

С. В. Ладохин, д-р техн. наук, проф., гл. науч. сотр.,

e-mail: e_luch@ptima.kiev.ua

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

К ВОПРОСУ О СОСТОЯНИИ ЛИТЕЙНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ТИТАНА В УКРАИНЕ

Выполнен сравнительный анализ состояния производства титана в России и Украине. Рассмотрены пути усовершенствования технологии и модернизации оборудования для получения многокомпонентных титановых сплавов для отечественного литейного производства.

Ключевые слова: титан, сплавы, электронно-лучевая плавка, вакуумно-дуговая плавка, литье, установка, электронно-лучевая пушка, гарнисажный тигель.

В газете «Зеркало недели» (№ 17 от 12 мая 2018 г.) была опубликована статья Б. Соболева «Стокгольмский синдром украинского титана», в которой дана негативная оценка состояния титановой отрасли в Украине. Неудовлетворительное состояние этой отрасли обусловлено, по мнению автора, ошибочными отношениями с Россией относительно проблемы производства титана. Б. Соболев указывает на целесообразность создания собственного замкнутого цикла производства титановой продукции, включая получение слитков, проката, изделий кузнечно-прессовой и механической обработки, но не затрагивает вопросов, связанных с получением титанового литья, являющегося составной частью такой продукции. Это подтолкнуло автора провести сравнительный анализ состояния металлургического и литейного производства титана в России и Украине и дать оценку работам по литью титана в нашей стране за последнее время.

Говоря о России, следует иметь в виду, что в настоящее время эта страна является крупнейшим в мире производителем титанового проката – до 30 тыс. т. в год и более. При этом, как и во всех других странах – производителях титана, это производство основано на переплаве титановой губки, получаемой методом Кролла, в слитки с использованием вакуумно-дуговой плавки (ВДП). Б. Соболев обращает внимание на то, что основной производитель титановых слитков корпорация «ВСМПО-Ависма», по мнению ее директора М. Воеводина, благодаря освоению производства готовых кузнечно-прессовых и механически обрабатываемых изделий из титана, превращается из металлургического в машиностроительное предприятие.

Однако такое предприятие не может считаться в полном смысле машиностроительным, поскольку на нем отсутствует литейное производство, являющееся основой заготовительной базы машиностроительного предприятия. В России этот недостаток компенсируется наличием специализированных мощных литейных предприятий, таких как ОАО «Балашихинский литейно-механический завод» и ОАО «Зеленодольский завод им. А. М. Горького», способных производить широкую номенклатуру титанового литья с максимальной массой отливок до 2,5 т. Получение расплава титана для литья также осуществляется за счет использования ВДП, в данном случае гарнисажной (ВДГП).

В отличие от России в, нашей стране титановые слитки получают с использованием электронно-лучевой плавки (ЭЛП). В настоящее время в Киеве функционируют три предприятия, производящие титановые слитки – ООО «МК Антарес» (~ 5 тыс. т. слитков в год), НПЦ «Титан» ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины (~ 3 тыс. т.), ООО «Стратегия БМ» (до одной тыс. т.). Использование электронно-лучевой плавки, первоначально обусловленное отсутствием в стране технологии ВДП титана, в

дальнейшем оказалось принципиально важным, поскольку ЭЛП, уступая ВДП по некоторым технико-экономическим показателям, является более эффективной технологией с точки зрения рафинирования металла. Другое важное преимущество ЭЛП перед ВДП состоит в возможности практически полной переработки отходов титана (скрапа, стружки, обрезки и др.), что для титанового производства имеет большое значение, учитывая специфику образования таких отходов. Именно стремлением обеспечить переработку отходов объясняется использование ЭЛП в странах, имеющих титановое производство. Отметим, что хотя работам по ЭЛП титана уделяется достаточно серьезное внимание во многих странах, лидерство в этом вопросе занимает наша страна, в которой освоено производство слитков как из отходов, так и из губки. По вопросам ЭЛП титана и титановых сплавов публикуется большое количество статей, но в целом состояние научно-исследовательских и технологических разработок в этой области систематизировано и обобщено в известных монографиях украинских специалистов [1–3].

К сожалению, в отличие от ЭЛП с производством слитков, проблеме титанового литья должного внимания в Украине не уделялось. В настоящее время такое литье в ограниченном объеме производится только на ОАО «Мотор Сич» (г. Запорожье), а в виде опытных партий – во ФТИМС НАН Украины и на ГП «Цирконий» (г. Каменское), на котором основное внимание традиционно уделялось литью циркония. Отметим, что на ОАО «Мотор Сич» получение титанового литья осуществляется по технологии, которая применяется в России, то есть с выплавкой сплавов в вакуумно-дуговых литейных (гарнисажных) печах. В отличие от этого, ФТИМС НАН Украины и ГП «Цирконий» титановое литье производят с использованием электронно-лучевой гарнисажной плавки (ЭЛГП) с электромагнитным перемешиванием расплава (ЭМП).

