

Особенности выплавки титановых сплавов в электронно-лучевой гарнисажной установке в зависимости от вида шихтовых материалов*

Проведены исследования по выплавке титановых сплавов из шихтовых материалов разного вида (кусковые и листовые отходы, стружка и губка). Показана необходимость учета этого фактора при выборе режима плавки, в частности степени концентрированности электронного пучка и темпа поднятия мощности на начальной стадии плавки.

Ключевые слова: интерметаллиды, система Ti-Al, электронно-лучевая плавка, режимы плавки, шихтовые материалы

Одно из преимуществ выплавки титановых сплавов в электронно-лучевых гарнисажных установках – возможность использования шихтовых материалов разного вида без специальной их подготовки как, например, изготовление электродов в случае вакуумно-дуговой плавки или расходных заготовок для капельного переплава при электронно-лучевой плавке с промежуточной емкостью.

Разработка рациональной технологии электронно-лучевой гарнисажной плавки (ЭЛГП) предусматривает оптимальный набор основных параметров процесса, из которых определяющими являются мощность электронного пучка и время выдержки при заданной мощности. Поэтому режимы плавки во всех известных работах по этому вопросу представляют в виде зависимости мощности электронно-лучевого нагрева P от времени $\tau_{пл}$. При выплавке титановых сплавов характерным является ступенчатый режим регулирования мощности, который заключается в периодическом ее повышении с определенной временной выдержкой на каждой ступеньке [1]. Это обусловлено интенсивным газовыделением из шихты по мере ее прогрева и плавления, повышением давления остаточных газов в плавильной камере и межэлектродном пространстве электронной пушки, что приводит к ее отключению. Другими словами, мощность нагрева и длительность выдержки на каждой из ступенек являются производными от уровня вакуума в плавильной камере, что, в свою очередь, зависит и от вида материалов шихты.

Относительно еще одного параметра электронно-лучевой плавки – диаметра фокального пятна, то есть степени концентрированности электронного нагрева, то он чаще всего рассматривается как эффективное средство рафинирования расплава [2] и возможный фактор влияния на формирование структуры и свойств литого материала [3].

В данной работе представлены результаты исследований связи диаметра фокального пятна с технико-экономическими показателями плавки при выплавке титановых сплавов из разной шихты.

В качестве шихтовых материалов использовали кусковые, листовые отходы и прессованную стружку технического титана ВТ1-0 и титановую губку ТГ-110 разных фракций. Опытные плавки проводили в электронно-лучевой установке ЭЛЛУ-4, смонтированной на базе серийной печи ИСВ-004, в гарнисажных тиглях ТП20 ($\varnothing$ 280 мм, h 220 мм) и ТП23 ($\varnothing$ 75 мм, h 70 мм) [4]. Слив расплава осуществляли путем поворота тигля на 90° в первом случае в графитовую форму $\varnothing$ 65 мм, во втором – форму для получения отливки «колокольчик». Из всех возможных диаметров фокального пятна выбрали для первого тигля $\varnothing$ 40 и 120 мм, для второго – 20 и 40 мм как такие, которые обеспечивают достаточно плавный процесс плавки и приемлемую длительность ее по сравнению с предыдущими экспериментами. Заметим, что речь идет о стадии предварительного расплавления и наведения поверхностной металлической ванны к моменту включения электромагнитного перемешивания (ЭМП) расплава, в результате которого пучок диаметром ~ 10 мм устанавливается в центре тигля и его размер практически не поддается регулированию.

Режим плавки в тиглях ТП20 и ТП23 представлен соответственно на рис. 1-4, а технико-экономические показатели – в табл. 1 и 2. Как видно из полученных результатов, выплавка сплавов из компактной шихты может осуществляться как при больших, так и меньших темпах поднятия мощности и концентрированности электронного нагрева без особых отличий в значениях массы слива и удельной мощности (пл. 1, 2, табл. 1 и пл. 1, 2, табл. 2).

Относительно выплавки сплава из титановой губки, то здесь особенно чувствуется необходимость правильного выбора этих параметров для обеспечения заданных масс сливаемого расплава при приемлемых для этих масс удельных расходах электроэнергии. Недостаточная выдержка при относительно небольших удельных мощностях нагрева на начальной стадии плавки приводит к бурному кипению на стадии накопления расплава с помощью ЭМП, при котором, как уже упоминалось, степень концентрированности

* По материалам VI Международной научно-практической конференции «Литье-2010», состоявшейся 21-23 апреля 2010 года в Запорожье

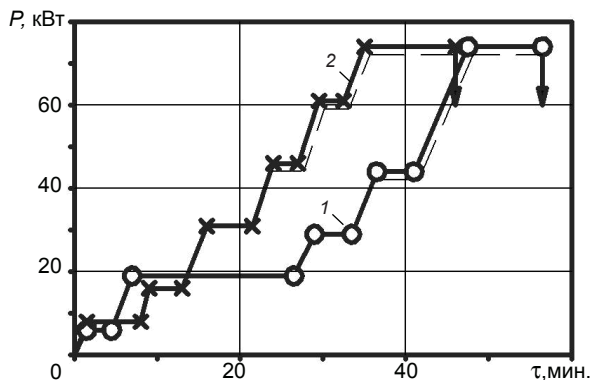


Рис. 1. Режим выплавки сплава ВТ1-0 из отходов производства в тигле ТП20 при диаметре фокального пятна 40 мм: 1 – переплав стружки; 2 – переплав листовых отходов; о-о – плавка № 1; *-* – плавка № 2; — – ЭМП

