

УДК 669.295: 621.745

Ладохин С. В.

ПЕРСПЕКТИВЫ СОЗДАНИЯ В УКРАИНЕ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВЫХ ПЛАВИЛЬНЫХ УСТАНОВОК НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

Начало XXI столетия характеризуется заметным расширением практического использования электронно-лучевой плавки (ЭЛП) главным образом для получения слитков из тугоплавких и химически активных металлов и сплавов на их основе. За рубежом наиболее интенсивно работы в этом направлении проводятся в США, Англии, Германии, Японии, а в последние годы также в России и Китае.

В Украине работы в области электронно-лучевых плавильных технологий выполнялись преимущественно по получению крупнотоннажных слитков титана в печах с промежуточной емкостью, хотя определенное внимание уделялось также получению литых изделий в гарнисажных электронно-лучевых установках из титана и жаропрочных никелевых сплавов.

Важность работ по формированию слитков титана объясняется отсутствием в стране производства титана и сплавов на его основе, которые в мировой практике получают в вакуумно-дуговых печах [1, 2] и технологии плавки в которых в нашей стране нет. Первоначально работы по ЭЛП титана проводились в ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины и их результаты обобщены в монографиях [2–4], но в 90-е годы XX столетия в стране появились частные компании, которые вложили средства в создание новых печей для этой цели. В частности, компанией «Antares» были запущены в производство две новые печи типа ВТ01 с установленной мощностью электронно-лучевого нагрева по 2,5 МВт [5], а компанией «Стратегия БМ» – модернизирована печь типа ТІСО-15М с установленной мощностью электронно-лучевого нагрева около 900 кВт [6]. Особенностью проводимых в Украине работ по плавке титана является то, что основное внимание уделялось отработке технологии получения титановых слитков непосредственно из губки. В перспективе это позволит отказаться от создания в стране технологии вакуумно-дуговой плавки титана. Следует также подчеркнуть, что указанные выше компании ориентируются на использование электронно-лучевых пушек высоковольтного тлеющего разряда (ВТР), которые не требуют оснащения вакуумными насосами и устойчиво работают при интенсивном газовойделении из плавящихся материалов. По эксплуатации пушек ВТР ранее в Украине был накоплен положительный опыт [7, 8], но особенностью работ, проводимых в этом направлении в последние годы, является использование новых пушек, которые разработаны совместно НТУУ «КПИ» [9] и ООО «КБ ВМО» [10] и демонстрируют более высокую работоспособность и эксплуатационную надежность, чем пушки более ранней разработки. В целом в настоящее время общая установленная мощность электронно-лучевых металлургических печей в Украине составляет более 15 МВт, что делает страну одним из лидеров в использовании электронно-лучевой плавки в промышленности.

Получение в электронно-лучевых установках литых изделий различного назначения осуществляют с проведением плавки в гарнисажных тиглях, оснащенных системами электромагнитного перемешивания [11]. Это направление до последнего времени представлялось особенно перспективным для производства трубных заготовок из титана [12], а также изделий медицинского назначения, в том числе эндопротезов и хирургического инструментария [11].

В настоящее время наряду с плавкой и рафинированием титана большое значение для Украины приобретают проблемы плавки и рафинирования кремния и циркония, а также сплавов на основе циркония. Плавка и рафинирование кремния необходимы для развития направления по использованию солнечной энергии, а плавка и рафинирование циркония и его сплавов – для создания отечественного ядерно-топливного цикла. В первом случае требуется получение кремния высокой чистоты в виде слитка достаточно большого диаметра, а во втором – получение трубной заготовки из сплава циркония для изготовления труб-оболочек тепловыделяющих

элементов, а также литья комплектующих изделий для сборки тепловыделяющих элементов (концевые детали, дистанционирующие решетки и др.). К сожалению, имеющиеся в стране электронно-лучевые печи и литейные установки представляются мало пригодными для решения указанных задач.

Как известно, недостатком электронно-лучевых технологий является высокая стоимость и сложность в эксплуатации оборудования, а также сложность проведения технологического процесса. Пути снижения стоимости рафинировочных агрегатов и технологии проведения плавки авторы работы [13] видят в отказе от разработки агрегатов высокой степени универсальности, переходе к созданию крупнотоннажных печей, обеспечении оптимальной комплектации печей оборудованием, сокращении доли НИОКР в проводимых работах. Однако такой подход, представляющийся в настоящее время приемлемым в случае получения крупнотоннажных слитков титана, является не вполне обоснованным для случаев плавки и литья кремния и циркония.