Технология ЭЛГП-ЭМП является отечественной разработкой. Работа в этом направлении проводилась ФТИМС НАН Украины специально для плавки и литья тугоплавких металлов и сплавов, в первую очередь, титановых. Состояние исследований и разработок по ЭЛГП-ЭМП за период до 2005 г. систематизировано и обобщено в монографии [4].

Целью настоящей статьи является рассмотрение полученных с указанного времени результатов по плавке и литью многокомпонентных сложнолегированных титановых сплавов, представляющих наибольший интерес для машиностроения. Анализ проводится по вопросам, касающимся как собственно технологии выплавки сплавов, так и используемого для этого оборудования.

Усовершенствование технологии ЭЛГП-ЭМП. Хотя технологические особенности электронно-лучевой гарнисажной плавки с электромагнитным перемешиванием расплава тугоплавких металлов и сплавов, в том числе титановых, достаточно подробно рассмотрены в работе [4], в ней применительно к выплавке многокомпонентных сплавов не в полной мере освещены вопросы подготовки шихтовых материалов к плавке, завалки (загрузки) их в тигель и введения в сплав легирующих элементов с высокой упругостью пара, которые при ЭЛГП-ЭМП существенно отличаются от применяемых, например, при вакуумно-дуговой или плазменной плавках.

Что касается подготовки шихтовых материалов, то это отличие состоит, в основном, в использовании так называемых «съемных гарнисажей». На рис. 1 приведены фотографии нескольких таких съемных гарнисажей из разных титановых сплавов для тиглей, как со сливным носком, так и с донным сливом.

Съемные гарнисажи представляют собой формируемые из расплава выплавляемого сплава оболочки, затвердевающие на стенках и днище тигля, благодаря интенсивному охлаждению расплава. Применение съемных гарнисажей оказалось особенно эффективным средством обеспечения более стабильного состава именно сложнолегированных сплавов, в том числе получаемых с использованием отходов производства [5].

Завалка шихты в тигель является технологической операцией, которая оказывает

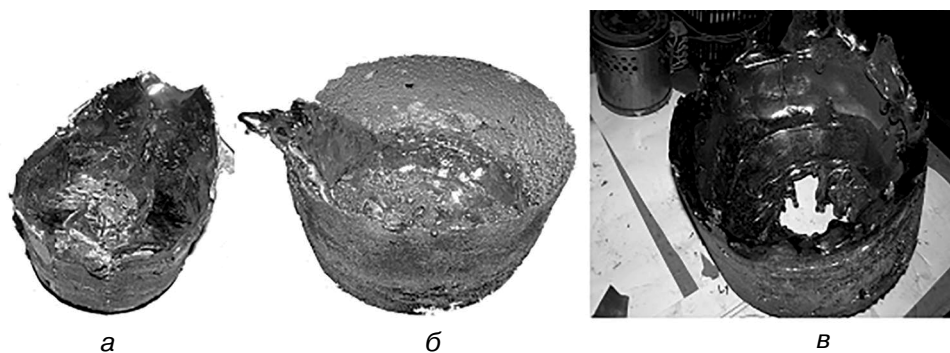


Рис. 1. Съемные гарнисажи: а – сплав ВТ20, тигель диаметром 135 мм со сливным носком; б – сплав ВТ5, тигель диаметром 260 мм со сливным носком; в – сплав ВТ1-0, тигель диаметром 285 мм со сливным отверстием в днище

влияние на проведение последующего процесса плавки, хотя и менее заметное, чем, например, в случае индукционной плавки. При индукционной плавке плотность заполнения рабочего объема тигля должна составлять не менее 0,8, в то время для гарнисажной плавки эта характеристика может быть существенно меньшей. Относительно непосредственно заправки шихтовых материалов в тигель при ЭЛГМ-ЭМП можно отметить, что на практике применяются различные ее варианты. Возможные схемы укладки материалов приведены на рис. 2.

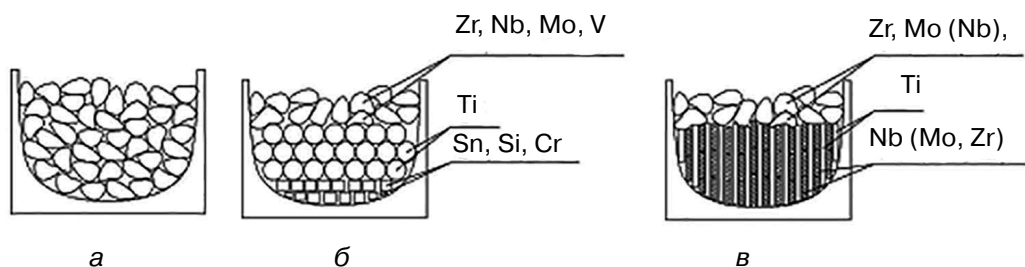


Рис. 2. Схемы укладки шихтовых материалов в тигле (объяснения см. в тексте)