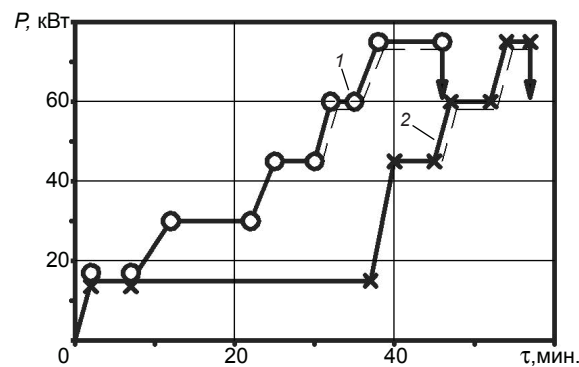


Рис. 2. Режим выплавки сплава ВТ1-0 из губки ТГ-110 в тигле ТП20: 1 – диаметр фокального пятна 40 мм; 2 – диаметр фокального пятна 120 мм; о-о – плавка № 3; *-* – плавка № 4; — – ЭМП

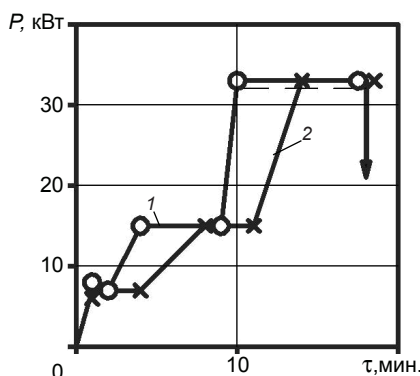


Рис. 3. Режим выплавки сплава ВТ1-0 из кусковой шихты в тигле ТП23: 1 – диаметр фокального пятна 40 мм; 2 – диаметр фокального пятна 20 мм; о-о – плавка № 1; *-* – плавка № 2; — – ЭМП

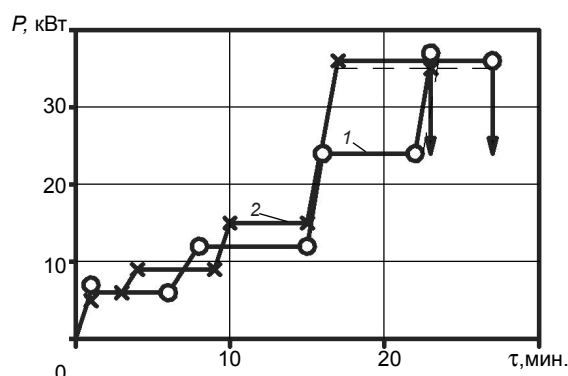


Рис. 4. Режим выплавки сплава ВТ1-0 из губки ТГ-110 в тигле ТП23: 1 – диаметр фокального пятна 40 мм; 2 – диаметр фокального пятна 20 мм; о-о – плавка № 3; *-* – плавка № 4; — – ЭМП

электронного пучка не контролируется. Частые пробой на этой стадии, как следствие, приводят как к незапланированным потерям энергии, так и к проблеме обеспечения необходимой массы расплава. В случае простого переплава шихты в виде отходов сплава ВТ1-0 либо губки масса слива может и не иметь существенного значения (например, для получения образцов), отклонение ее от заданных параметров при выплавке более сложных сплавов безусловно представляет фактор риска, поскольку расчет процентного содержания легирующих элементов привязывается как раз к этой массе. Поэтому при выплавке многокомпонентных сплавов на основе титана в условиях электронно-лучевой гарнисажной плавки, где основной шихтой является титановая губка, самым рациональным способом является ее предварительный переплав со сливом в литейную форму и последующим использованием полученной компактной заготовки. Это дает возможность при получении сплавов применять более «жесткий» режим на начальных стадиях плавки, что необходимо и для расплавления таких тугоплавких добавок, как молибден, ниобий, ванадий, вольфрам и др.

Как пример в табл. 3 представлен химический состав (среднее значение) слитков сплава титана α - и β -класса Т1100 (Ti-6 Al-2,7 Sn-4 Zr-0,4 Mo-0,4 Si), ИМИ 834 (Ti-5,5 Al-4 Sn-4 Zr-1 Nb-0,4 Mo-0,35 Si), Т1008 (Ti-6 Al-3,5 Sn-6 Zr-4 Mo-5,5 Nb-0,35 Si-2 V) и

Таблица 1

Технико-экономические показатели выплавки сплава ВТ1-0 в тигле ТП20

Номер плавки	Масса шихты, кг	Мощность, кВт		Время плавки, мин	Масса слива, кг	Удельные затраты электроэнергии, кВт·ч/кг
		ЭЛО	ЭМП			
1	8	25,8	10,5	53	7,8	4,65
2	8	24,95	10,5	38	7,3	4,85
3	8	32,65	12,25	46	6,5	6,9
4	8	26,73	9,91	57	7,1	5,16