Целью данной работы является разработка электронной лучевой установки для получения слитков кремния, а также заготовок и фасонных литых изделий из сплавов циркония.

Первая из указанных установок, схема которой показана на рис. 1, представляет собой электронно-лучевую печь, которая позволяет реализовать рафинирование расплава в потоке при электромагнитном перемешивании, что должно гарантировать достаточно высокую производительность процесса, достижение которой является необходимым условием создания агрегата.

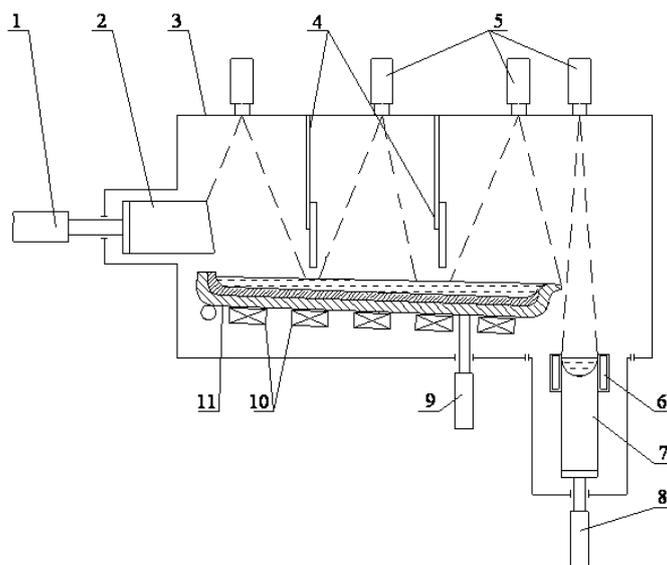


Рис. 1. Схема электронно-лучевой установки для получения слитка кремния:

1 – механизм подачи исходного материала на переплав; 2 – переплавляемый материал; 3 – плавильная камера; 4 – перегородки; 5 – электронно-лучевые пушки; 6 – кристаллизатор; 7 – слиток; 8 – механизм вытягивания слитка; 9 – механизм наклона желоба; 10 – катушки системы ЭМП; 11 – желоб (холодный под)

Печь состоит из плавильной вакуумной камеры, устройства для подачи исходного материала на переплав, водоохлаждаемого желоба, кристаллизатора с механизмом вытягивания слитка, электронно-лучевых пушек. Камера разделяется на отдельные зоны, в которых может создаваться различное разряжение за счет установки перегородок, причем каждая зона обогревается независимыми пушками. Желоб желательнее выполнять наклоняющимся в сторону кристаллизатора с регулируемым углом наклона, что позволяет управлять течением расплава. Принципиальной особенностью желоба является то, что в поперечном разрезе он имеет вид сегмента круга и снабжен системой электромагнитного перемешивания (ЭМП), катушки

которой охватывают желоб снизу. Такое исполнение исключает возможность разрушения желоба при затвердевании расплава кремния и интенсифицирует протекание рафинировочных процессов благодаря перемешиванию расплава.

Вторая установка, схема которой приведена на рис. 2, представляет собой комбинированный агрегат, который может обеспечивать как формирование слитка в кристаллизаторе скольжения, так и получение фасонных изделий методами литейной технологии. В основу разработки установки положены предложения по исключению вакуумно-дуговой плавки из цикла получения изделий из сплавов циркония для атомной энергетики [14], а возможность создания установки базируется на том, что в случае плавки и литья сплавов циркония не требуется высокая производительность и в конструктивном отношении задача решается за счет оснащения установки независимыми камерами слитка и литейной формы.