Наиболее простым и, как представляется, логичным является вариант, при котором обеспечивается равномерное смешение отдельных составляющих компонентов шихты, прошедших предварительную очистку и дробление на фракции, удобные для смешения (рис. 2, а). Такой подход использовался с самого начала развития технологии ЭЛГП-ЭМП и является общепризнанным, широко используемым также в практике получения слитков титановых сплавов в металлургических электронно-лучевых установках [2]. Недостатком рассматриваемой схемы является необходимость ввода в шихту избыточного количества легкоиспаряющихся легирующих элементов для компенсации их потерь с целью обеспечения попадания в заданный состав. Описанный вариант шихтовки был использован при выплавке ряда серийных титановых сплавов, достаточно подробно рассмотренных в [4]. В качестве примера в табл. 1 приведены результаты изучения свойств сплавов ВТ6, ВТ20, ВТ3-1 и ВТ23, целью проведения которых было получение сравнительных данных о механических свойствах сплавов электронно-лучевой выплавки и деформированных сплавов ВДП.

Плавки проводили в тигле диаметром 295 мм с комбинированной донно-боковой системой ЭМП, обогрев осуществляли термокатодной пушкой. В качестве шихты использовали отходы литейного производства с добавлением (при необходимости) стружки этих же сплавов, что позволило исключить необходимость подшихтовки легирующими элементами, в том числе алюминием. Условия проведения плавки были такими: максимальная мощность электронно-лучевого нагрева – 70 кВт, общая

Таблица 1

Механические свойства титановых сплавов различными методами выплавки

Сплав	Металл	Свойства					
		σ_s , МПа	σ_{02} , МПа	δ , %	Ψ , %	KCU, кДж/м	HB, МПа
BT6	ЭЛГП	960	880	8	18	350	–
	ВДП	850–1070	–	6	20	300	–
BT20	ЭЛГП	980–1030	850–870	8–11	15–24	410–480	3100–3300
	ВДП	1000–1100	–	10–13	20–36	–	–
BT3-1	ЭЛГП	1080–1100	880–890	7–15	12–24	340–360	3300–3520
	ВДП	1000–1200	–	10	30	300	2690–3630
BT23	ЭЛГП	1130–1150	820–870	3–7	6–12	250–260	3500–3700
	ВДП	1100	1000	14	–	–	–

продолжительность плавки – 20–28 мин, давление остаточных газов в плавильной камере – 0,013–0,13 Па, диаметр фокального пятна – 20–25 мм, продолжительность электромагнитного перемешивания – 12–15 мин. Масса сливаемого расплава составляла 4,2–4,6 кг. Расплав сливали в металлические формы с получением цилиндрических заготовок диаметром 10–50 мм. Образцы для изучения свойств изготавливали из центральной части заготовок. Металл ВДП представлял собой прутки.

Полученные данные свидетельствуют, что свойства сплавов электронно-лучевой выплавки в литом состоянии не уступают свойствам деформированного металла ВДП (при отсутствии литейных дефектов).

Все последующие плавки проводили в тигле диаметром 260 мм с боковой системой ЭМП, обогрев осуществляли термокатодной пушкой. Условия проведения плавки были следующими: максимальная мощность электронно-лучевого нагрева – 70–90 кВт, продолжительность плавки – 20–30 мин., давление остаточных газов в плавильной камере – 0,13–0,65 Па, продолжительность электромагнитного перемешивания – 12–18 мин. Использованные методы шихтовки позволяли обеспечивать достаточно жесткий нагрев на начальной стадии процесса, а ввод алюминия в расплав проводили за 2–3 мин. до его слива из тигля. Слив расплава проводили в графитовую форму диаметром 65 мм и высотой 400 мм. Масса сливаемого расплава – 6–8 кг.

В практике ЭЛГП последнего времени обычным является получение сложнолегированных сплавов различного состава, содержащих несколько тугоплавких элементов (ниобий, молибден, цирконий, ванадий) и несколько сравнительно легкоплавких (кремний, олово, железо). Для выплавки таких сплавов оказалось целесообразным размещать легкоплавкие шихтовые материалы на дне съемного гарнисажа, а тугоплавкие – сверху основной титановой шихты, как это показано на рис. 2, б. При таком размещении компонентов тугоплавкие материалы сплавляются непосредственно электронным лучом и расплавляют размещенный ниже титан, а образующийся расплав титана вместе с тугоплавкими элементами затем расплавляет легкоплавкие материалы. Благодаря электромагнитному перемешиванию образующегося расплава, обеспечиваются как интенсификация растворения в нем отдельных компонентов шихты, так и равномерное распределение элементов в расплаве. Таким образом были получены сплавы ($\alpha+\beta$)-класса, состав которых приведен в табл. 2. В качестве шихты в плавках применяли титановую губку ТГ110, отходы листопрокатного производства титана BT1-0, алюминий марки А-99, йодидный цирконий, ниобий и молибден (в виде прессованных штабиков и листов толщиной 0,5–1,0 мм), олово (в виде прутков и дроби), кремний марки Кр-1, ванадий марки ВиМ, хром металлический Х99А.

