

УДК 621.745:669.295

**Н. И. Левицкий, Е. А. Матвиец, Т. В. Лапшук,  
М. М. Ворон, А.В. Рябинин**

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

## **ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ ИЗ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА В ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ЛИТЕЙНОЙ УСТАНОВКЕ**

*Приведены результаты исследований по выплавке титановых сплавов разных структурных классов из отходов производства. Показана принципиальная возможность получения качественных литых заготовок из сплавов заданного химического состава, определены условия реализации такой возможности.*

**Ключевые слова:** электронно-лучевая гарнисажная плавка, титановые сплавы, отходы производства, литая заготовка.

*Наведено результати досліджень з виплавки титанових сплавів різних структурних класів з відходів виробництва. Показано принципову можливість отримання якісних литих заготовок із сплавів заданого хімічного складу, визначено умови реалізації такої можливості.*

**Ключові слова:** електронно-променева гарнісажна плавка, титанові сплави, відходи виробництва, лита заготовка.

*The results of titanium alloys melting of different structural classes that produced with the use of waste are described. The principle possibility of the high-quality casting reception from the alloys of the set chemical composition is shown; the terms of realization of such possibility are definite.*

**Keywords:** electron-beam scull melting, titanium alloys, wastes of production, casting item.

**О**дним из преимуществ электронно-лучевой литейной технологии является возможность использования в качестве шихтовых материалов отходов производства и получения на их основе сплавов заданного химического состава. Необходимыми условиями для этого являются надежные данные химического состава

ва исходных (шихтовых) материалов. Задания, которые стоят перед той или иной плавкой, можно разделить на три группы:

- получение сплава, химический состав которого аналогичен исходной шихте;
- получение сплава, где основной шихтой служат губка и (или) так называемый технический титан марок ВТ1-1, ВТ1-0, ВТ1-00, а другие компоненты вводятся дополнительно;
- получение сплава (в том числе многокомпонентного), где материалами шихты служат отходы сплавов разных марок.

Для представителей всех трех групп общей является необходимость установления поведения компонентов в ходе плавки в зависимости от ее основных параметров (мощности нагрева, длительности выдержки и др.). При этом нужно различать изменение процентного содержания компонентов, находящихся в шихте, и тех, которые вводятся в ходе плавки. Это связано с различными условиями, при которых находятся данные компоненты: при наличии стадии сплавления (усвоения) в одном случае и отсутствии в другом их поведение может существенно отличаться.

К первой группе сплавов, которые не нуждаются в дополнительном легировании в ходе плавки и их получение ограничивается простым переплавом исходной шихты, относятся сплавы, включающие вольфрам, ванадий, молибден, цирконий, олово, ниобий, тантал, гафний, кремний и алюминий (до 3 %).

Вторую группу составляют практически как все известные промышленные сплавы, так и экспериментальные. Здесь основное задание заключается в выборе методов введения легирующих компонентов, которые бы гарантировали их усвоение в необходимой для данного сплава концентрации. Основным методом в этом случае является размещение более тугоплавких металлов (вольфрама, ванадия, ниобия, титана) по отношению к основной (титановой) шихте сверху ее, а более легкоплавких (кремния и олова) – под ней [1]. Относительно алюминия (более 3 %) и марганца (в любом количестве): их вводить наиболее рационально уже в готовую жидкометаллическую ванну на завершающей стадии плавки – за 2-3 мин до слива.

Несколько отдельно стоят сплавы  $\beta$ -класса и «орто»-сплавы, в которых содержание тугоплавких компонентов, в % (Mo – 11-33; Nb – 22-45; V – 10-16) значительно выше, чем у серийных и большинства экспериментальных сплавов. Размещение этих компонентов сверху титана, как это осуществлялось при выплавке сплавов со сравнительно небольшим их содержанием (до 5 %), в данном случае приводит к плавлению титана до того, как расплавились эти компоненты. Вследствие этого значительная нерасплавленная их часть оседает на дно гарнисажа, после чего последующий нагрев приводит лишь к дополнительному испарению титана. Решить задачу получения таких сплавов удалось размещением тугоплавкого компонента впритык с титаном, причем первым плавил именно тугоплавкий компонент с постепенным обогащением расплава титаном [2].