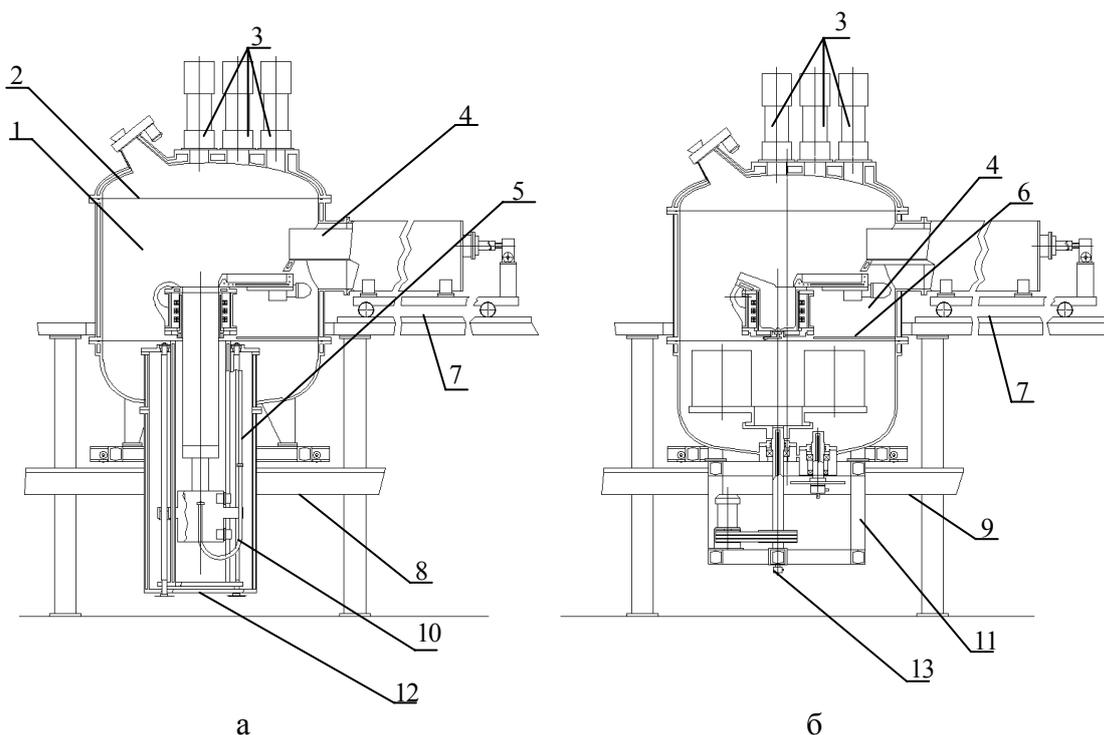


Рис. 2. Схема комбинированной электронно-лучевой установки для получения слитка (а) и литых изделий (б):

1 – крышка камеры; 2 – смотровая система; 3 – электронно-лучевые пушки; 4 – плавильная камера; 5 – кристаллизатор с системой ЭМП; 6 – плавильный тигель; 7 – механизм подачи материалов на переплав; 8 – камера слитка; 9 – камера литейных форм; 10 – слиток; 11 – литейная форма; 12 – механизм вытягивания слитка; 13 – механизм поворота форм

Установка состоит из плавильной вакуумной камеры и, по меньшей мере, двух литейных камер.

В плавильной камере на подвесном устройстве смонтирован кристаллизатор с системой электромагнитного перемешивания, а также устройство для подачи шихты на переплав, промежуточная емкость и электронно-лучевые пушки, обеспечивающие плавление шихты и обогрев расплава в промежуточной емкости и кристаллизаторе. Пушка, обогревающая расплав в кристаллизаторе, размещена на одной вертикальной оси с ним. Литейные камеры образуют единый вакуумный объем с плавильной камерой, и в одной из них установлен механизм с водоохлаждаемым поддоном для вытягивания слитка из кристаллизатора. В другой литейной камере установлен поворотный стол с размещенными на нем литейными формами. Кристаллизатор оснащен отъемным водоохлаждаемым днищем, в котором выполнено отверстие для слива металла и на котором смонтировано устройство с пробкой для закрывания

указанного отверстия. Подвесное устройство выполнено в виде цапфы, а кристаллизатор снабжен сливным носком, причем промежуточная емкость выполнена поворотной вокруг оси, позволяющей после поворота промежуточной емкости опрокидывание кристаллизатора для слива расплава через сливной носок. Таким образом, предложенное конструктивное исполнение позволяет использовать плавильное устройство и как кристаллизатор, и как тигель.

При создании установок важным моментом является выбор наиболее рациональных источников нагрева. Представляется, что для плавки и рафинирования кремния целесообразно использовать аксиальные электронно-лучевые пушки с термокатодом. В случае же плавки циркония заслуживает внимания использование пушек ВТР, поскольку высказываются предложения на переход к получению сплавов циркония из губки [15], а в этом случае пушки ВТР представляются более надежными источниками нагрева.