В приведенных в табл. 2 данных обращает на себя внимание заметное отклонение содержания молибдена в сплаве Т1008 от рассчитанного. Это объясняется тем, что молибден был завален в тигель в виде достаточно массивных кусков, которые не успели полностью расплавиться до расплавления титана, в результате чего молибден осел в донные слои ванны. Это указывает на необходимость вводить такие

Таблица 2

Химический состав титановых сплавов

Сплав	Содержание элементов, %мас.						
	Al	Sn	Zr	Mo	Nb	Si	V
Ti100	6,0/7,1	2,7/2,66	4,0/4,6	0,4/0,37	–	0,4/0,37	–
IM1834	5,5/6,06	4,0/3,3	4,0/4,7	0,4/0,12	1,0/1,02	0,35/0,41	–
Ti1008	6,06/6,7	3,5/3,46	6,0/6,8	4,0/0,47	5,5/4,98	0,35/0,57	2,0/2,1

Примечание: Ti–основа, числитель – рассчитанное значение, знаменатель – полученное содержание

тугоплавкие и высокоплотные материалы в шихту возможно в мелком виде для предупреждения их оседания.

Более сложным для выплавки многокомпонентного сплава представляется случай, если содержание какого-либо тугоплавкого элемента существенно превышает обычное сравнительно небольшое значение, характерное для подобных сплавов. Примером этого являются так называемые «орто»-сплавы, представляющие собой интерметаллиды типа γ -TiAl с высоким содержанием ниобия [6]. В этом случае шихтовку целесообразно осуществлять таким образом, чтобы в съемном гарнисаже основные компоненты (здесь – титан и ниобий) размещались рядом друг с другом, а не послойно. Пример такого размещения шихтовых материалов приведен на рис. 2, в. При плавке подобной шихты следует обеспечивать расплавление, в первую очередь, более тугоплавкого компонента с дальнейшим обогащением расплава менее тугоплавким. При этом, другие легирующие элементы следует размещать так, как это описано в предыдущем варианте, а алюминий вводить в конце плавки в уже сформированный расплав. Была проведена выплавка таких композиций «орто»-сплавов: 1 – Ti–14,7 Al–7,6 Nb–1,2 Mo–1,4 Zr; 2 – Ti–14,8 Al–21,9 Nb–1,9 Mo–2,1 Zr; 3 – Ti–13,6 Al–24,4 Nb–1,9 Mo–2,1 Zr; 4 – Ti–14,1 Al–27,9 Nb–1,6 Mo–1,5 Zr. В табл. 3 приведены основные показатели выплавки этих сплавов.

Таблица 3

Основные показатели выплавки «орто»-сплавов

Сплав	Шихта, кг/%					Масса, кг		Размещение
	Ti	Al	Nb	Mo	Zr	шихты	слива	
1	5,4/60	1,35/15	1,98/22	0,15/1,66	0,13/1,44	9,01	5,58	Nb поверх Ti
2	5,3/54	1,7/17,5	2,45/25	0,15/1,5	0,16/1,6	9,7	9,1	Nb рядом с Ti
3	6,4/57	1,9/17	2,47/22	0,25/2,2	0,23/2,1	11,3	10,1	Nb рядом с Ti
4	3,32/51	1,1/17	1,85/28,5	0,11/1,7	0,12/1,8	6,5	5,62	Ti-пластины, Nb-лист

Приведенное в табл. 3 указание размещения ниобия и титана относительно друг друга позволяет дать оценку целесообразности использования того или иного варианта. Размещение более тугоплавкого ниобия сверху титана (сплав 1) приводит к расплавлению титана до того, как расплавится ниобий. В результате ниобий оседает на дно гарнисажа и в ходе последующей плавки наблюдается дополнительное испарение титана. Размещение титана и циркония рядом друг с другом (сплавы 2 и 3) обеспечивает более стабильное формирование сплава, причем желательно первым расплавлять ниобий с постепенным обогащением расплава титаном. Однако, наи-

более приемлемым вариантом с точки зрения проведения плавки и обеспечения необходимого состава оказалось формирование шихты из титановых пластин – отходов прокатного производства толщиной 3–6 мм и листов ниобия толщиной 1–2 мм. Указанная разница в толщинах материалов способствует их одновременному плавлению при практически одинаковой мощности электронного луча. Что касается других компонентов шихты, а именно циркония и молибдена, то их целесообразно размещать поверх шихты из титана и ниобия. Алюминий удобно вводить в расплав на заключительной стадии плавки.