Таблица 2

Технико-экономические показатели выплавки сплава ВТ1-0 в тигле ТП23

Номер плавки	Масса шихты, кг	Мощность, кВт		Время плавки, мин	Масса слива, кг	Удельные затраты электроэнергии, кВт·ч/кг
		ЭЛО	ЭМП			
1	0,6	5,77	0,3	20	0,58	10,46
2	0,6	4,05	0,3	18	0,54	8,05
3	0,6	6,70	0,15	27	0,41	17,12
4	0,6	5,85	0,15	23	0,50	12,0

сплава на основе интерметаллида γ -TiAl (Ti-33,4 Al-5 Nb-2,6 Cr) массой 6-8 кг, полученных с учетом результатов предыдущих опытов.

Легкоплавкие компоненты (алюминий, олово, кремний) в трех первых плавках размещали на дне гарнисажа и обогащение расплава происходило

Химический состав слитков сплавов титана, полученных в тигле ТП20

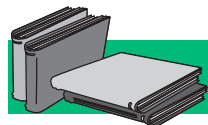
Номер плавки	Сплав	Содержание элементов, %мас.							
		Al	Sn	Zr	Mo	Nb	Si	V	Cr
5	T1100	6/7,1	2,7/2,66	4,0/4,6	0,4/0,37	—	0,4/0,37	—	—
6	IM1834	5,5/6,06	4,0/3,3	4,0/4,7	0,4/0,12	1,0/1,02	0,35/0,41	—	—
7	T1008	6,06/6,7	3,5/3,46	6,0/6,8	4,0/0,47	5,5/4,98	0,35/0,57	2,0/2,1	—
8	γ -TiAl	33,4/32,7	—	—	—	5,0/4,14	—	—	2,6/2,55

Примечания: Ti – основа; числитель – рассчитан, знаменатель – полученное содержание

путем растворения их по мере работы системы ЭМП, а тугоплавкие (молибден, ниобий, ванадий) размещали сверху основной шихты и сплавляли непосредственно электронным пучком и за счет ЭМП равномерно распределяли в расплаве. Использовали куски разной величины (в соответствии с массой добавок), хотя, как свидетельствуют результаты анализа пл. № 6 и особенно № 7, молибден желательно вводить измельченным, чтобы предотвратить его оседание на дно гарнисажа в силу того, что основная шихта переходит в жидкое состояние раньше, чем расплавляются куски молибдена.

Относительно интерметаллидного сплава γ -TiAl (пл. № 8), то обеспечить необходимое содержание Al в таких концентрациях удалось лишь благодаря его введению из манипулятора в уже наведенную металлическую ванну расплава Ti-Nb-Cr на заключительной стадии плавки.

Таким образом, проведенные исследования по выплавке титановых сплавов из материалов шихты разного вида показали необходимость учета этого фактора при выборе режима плавки.



ЛИТЕРАТУРА

1. Влияние электромагнитного перемешивания на электронно-лучевую гарнисажную плавку титана и его сплавов / С. В. Ладохин, Н. И. Левицкий, Б. Дамкрогер, Р. Вильямсон // Металл и литье Украины. – 1996. – № 11-12. – С. 39-43.
2. Ладохин С. В., Корнюшин Ю. В. Анализ процессов рафинирования при электронно-лучевой плавке с учетом потерь энергии излучением и на испарение металла: Препринт. – Киев: ИПЛ АН УССР, 1985. – 33 с.
3. Левицкий Н. И., Аникин Ю. Ф., Лапшук Т. В. Факторы качества литых титановых сплавов и отливок при электронно-лучевой плавке // Процессы литья. – 2002. – № 7. – С. 65-70.
4. Электронно-лучевая плавка в литейном производстве / Под ред. С. В. Ладохина – Киев: Сталь, 2007. – С. 111-120.

Анотація

Левицький М. І., Мірошніченко В. І., Матвієць Є. О., Лапшук Т. В.

Особливості виплавки титанових сплавів в електронно-променевій гарнісажній установці в залежності від виду шихтових матеріалів

Проведено дослідження з виплавки титанових сплавів із шихтових матеріалів різного виду (кускові та листові відходи, стружка та губка). Показано необхідність врахування цього фактора при виборі режиму плавки, зокрема ступеню концентрованості електронного пучка та темпу підйому потужності на початковій стадії плавки.

Ключові слова

інтерметаліди, система Ti-Al, електронно-променева плавка, режими плавки, шихтові матеріали

Summary

Levitskiy N., Miroshnichenko V., Matviets E., Lapshuk T.

Features of electron-beam skull melting of titanium alloys, depending on the charge materials

The titanium alloys melting with the use of charge materials kinds of different (scrap, sheet edges, scabs and sponge) is investigated. The degree of electron beam density and rate of power increasing on the initial stage of melting are necessary to consider different kinds of charge.

Keywords

intermetallics, Ti-Al system, electron-beam melting, melting modes, charge materials