагается применять для обеспечения возможности проведения плавки в широком диапазоне изменения давления остаточных газов в плавильной камере. Это может достигаться за счет перехода обогрева со средневакуумной пушки на низковакуумную и наоборот. Учитывая наличие промежуточной емкости в предлагаемой

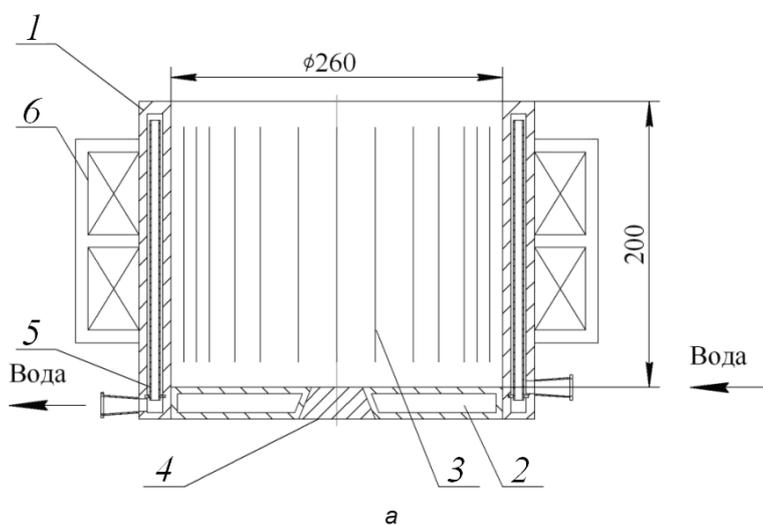


Рис. 3. Схема (а) и общий вид гарнисажного тигля со сливным отверстием в днище и со сливным носком (б): 1 – медный корпус; 2 – днище; 3 – сквозные прорезы; 4 – пробка; 5 – каналы охлаждения; 6 – система ЭМП

установке, пушки необходимо устанавливать над емкостью и над тиглем. А поскольку обогрев будет осуществляться в широком диапазоне изменения вакуума, надо устанавливать пушки обоих указанных типов. Таким образом, установка должна быть оснащена как минимум четырьмя пушками ВТР, по две каждого типа.

Что касается средневакуумных плавильных пушек, то исследования по их применению проводятся с 70-х годов прошлого столетия [14, 15]. В настоящее время имеется достаточно широкий выбор этих нагревателей, причем как украинского [16-19], так и российского производства [20]. Эти пушки прошли весьма тщательную проверку при плавке преимущественно титана, включая губку [21], а в последнее время их работоспособность проверена также при плавке циркония [22].

Относительно низковакуумных пушек следует отметить, что они являются новыми разработками и их производство пока не налажено, а созданные до настоящего времени конструкции носят экспериментальный характер. Представляется, что для плавильных целей наиболее перспективным может быть использование пушки, предложенной в работе [23], схема которой приведена на рис. 4. Отметим, что именно для этой пушки было предложено использовать литые высоковольтные изоляторы из синтетического фторфлогопита [24].

Для литейных электронно-лучевых установок принципиально новым является как использование пушек ВТР, так и изготовление их перемещающимися, в том числе для того, чтобы иметь возможность менять нагреватель в ходе плавки. Конкретный вариант решения этой задачи при обогреве одного объекта предложен в [25]. Однако при необходимости обогрева нескольких объектов в установке ее решение усложняется из-за затруднений с размещением пушек и их перемещением. В приведенной схеме (см. рис. 1) пушки над промежуточной емкостью и над тиглем удобно разместить в параллельных плоскостях. В других случаях оптимальный вариант размещения и перемещения пушек может быть иным, то