Изготовителем описанных конструкций установок может быть ЗАО «НКМЗ», который в свое время принимал непосредственное участие в изготовлении узлов электронно-лучевой литейной установки ЭЛК-500М, представляющей собой первую, изготовленную в СССР, электронно-лучевую литейную установку промышленного типа [11].

ВЫВОДЫ

1. Проведен краткий анализ современного состояния применения электронно-лучевой плавки в мире и в Украине и показано, что в Украине основное внимание в последние годы уделяется плавке и рафинированию титана, в том числе с использованием титановой губки.

2. Предложены конструкции двух новых электронно-лучевых специализированных установок, одна из которых предназначена для плавки и рафинирования кремния с получением слитка, а вторая – для плавки и рафинирования сплавов циркония с получением как слитка, так и фасонных литых изделий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Титановые сплавы. Производство фасонных отливок из титановых сплавов / А. Г. Братухин, Е. Л. Бибииков, С. Г. Глазунов и др. – М. : ВИЛС, 1998. – 292 с.
2. Патон Б. Е. Электронно-лучевая плавка титана / Б. Е. Патон, Н. П. Тригуб, С. В. Ахонин, Г. В. Жук. – К. : Наук. думка, 2006. – 248 с.
3. Электронно-лучевая плавка / Б. Е. Патон, Н. П. Тригуб, Д. А. Козлитин и др. – К. : Наук. думка, 1997. – 268 с.
4. Патон Б. Е. Электронно-лучевая плавка тугоплавких и высокорреакционных металлов / Б. Е. Патон, Н. П. Тригуб, С. В. Ахонин. – К. : Наук. думка, 2008. – 312 с.
5. International Company Antares / Бюллетень. – Киев, 2002. – 10 с.
6. Реконструкция электронно-лучевой установки ТКСО-15М / В. И. Костенко, П. А. Пап, А. Н. Калинюк и др. // Современная электрометаллургия. – 2007. – № 3. – С. 24–25.
7. Удрис Я. Я. Электронная пушка высоковольтного тлеющего разряда (ВТР) как стабильный источник нагрева при повышенном газовыделении / Я. Я. Удрис, В. А. Чернов // Спец. Электрометаллургия. – 1981. – Вып. 46. – С. 73–79.
8. Electron Beam Melting Titanium Sponge Using High-Voltage Glow Discharge Guns / A. L. Tikhonovsii, N. K. Laschuk, A. A. Tur, A. V. Tunik, I. K. Geiko // Advances in Spec. Electrometallurgy. – 1993. – № 10. – P. 70–73.
9. Мельник І. В. Теоретичні та експериментальні основи проектування технологічних газорозрядних джерел електронів : автореф. дис. ... д-ра техн. наук / І. В. Мельник. – Київ, 2008. – 39 с.
10. Кондратий Н. П. Перспективные направления деятельности ООО «КБ ВМО» в области электронно-лучевой металлургии / Н. П. Кондратий, В. Н. Васюра // Титан. – 2006. – № 1 (18). – С. 29–30.
11. Электронно-лучевая плавка в литейном производстве / С. В. Ладохин, Н. И. Левицкий, В. Б. Чернявский и др. – Киев : Сталь, 2007. – 626 с.
12. Вахрушева В. С. Формування структури та властивостей сталі і сплавів при виготовленні труб для ядерних енергетичних установок : автореф. дис. д-ра техн. наук / В. С. Вахрушева. – Дніпропетровськ, 2003. – 36 с.
13. Ковальчук Д. В. Электронно-лучевой переплав титана – пути развития / Д. В. Ковальчук, Н. П. Кондратий // Литье и металлургия. – 2008. – № 3 (48). – С. 275–282.
14. Ладохин С. В. Перспективы применения электронно-лучевой плавки для получения сплавов циркония в Украине / С. В. Ладохин, В. С. Вахрушева // Современная электрометаллургия. – 2008. – № 4. – С. 22–27.
15. Современное состояние и перспективы развития производства циркония и его сплавов и изделий из них / А. К. Шиков, А. Д. Никулин, А. В. Никулина и др. // Физика и химия обработки материалов. – 2001. – № 6. – С. 5–14.