Указанный выше технологический прием ввода алюминия не в шихту, а в уже сформированный в тигле расплав, является оригинальной разработкой, которая была проведена специально применительно к выплавке сложнолегированного сплава [5]. Использование предлагаемого способа целесообразно, если парциальное давление пара легирующего элемента выше аналогичной характеристики металла-основы. На рис. 3 показаны два возможных варианта такого ввода – путем сплавления электронным лучом с поступлением в расплав в тигле в виде капель и путем погружения в расплав в виде кускового материала. Если легирующий элемент склонен к взрывному испарению при попадании на него электронного луча (таким, например, является хром), то введение его в расплав желательно проводить в оболочке из металла-основы либо из более тугоплавкого легирующего элемента.

Отметим, что ввод легирующих элементов в расплав успешно использовался не

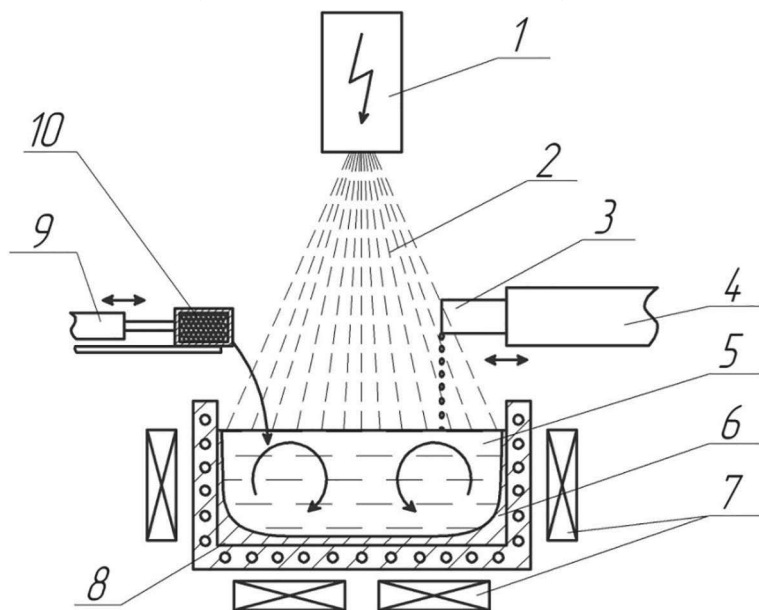


Рис. 3. Способ выплавки сложнолегированного сплава в гарнисажном тигле с электромагнитным перемешиванием расплава: 1 – электронно-лучевая пушка; 2 – электронный луч; 3 – легирующий элемент; 4 – устройство подачи легирующего элемента; 5 – расплав; 6 – гарнисаж; 7 – система ЭМП тигля; 8 – тигель; 9 – устройство подачи легирующего элемента; 10 – легирующий элемент в капсуле металла-основы

только при выплавке титановых сплавов, но и при гарнисажной плавке сложнолегированных циркониевых сплавов.

Модернизация оборудования для ЭЛГП-ЭМП. Несмотря на то, что электронно-лучевая литейная технология рассматривается как перспективное направление получения металлопродукции высокого качества, в том числе титанового литья, на практике эта технология пока не получила достаточно широкого применения. Наряду с указанными в статье Б. Соболева обстоятельствами, обусловленными негативно складывающимися с Россией отношениями в области титанового производства

в целом, это в значительной степени объясняется также высокой стоимостью, сложностью в эксплуатации и низкой производительностью оборудования для электронно-лучевой гарнисажной плавки. Действительно, сравнение с оборудованием для вакуумно-дуговой гарнисажной плавки, являющейся основой современной литейной технологии титана [7], свидетельствует, что данное оборудование по этим показателям заметно уступает.

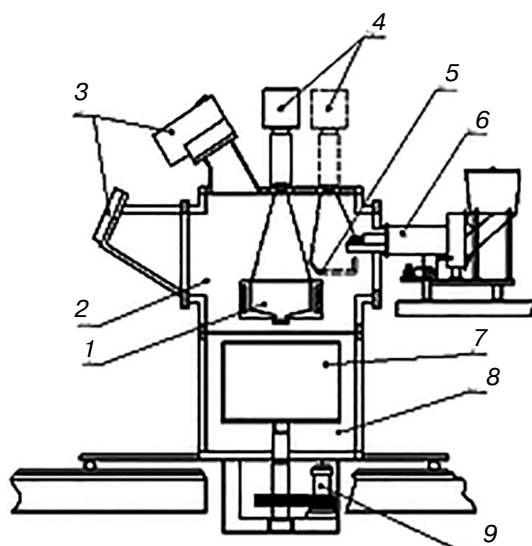
Когда говорят об оборудовании для ЭЛГП, прежде всего, имеют в виду собственно литейные плавильные агрегаты и их основные технологические элементы – плавильно-заливочные тигли и электронно-лучевые пушки. Относительно тиглей и пушек отметим, что предлагаемые в последнее время решения по усовершенствованию их конструктивного исполнения применительно к потребностям ЭЛГП рассмотрены в работах [8, 9]. Поэтому далее кратко рассматриваются только возможные пути усовершенствования собственно плавильных агрегатов.