Третью группу, как и предыдущую, составляют сплавы от бинарных до многокомпонентных, которые получают путем переплава отходов разного марочного состава и в разных весовых соотношениях. Ограничивающим фактором для использования отходов в этом случае является присутствие в их составе элементов, содержание которых не предусмотрено в выплавляемом сплаве. Например, при выплавке сплава ВТ20 (5,5-7,0 Al; 0,8-2,5 V; 0,5-2,0 Mo; 1,5-2,5 Zr) кроме титановой губки и технического титана можно использовать отходы сплавов ВТ5 (4,5-6,2 Al), ПТ-3В (3,5-5,0 Al; 1,2-2,5 V), ПТ-7М (1,8-2,5 Al; 2,0-3,0 Zr), ВТ9 (5,8-7,0 Al; 2,8-3,0 Mo; 0,8-2,0 Zr). Относительно последнего, то здесь нужно учитывать наличие в его составе кремния (0,2-0,4 %), содержание которого в сплаве ВТ20 считается примесью и ограничивается (ГОСТ 19807-74) 0,15 %. Исключение попадания «нерегламентированного» компонента используется и при выборе гарнисажа, который

## Новые методы и прогрессивные технологии литья

является неотъемлемым элементом литейной технологии при сливе расплава путем поворота тигля. Выплавка разных сплавов в тигле с неизменным гарнисажем этому условию не отвечает.

Свидетельством этого служат результаты, полученные при выплавке сплава ВТ5 в гарнисаже, где предварительно выплавляли сплавы - интерметаллические соединения системы Ti-Al (табл. 1).

**Таблица 1. Выплавка сплава ВТ5**

Номер плавки	Шихта, кг/%мас.		Общая масса, кг	Слив, кг	Химический состав, %мас.					
	Ti	Al			Al	V	Fe	Zr	Si	Ti
T715	1,7/27,5	4,5/72,5	6,2	2,73	59,5	-	-	-	-	40,5
T716	1,76/36	3,13/64	4,9	5,0	32,0	-	-	-	-	68,0
T722	2,44/33,4	4,87/66,6	7,31	5,13	67,5	-	-	-	-	32,5
T723	2,98/39	4,66/61	7,64	5,77	43,5	-	-	-	-	56,5
T734	BT6 (без анализа)		3,75	3,03	15,8	2,2	0,44	0,3	0,18	81,08
T735	BT5 (без анализа)		3,5	2,78	11,1	1,08	0,37	0,49	0,08	86,88
T736	без шихтовки		-	2,3	17,8	1,31	0,3	0,4	0,09	80,1

Если оседание в гарнисаже такого элемента, как вольфрам (в плавках сплавов Ti-Al-V) выглядит закономерно в результате большего его удельного веса по сравнению с металлом-основой, то оседание алюминия в плавках сплавов Ti-Al нуждается в объяснении, которое дает схема выплавки сплава в гарнисажном тигле (рисунок).

Идеальным, с точки зрения получения сплавов определенного состава, было бы полное расплавление загруженной шихты в сформированном в предыдущих плавках гарнисаже и получение заданной массы расплава исключительно из загруженной шихты, как это происходит, скажем, в керамических тиглях. Другими словами, гарнисаж после проведения плавки должен оставаться неизменным как по массе, так и химическому составу. Однако на практике достичь этого невозможно, поскольку

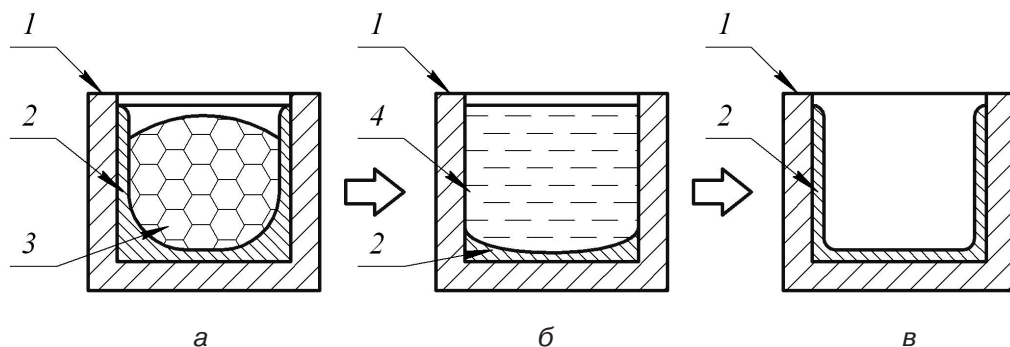


Схема выплавки сплавов в гарнисажном тигле: а – перед плавкой, б – накопление расплава, в – после слива расплава; 1 – тигель, 2 – гарнисаж, 3 – шихта, 4 – расплав

## Новые методы и прогрессивные технологии литья

во время плавки в результате кавитационных процессов, к тому же усиленных электромагнитным перемешиванием, стенки гарнисажа размываются (рисунок, б), и даже если после слива (рисунок, в) его масса и конфигурация не изменяются относительно этих параметров перед плавкой (рисунок, а), это еще не означает, что остается неизменным его состав.

