

---

# НОВЫЕ МЕТОДЫ И ПРОГРЕССИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ЛИТЬЯ

УДК 621.745.558.669.295

**М. М. Ворон**

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

## МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПОТЕРЬ АЛЮМИНИЯ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ Ti-Al В УСЛОВИЯХ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ГАРНИСАЖНОЙ ПЛАВКИ

*Представлен метод определения химического состава сплавов системы Ti-Al. Основная идея статьи – создать графическое представление процесса испарения алюминия, которое послужит инструкцией для плавильщика. Графики построены на базе вычислений, представленных в предыдущих работах.*

**Ключевые слова:** электронно-лучевая плавка, сплавы системы Ti-Al, управление химическим составом.

*Представлено метод визначення хімічного складу сплавів системи Ti-Al. Основна ідея статті – створити графічне представлення процесу випаровування алюмінію, яке слугуватиме інструкцією для плавильника. Графіки побудовано на основі розрахунків, які представлено в попередніх роботах.*

**Ключові слова:** електронно-променева плавка, сплави системи Ti-Al, управління хімічним складом.

*Method of titanium Ti-Al alloys chemical composition definition is shown. The aim of the article is to create a graphical presentation of aluminum evaporation process, which can be manual for melting operator. Graphics are built on a base of evaluations, described in previous works.*

**Keywords:** electron-beam, melting of Ti-Al alloys, chemical composition control.

**И**меющийся опыт получения сплавов интерметаллидных соединений системы Ti-Al методом электронно-лучевой гарнисажной плавки [1, 2] свидетельствует о целесообразности этого метода и необходимости поиска новых решений с целью оптимизации процесса плавки и совершенствования управления данным процессом.

Речь идет, в первую очередь, об обеспечении заданного состава слитков или отливок, полученных в тиглях разной емкости из различных шихтовых материалов. Поскольку основным, а зачастую и единственным компонентом этих сплавов, ин-

## Новые методы и прогрессивные технологии литья

тенсивно испаряющимся под действием электронного пучка, является алюминий, большое внимание уделяется изучению поведения этого элемента в ходе плавки.

В работах [3-7] предлагается использовать уравнение Ленгмюра (1) для оценки потерь летучих элементов в ходе электронно-лучевой плавки

$$\omega = \alpha_i \rho_i^0 \gamma_i N_i \sqrt{\frac{M}{2\pi RT}}, \quad (1)$$

где  $\omega$  – испарение, г/(см<sup>2</sup>·с);  $\alpha_i$  – коэффициент конденсации;  $\rho_i^0$  – парциальное давление  $i$ -го элемента, мм рт. ст.;  $\gamma_i$  – коэффициент активности;  $N_i$  – мольная доля  $i$ -го элемента;  $M$  – молярная масса;  $R$  – универсальная газовая постоянная;  $T$  – температура, К.

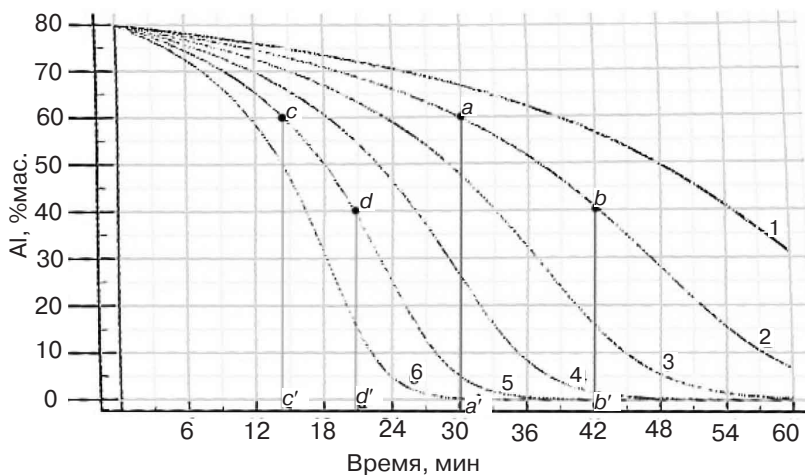
В работе [3] описаны методика и алгоритм расчета конечного состава сплавов системы Ti-Al электронно-лучевой выплавки, в основе которых лежит несколько преобразованное уравнение Ленгмюра, содержащее время как одну из переменных.

Используя данную методику и алгоритм расчета конечного состава сплавов системы Ti-Al электронно-лучевой выплавки, а также методы математического программирования в среде MathCad 14, в данной работе сделали попытку графически интерпретировать методику в качестве элемента технологической инструкции проведения плавки.

Построенные на основе расчетов графики зависимости изменения содержания алюминия от режима плавки (рисунок) позволяют выбрать наиболее оптимальные параметры для получения сплава заданного состава. В таблице приведены значения мощности и предполагаемых температур области ванны и области действия фокального пятна для каждой из шести кривых. Значения, по которым строили графики, рассчитывали для площади испарения 100 см<sup>2</sup> и площади фокального пятна электронного луча 1 см<sup>2</sup>.

Графики кроме практической функции для технолога несут также аналитическую нагрузку. Они отображают процесс испарения алюминия при разных мощностях электронного луча и позволяют увидеть зависимость испарения от состава расплава. На графиках отчетливо видно, что испарение алюминия протекает медленнее в интервалах концентраций 80-70 и ниже 5 %мас.