Разрабатывавшиеся до последнего времени литейные электронно-лучевые плавильные агрегаты характеризовались оснащением высокопроизводительными высоковакуумными насосами, термокатодными электронно-лучевыми пушками и гарнисажными тиглями с системами электромагнитного перемешивания расплава (СЭМП), а также приемными литейными устройствами карусельного типа, обеспечивающими возможность проведения нескольких плавов без разгерметизации плавильного агрегата [4]. В последние годы стала проявляться тенденция перехода к разработке вместо громоздких высоковакуумных агрегатов с термокатодными электронно-лучевыми пушками литейных установок, оснащенных значительно более дешевыми и более простыми в эксплуатации бустерными вакуумными насосами, обеспечивающими проведение плавки в среднем вакууме при осуществлении обогрева пушками высоковольтного тлеющего разряда (ВТР), которые не требуют использования вакуумных насосов. Примером такой установки является приведенные на рис. 4 схема и общие виды агрегата и гарнисажного тигля с СЭМП, которые были разработаны ООО КБ ВМО для фирмы «Yuanda Chengli» (Китай) по исходным данным ФТИМС НАН Украины. Установка предназначена для переработки отходов технического титана с получением центробежнолитых заготовок. Разработанный для этой цели тигель позволяет выплавлять до 50 кг расплава со сливом через отверстие в днище, причем указанная масса расплава в настоящее время является максимально известной для ЭЛГП титана.

Характерными чертами новых установок для плавки титана являются стремление использовать промежуточные емкости, позволяющие удалять из расплава титана неметаллические включения, и несколько литейных камер, расширяющих технологические возможности. Отметим, что в рассмотренной выше установке также предусматривалось использование промежуточной емкости, но на данном этапе заказчики решили пока это устройство не использовать. На рис. 5 приведена схема электронно-лучевой литейной установки, особенностью которой является наличие промежуточной емкости и двух камер литейных форм [10]. Разработка подобной установки целесообразна с точки зрения получения сложнолегированных и простых по составу сплавов в одном агрегате. Возможность решения этой задачи появилась благодаря созданию гарнисажного тигля с СЭМП, который позволяет проводить выпуск расплава как через сливное отверстие в днище, так и через сливной носок путем наклона тигля. Следует также подчеркнуть, что это первая литейная электронно-лучевая установка, которая разрабатывалась с учетом использования промежуточной емкости, поскольку с самого начала предназначалась для проведения переплава губки.

Возможность использования гарнисажного тигля с СЭМП для получения как литого изделия, так и слитка, позволила предложить электронно-лучевую установку, схема которой приведена на рис. 6 [11].

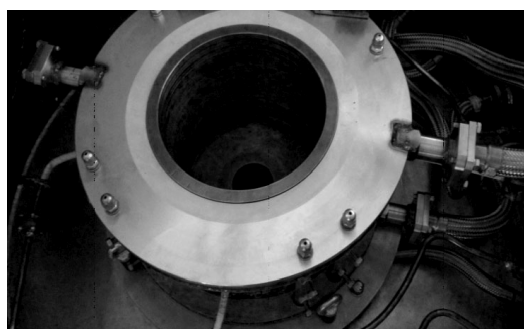
Особенностью конструктивного исполнения установки является наличие отдельных камер литейных форм и слитка, а также ее оснащение пушками для независимого обогрева тигля и кристаллизатора. Отметим, что создание такой установки в настоящее время представляет интерес не столько для плавки титана, сколько



а



б



в

Рис. 4. Схема (а) и общий вид установки (б) и плавно-заливочного тигля (в) фирмы «Yuanda Chengli» (Китай): 1 – тигель; 2 – плавильная камера; 3 – смотровые системы; 4 – пушки ВТР; 5 – промежуточная емкость; 6 – устройство подачи шихты; 7 – блок литейных форм; 8 – камера литейных форм; 9 – центробежное устройство