Не менее показательными в этом смысле являются результаты, полученные при выплавке сплавов системы Ti-Al-Si-Zr. Добавка в одной из плавок незначительного количества бора (0,8 %) дала о себе знать даже после серии из десяти плавок сплавов этой системы уже без его добавки. Речь идет о наличии в образцах борида титана, что не предусматривалось в данных экспериментах.

Таким образом, так называемые «промывочные плавки» при переходе выплавки сплавов от одного состава к другому не гарантируют отсутствия в них «лишних» элементов. С целью предотвращения нежелательного эффекта единственно возможным является применение для выплавки сплавов определенного состава сменных гарнисажей. В этом случае отклонения от расчетного состава минимальные и,

**Таблица 2. Химический состав титановых сплавов**

Номер плавки	Сплав	$\Sigma O+N+C$ , %	Примечание
система Ti-Nb-Si			
110	Ti-12,5 Nb- 1,05 Si	0,19	1-й переплав
111	Ti-11,7 Nb-1,02 Si	0,22	-«-
112	Ti-10,2 Nb-1,05 Si	0,27	-«-
113	Ti-10,6 Nb-1,30 Si	0,17	2-й переплав
118	Ti-14,6 Nb-1,31 Si	0,15	-«-
120	Ti-12,6 Nb-1,25 Si	0,23	-«-
система Ti-Al-Si-Zr			
214	Ti-6,4 Al-1,76 Si-3,82 Zr	0,22	1-й переплав
215	Ti-6,7 Al-1,70 Si-3,82 Zr	0,16	-«-
216	Ti-8,04 Al-1,71 Si-3,45 Zr	0,16	-«-
243	Ti-6,04 Al-1,37 Si-2,03 Zr	0,20	2-й переплав
244	Ti-4,7 Al-0,72 Si-2,17 Zr	0,17	-«-
система Ti-Al-Sn-Zr-Nb-Mo-V-Si			
2T80	Ti-6,23 Al-2,15 Sn-5,24 Zr-3,15 Nb-5,0 Mo-0,93 Si	0,19	1-й переплав
2T75	Ti-5,43 Al-2,64 Sn-5,30 Zr-0,41 Mo-0,51 Si	0,16	-«-
2T106	Ti-6,58 Al-2,5 Sn-4,6 Zr-2,7 Nb-4,5 Mo-1,2 Si	0,28	2-й переплав
2T79	Ti-6,58 Al-3,13 Sn-6,96 Zr-5,54 Nb-4,95 Mo-2,3 V-0,2 Si	0,25	-«-

как правило, не выходят за пределы интервала концентраций, предусмотренного нормативными документами.

При выплавке сплавов из отходов отдельным вопросом стояла оценка чистоты сплавов по примесям внедрения (кислород, азот, углерод), в частности, при повторных переплавах как средства рационального использования металла. Поскольку основной исходной шихтой служили кондиционные отходы сплава ВТ1-0 (листовая и трубная обрезь), в которых сумма этих примесей не превышала 0,31 % (ГОСТ 19807-91), оценка сводилась к поведению этих элементов при переплаве в вакууме 0,66-6,66 Па, который ниже вакуума, рекомендованного для электронно-лучевой плавки (0,013-0,133 Па), но из экономических соображений и с точки зрения обеспечения необходимой чистоты металла признан оптимальным при электродуговой плавке [3]. В табл. 2 приведены результаты химического анализа слитков сплавов трех систем, полученных сливом в графитовую форму  $\varnothing$  65 и длиной 400 мм.

Как видно из таблицы, повторный переплав практически не влияет на суммарное количество этих элементов в сплавах относительно малолегированных (Ti-Nb-Si и Ti-Al-Si-Zr), но его влияние явно прослеживается в случае многокомпонентных сплавов. Причиной этого может быть как наличие более сложных связей компонентов в расплаве, так и свойства самого расплава с точки зрения его действия на графитовую форму. Как одно, так и другое предположение нуждаются в дополнительных исследованиях, однако, в любом случае суммарная концентрация этих элементов не превышает регламентированную ГОСТом, что свидетельствует о возможности использования технологии для получения сплавов титана из отходов производства.



### **Список литературы**

1. Электронно-лучевая плавка в литейном производстве / Под. ред С. В. Ладохина. – Киев: Сталь, 2007. – 306 с.
2. Получение сложнелегированных титановых сплавов методом электронно-лучевой гарнисажной плавки / Н. И. Левицкий, Е. А. Матвиец, Т. В. Лапшук и др. // Металл и литье Украины. – 2012. – № 4. – С. 6-9.
3. Титановые сплавы. Производство фасонных отливок из титановых сплавов / Е. Л. Бибииков, С. Г. Глазунов, А. А. Неуструев и др. – М.: Металлургия, 1983. – 255 с.

Поступила 17.07.2013