Диапазон содержания алюминия выбирали с учетом его реального содержания в сплавах, имеющих практическое назначение. Из таких же практических сооб-



Зависимость изменения содержания алюминия от времени плавки и мощности нагрева, кВт: 1 – 30; 2 – 45; 3 – 60; 4 – 75; 5 – 90; 6 – 100

**Мощности и температуры для режимов, отображаемых кривыми графика**

Кривая	1	2	3	4	5	6
<i>P</i> , кВт	30	45	60	75	90	100
<i>T</i> ванны, К	1875	1900	1925	1950	1975	2000
<i>T</i> ф.п., К	1925	1950	1975	2000	2025	2050

ражений выбирали кривые и диапазон времени, так как для накопления бóльшего объема расплава, например, требуется вести плавку при повышенных мощностях электронного луча или на протяжении более длительного времени.

Чтобы прогнозировать ход плавки, необходимо выбрать процент алюминия в шихте на кривой, которая больше всего соответствует режиму, и опустить из этой точки перпендикуляр на ось времени. Точка на оси будет нулевой. Далее следует выбрать на той же линии точку желаемого состава и также опустить перпендикуляр на ось времени. Расстояние между точками на оси и будет временем нахождения алюминия в расплаве титана при выбранных мощностях (температурах).

В качестве примера рассмотрим предполагаемую плавку (рисунок), где в исходной шихте находится 60 % Al при необходимости получить 40 %. Масса сливаемого металла не обязательно должна быть большой (режим 2). Таким образом, точка *a* соответствует начальному составу сплава при выбранном режиме, а точка *a'* – нулевое время плавки. Точка *b* на кривой 2 соответствует конечному составу сплава, а точка *b'*, соответственно, время, при котором его можно получить. Если отнять от времени в точке *b'* время в точке *a'*, получим время, равное 12 мин, которое и будет временем плавки сплава системы Ti-Al с 60 %мас. Al в режиме 2 (45 кВт), из которого получится сплав с 40 %мас. Al.

Если шихту с таким же составом необходимо переплавить для получения такого же состава, но с бóльшим объемом сливаемого металла, подходящим можно считать режим 5. Для этого случая точки *c* и *d* означают соответственно начальный и конечный составы, а точки *c'* и *d'* – начальное и конечное время плавки. Видно, что для режима 5 задача решается при продолжительности плавки 6,0-6,5 мин.

Таким образом, построенные графики можно использовать для оптимизации технологии электронно-лучевой плавки сплавов титана с различным содержанием алюминия и управления их составом.



**Список литературы**

1. Одержання сплавів на основі інтерметалідних сполук методом електронно-променевої гарнісажної плавки / М. І. Левицький, В. І. Мірошніченко, Т. В. Лапшук та ін. // МТОМ. – 2002. – № 3. – С. 17-20.
2. Качество литых заготовок из интерметаллидных сплавов TiAl, полученных электронно-лучевой плавкой / Н. И. Левицкий, В. И. Мирошниченко, Т. В. Лапшук и др. // Процессы литья. – 2010. – № 1. – С. 33-37.
3. Ворон М. М. Метод расчета испарения алюминия в интерметаллидных системах Ti-Al при электронно-лучевом переплаве // Металл и литье Украины. – 2010. – № 11. – С. 31-33.
4. Заборонок Г. Ф., Зеленцов Т. И., Ронжин А. С., Соколов Б. Г. Электронная плавка металлов. – М.: Металлургия, 1965. – 291 с.
5. Патон Б. Е., Тригуб Н. П., Ахонин С. В. Электронно-лучевая плавка тугоплавких и высоко-реакционных металлов. – Киев: Наук. думка, 2008. – 312 с.

6. Электронно-лучевая плавка титана / Б. Е. Патон, Н. П. Тригуб, С. В. Ахонин и др. – Киев: Наук. думка, 2006 – 246 с.
7. Bellot J-P., Floris E., Jardy A., Ablitzer D. Numerical Simulation of the E.B.C.H.R. Process // Electron Beam Melting and Refining State of Art. – Englewood, 1993. – P. 139-153.

Поступила 07.09.2012

УДК 669.715:621.74.043:620.178.15

**А. Г. Борисов, Н. И. Тарасевич, И. В. Корниец,  
А. И. Семенченко**

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

## **ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРА СТРУКТУРЫ СЛИТКОВ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА, ПОЛУЧАЕМОГО В ТОНКОСТЕННОМ МЕТАЛЛИЧЕСКОМ КОКИЛЕ**

*Исследована взаимосвязь между начальными условиями заливки алюминиевого сплава и типом его структурной морфологии с помощью прямого термического метода, математического моделирования и вычислительного эксперимента. Получен «график морфологий», позволяющий прогнозировать результирующую структуру отливки.*

**Ключевые слова:** прямой термический метод, морфология, математическое моделирование, отливка, скорость охлаждения.

*Досліджено зв'язок між початковими умовами заливання алюмінієвого сплаву та типом його структурної морфології за допомогою прямого термічного методу, математичного моделювання та обчислювального експерименту. Одержано «графік морфологій», що дозволяє прогнозувати результируючу структуру виливка.*

**Ключові слова:** прямиий термічний метод, морфологія, математичне моделювання, виливка, швидкість охолодження.

*Relationship between conditions of production of aluminum casting and structure of its morphology was studied using direct thermal method, mathematic modeling and calculation experiment. "Plot of morphologies" was constructed to predict resulting structure of casting.*

**Keywords:** direct thermal method, morphology, mathematical modeling, casting, the cooling rate.

Отливки с недендритной розеточной структурой можно получить при использовании процесса реольтя [1], который предусматривает заливку металла в жидкотвердом состоянии и основан на контролируемом зарождении и росте кристаллов во время частичной кристаллизации.

На практике наиболее эффективно, с экономической точки зрения, проявил себя прямой термический метод реольтя [2]. Среди его преимуществ можно выделить: отсутствие дополнительного оборудования, а также необходимости в применении модификаторов и др.