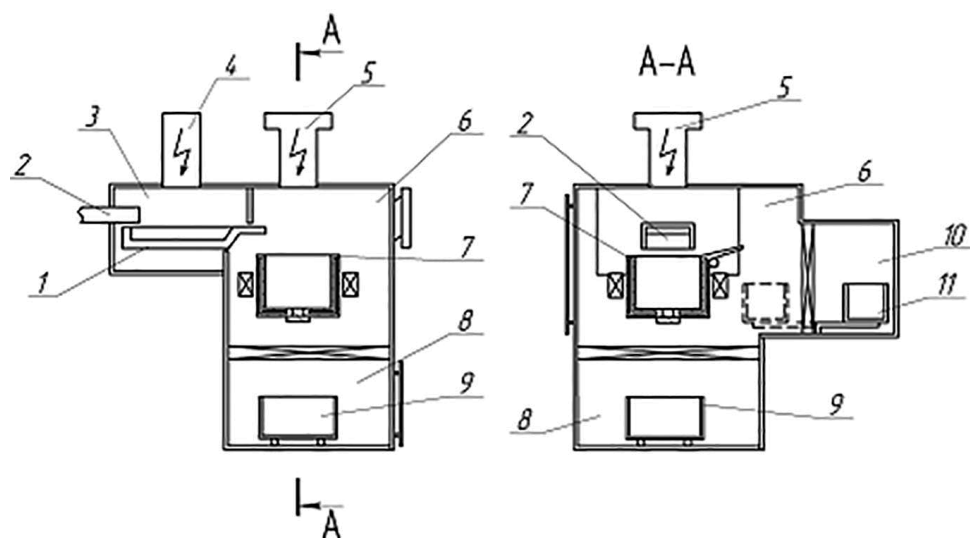


Рис. 5. Схема электронно-лучевой литейной установки с двумя камерами литейных форм: 1 – промежуточная емкость; 2 – устройство завалки шихты; 3 – зона предварительного рафинирования; 4 – пушка ВТР; 5 – термодатная пушка; 6 – зона окончательного рафинирования; 7 – гарнисажный тигель с системой ЭМП; 8 – камера литейной формы; 9 – литейная форма; 10 – камера литейной формы; 11 – литейная форма

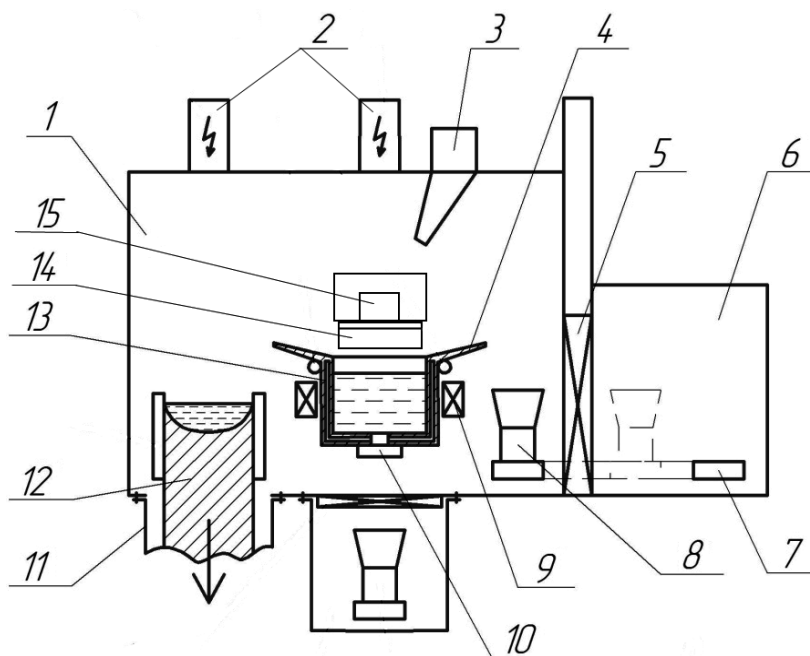


Рис. 6. Схема электронно-лучевой установки для получения слитков и литых изделий: 1 – плавильная камера; 2 – электронно-лучевые пушки; 3 – устройство ввода легирующих элементов; 4 – сливной носок; 5 – вакуумный затвор; 6 – камера литейных форм; 7 – механизм перемещения формы; 8 – литейная форма; 9 – система электромагнитного перемешивания; 10 – крышка сливного отверстия; 11 – камера слитка; 12 – слиток; 13 – гарнисажный тигель; 14 – промежуточная емкость; 15 – устройство подачи шихты

для плавки циркония, поскольку относительно невысокая потребность в изделиях из циркония для нужд отечественного ядерно-топливного цикла (ЯТЦ) может быть удовлетворена одним плавильно-заливочным агрегатом, то есть отпадает необходимость в создании отдельных установок для получения слитка и литых заготовок.