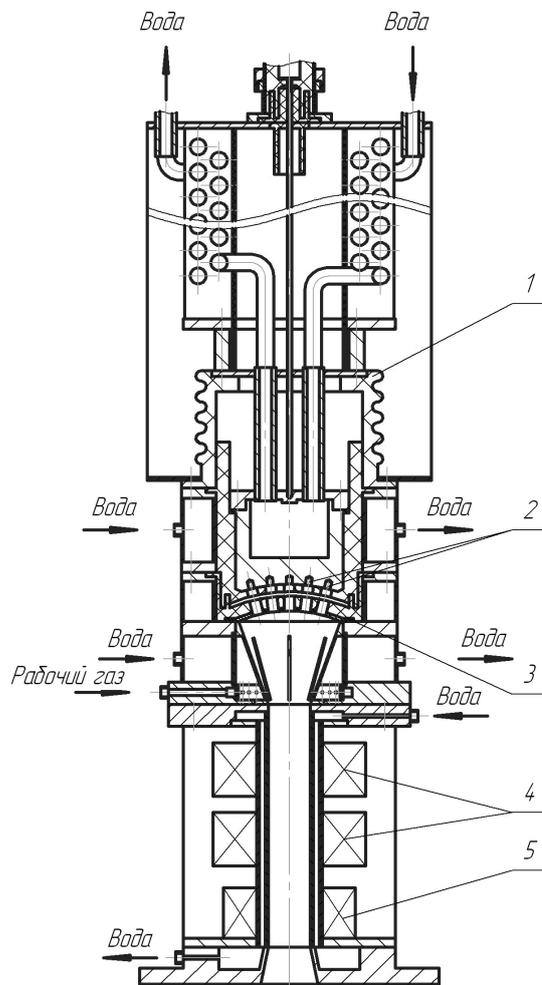
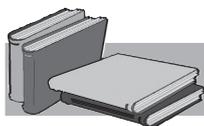


Рис. 4. Схема низковакуумной электронной пушки ВТР: 1 – высоковольтный изолятор; 2 – катод; 3 – анод; 4 – катушки фокусирования; 5 – катушки отклонения луча

есть эта задача требует своего решения для каждого конкретного случая.

Другие элементы электронно-лучевой установки, такие как завалочное устройство, смотровые системы, вакуумная система и так далее, в предлагаемой конструкции аналогичны применяемым в электронно-лучевых установках других типов.



ЛИТЕРАТУРА

1. Электронная плавка металлов / Г. Ф. Заборонок, Т. И. Зеленцов, А. С. Ронжин, Б. Г. Соколов – М.: Металлургия, 1972. – 348 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. Рафинирующие переплавы стали и сплавов в вакууме / В. А. Бояршинов, А. Г. Шалимов, А. И. Щербаков и др. – М.: Металлургия, 1979. – 304 с.
4. Шиллер З., Гайзиг У., Панцер З. Электронно-лучевая технология. Пер. с нем. – М.: Энергия, 1980. – 528 с.
5. Патон Б. Е., Тригуб Н. П., Ахонин С. В. Электронно-лучевая плавка тугоплавких и высокорреакционных металлов. – Киев: Наук. думка, 2008. – 312 с.
6. Ульянов В. Л. Электронно-лучевая гарнисажная плавка в литейном производстве. Препринт. – Киев: ИПЛ АН УССР, 1979. – 38 с.
7. Титановые сплавы. Производство фасонных отливок из титановых сплавов / А. Г. Братухин, Е. Л. Бибииков, С. Г. Глазунов и др. – М.: ВИЛС, 1998. – 292 с.
8. Электронно-лучевая плавка в литейном производстве / Под. ред. С. В. Ладохина. – Киев: Изд-во «Сталь», 2007. – 626 с.
9. Ковальчук Д. В., Кондратий Н. П. Электронно-лучевой переплавы титана – пути развития // Литье и металлургия. – 2009. – № 3 (48). – С. 275-282.

10. *Ладохин С.В.* Новое оборудование для электронно-лучевой плавки и литья металлов и сплавов // *Металл и литье Украины*. – 2012. – № 7. – С. 3-11.
11. *Ладохин С. В.* Электронно-лучевые литейные установки нового поколения: конструктивные особенности и области применения // *Процессы литья*. – 2013. – № 4. – С. 56-70.
12. Патент України на корисну модель № 92801, МПК С21С 5/56, С22В 9/22, Електронно-променева установка для одержання литих заготовок / М. І. Левицький, С. В. Ладохін, Т. В. Лапшук та ін. – Опубл. 10.09.2014. – Бюл. № 17.
13. *Анікін Ю. П.* Удосконалення технології та устаткування для електронно-променевої плавки та лиття жароміцних нікелевих сплавів: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Київ, 1998. – 19 с.
14. *Удрис Я. Я., Чернов В. А.* Образование электронного пучка в высоковольтном тлеющем разряде с полым анодом // *ВЭИ*, вып. 80. – М.: Энергия, 1970. – С. 52-62.
15. *Удрис Я. Я., Чернов В. А.* Электронная пушка высоковольтного тлеющего разряда (ВТР) как стабильный источник нагрева при повышенном газовыделении // *Спец. электрометаллургия*. – 1981. – Вып. 46. – С. 73-79.
16. *Мельник І. В.* Теоретичні та експериментальні основи проектування технологічних газорозрядних джерел електронів: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук / НТУУ «КПІ» – Київ, 2008. – 39 с.
17. International Company Antares / Бюллетень – Киев, 2002. – 10 с.
18. JSC “NVO “Chervona Hvilya” // www.chervonahvilya.com
19. Общество с ограниченной ответственностью «Вакуумно-металлургическое оборудование – Сервис» / Бюллетень – Киев, 2009. – 11 с.
20. *Чернов В. А.* Мощные электронно-лучевые пушки высоковольтного тлеющего разряда (ВТР) и оборудование на их основе // *Труды 9-го Международного симпозиума «Электротехника 2030»*. Москва, 29-31 мая 2007, доклад 7.10.
21. Электронно-лучевой переплав титановой губки – новый способ получения титановых слитков и слябов / А. Л. Тихоновский, С. В. Ахонин, А. А. Тур, А. В. Туник // *Пробл. спец. электрометаллургии*. – 1993. – № 1. – С. 66-70.
22. Выплавка сплава КТЦ-110 в электронно-лучевой гарнисажной установке с использованием пушки высоковольтного тлеющего разряда / С. Д. Лавриненко, С. В. Ладохин, Н. Н. Пилипенко и др. // *Вопросы атомной науки и техники (ВАНТ)*. – 2014. – № 1 (89). – С. 151-158.
23. *Тутик А. В.* Низьковакуумні газорозрядні електронні гармати і їх використання в електронно-променевих технологіях: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – Харків, 2009. – 40 с.
24. Патент України № 103765, МПК Н01J 37/06. Газорозрядна електронна гармата / В. А. Тутик, С. В. Ладохін, М. І. Гасик, А. М. Малявін. – Опубл. 25.04.2013. – Бюл. № 8.
25. Патент України № 98904, МПК С22В 9/22, С21С 5/56. Електронно-променева ливарна установка / С. В. Ладохін, Т. В. Лапшук, А. С. Гладков, М. Ю. Смірнов. – Опубл. 12.03.2012. – Бюл. № 12.

Анотація

Ладохін С. В.

Електронно-променева ливарна установка багатоцільового призначення

Запропоновано схему електронно-променевої ливарної установки, яка дає можливість одержувати литі вироби шляхом лиття розплаву у форму з одного й того ж тигля через зливний носок і через отвір у дні. Установка має дві камери ливарних форм, а її плавильний тигель оснащено системою електромагнітного перемішування розплаву.

Ключові слова

електронно-променева плавка, ливарна установка, гарнісажний тигель, електромагнітне перемішування, гармата високовольтного тліючого розряду

Summary

Ladokhin S.

Electron beam casting installation for multipurpose appointing

The scheme of electron-beam casting installation was described. The installation permitted to cast items by pouring of melt from crucible through the pouring nozzle or through hole in crucible bottom. The installation had two mould chambers and its melting crucible was equipped with electromagnetic stirring system.

Keywords

electron beam melting, casting installation, skull crucible, electromagnetic stirring, high voltage glow discharge gun

Поступила 29.09.14