Список литературы

1. Электронно-лучевая плавка / Б. Е. Патон, Н. П. Тригуб, Д. А. Козлитин и др. – К.: Наук. думка, 1997. – 266 с.
2. Электронно-лучевая плавка титана / Б. Е. Патон, Н. П. Тригуб, С.В. Ахонин, Г. В. Жук. – К.: Наук. думка, 2006. – 246 с.
3. Патон Б. Е., Тригуб Н. П., Ахонин С. В. Электронно-лучевая плавка тугоплавких и высоко-реакционных металлов. – К.: Наук. думка, 2008. – 312 с.
4. Электронно-лучевая плавка в литейном производстве / Под ред. С. В. Ладохина. – К.: Сталь, 2007. – 626 с.
5. Особенности получения титановых сплавов из отходов производства в электронно-лучевой литейной установке / Н. И. Левицкий, Е. А. Матвиец, Т. В. Лапшук и др. // Процессы литья. – 2013. – № 5. – С. 55–59.
6. Получение сложнoleгированных титановых сплавов методом электронно-лучевой гарни-сажной плавки / Н. И. Левицкий, Е. А. Матвиец, Т. В. Лапшук и др. // Металл и литье Украи-ны. – 2012. – № 4. – С. 6–9.
7. Титановые сплавы. Плавка и литье титановых сплавов / А.Л. Андреев, Н.Ф. Аношкин, К.М. Борзецовская и др. – М.: Металлургия, 1978. – 384 с.
8. Выбор конструкции гарнисажных тиглей повышенной емкости для электронно-лучевой плавки титана / А. И. Глухенький, Ю. М. Гореславец, Ю. М. Бондар и др. // Процессы литья. – 2017. – № 4. – С. 58–65.
9. Ладохин С. В. Пути решения проблемы циркония в программе создания ядерно-топливного цикла в Украине // Процессы литья. – 2017. – № 5. – С. 62–71.
10. Ладохин С. В. Электронно-лучевая установка многоцелевого назначения // Металл и литье Украины. – 2014. – № 10. – С. 3–7.

11. Патент України на корисну модель № 108478 «Електронно-променева установка для отримання зливоків і литих виробів», МПК C21C5/56. ґ. С.В. Ладокін, Т.В. Лапшук, Ґ.О. Дрозд. – Опубл. 25.07.2016, Бюл. № 14 .

Поступила 28.01.2019

References

1. Paton, B. E., Trigub, N. P., Kozlitin, D. A. et al. (1997) Electron beam melting. K.: Nauk. Dumka, 266 p. [in Russian].
2. Paton, B.E., Trigub, N.P., Akhonin, S.V., Zhuk, G.V. (2006) Electron beam melting of titanium. K.: Nauk. Dumka, 246 p. [in Russian].
3. Paton, B.E., Trigub, N.P., Akhonin, S.V. (2008) Electron beam melting of high temperature and high reactionary metals. K.: Nauk. Dumka, 312 p. [in Russian].
4. Ladokhin, S.V. (ed.) Electron beam melting in foundry. K.: Steel, 626 p. [in Russian].
5. Levitsky, N.S., Matviec, E.A., Lapshuk, T.V. et al. (2013) Peculiarity of titanium alloys melting in electron beam installation with the industrial waste use. Protsessy litya, no. 5, pp. 55–59 [in Russian].
6. Levitsky, N.S., Matviec, E.A., Lapshuk, T.V. et al. (2012) The multicomponent titanium alloys production by electron beam skull melting method. Metall litye Ukrainy, no. 4, pp. 6–9 [in Russian].
7. Andreev, A.L., Anoshkin, N.F., Borzecovskya, K.M. et al. (1978) Titanium alloys melting and casting of titanium alloys. Moscow: Metallurgia, 384 p. [in Russian].
8. Glukhenkiy, A.I., Goreslavec, U.V., Bondsar, U.M. et al. (2017) Design of skull crucibles of high capacity for electron beam melting of titanium. Protsessy litya, no. 4, pp. 58–65 [in Russian].
9. Ladokhin, S.V. (2017) The ways of zirconium problem decision in the program of nuclear fuel creation in Ukraine. Protsessy litya, no. 5, pp. 62–71 [in Russian].
10. Ladokhin, S.V. (2014) Electron beam installation of multi-purpose use. Metall i litye Ukrainy, no. 10, pp. 3–7 [in Russian].
11. Electron beam installation for ingots and cast parts production. PU № 108478, C21C5/56. Opubl. 25.07.2016. Buyl. № 14.

Received 28.01.2019

С. В. Ладокін, д-р техн.. наук, проф., гол. наук. співр., e-mail: e_luch@ptima.kiev.ua

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, Київ

ДО ПИТАННЯ ПРО СТАН ЛИВАРНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ТИТАНУ В УКРАЇНІ

Проведено порівняльний аналіз стану виробництва титану в Росії та Україні. Розглянуто шляхи вдосконалення технології та модернізації устаткування для одержання багатоконпонентних титанових сплавів для вітчизняного ливарного виробництва.

Ключові слова: титан, сплави, електронно-променева плавка, вакуумно-дугова плавка, литво, установка, електронно-променева гармата, гарнісажний тигель.

S. V. Ladokhin, Doctor of Engineering Sciences, Prof., Senior Researcher, e-mail: e_luch@ptima.kiev.ua

Physico-Technological Institute of Metals and Alloys NAS of Ukraine, Kyiv

ON THE PRESENT MODERN SITUATION WITH CASTING TECHNOLOGY OF TITANIUM IN UKRAINE

Brief review of the present situation in Russian and Ukrainian titanium production is fulfilled. The ways of technology improvement and equipment modernization for native multicomponent titanium alloys production are considered.

Keywords: titanium, alloy, electron-beam melting, vacuum-arc melting, casting, installation, electron-beam gun, skull crucible.