

### Расчет концентраций и температур плавления высококремнистых эвтектик в системах РЗМ-Si

Студент гр. 10401118 Гладинев А.Д.  
Научный руководитель Зеленин В.А.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

В работе [1] рассмотрен метод расчета концентраций и температур плавления эвтектик в системе La-Si путем её сравнения с известной диаграммой состояния системы Ce-Si и установлено, что эвтектика  $\text{LaSi}_2\text{-Si}$  плавится при температуре 1150 °С.

В работе [2] предложен метод расчета температур и концентраций эвтектик в различных двух и многокомпонентных системах. При этом температуру плавления эвтектики  $T_{\text{эвт}}$  в двухкомпонентной системе определяют по формуле

$$T_{\text{эвт}} = K_{\text{эт}} (T_1 + T_2), \quad (1)$$

где  $T_1$  и  $T_2$  – температуры плавления образующих эвтектику компонентов;  $K_{\text{эт}}$  – коэффициент эвтектической температуры, определяемый по формулам, полученным путем статистической обработки известных диаграмм состояния.

Для случая сочетания переходных металлов с боридами в [2] величину  $K_{\text{эт}}$  предложено определять по следующему экспоненциальному уравнению:

$$K_{\text{эт}} = 0,497 \exp(-0,2657X), \quad (2)$$

где  $X$  – масштабный температурный параметр, определяемый по формуле

$$X = (T_1 - T_2) / (T_1 + T_2)^{0,74}. \quad (3)$$

Расчет концентрации элементов в эвтектике (в % по массе) проводят по вычисленным значениям эвтектической температуры по формулам:

$$C_{\text{эвт}}^{\text{RSi}_2} = [(T_2 - T_{\text{эвт}}) / (T_1 + T_2 - 2T_{\text{эвт}})] \times 100 \%, \quad (4)$$

$$C_{\text{эвт}}^{\text{Si}} = [(T_1 - T_{\text{эвт}}) / (T_1 + T_2 - 2T_{\text{эвт}})] \times 100 \%. \quad (5)$$

Однако, проверка предложенных уравнений (2) и (3) для эвтектики  $\text{CeSi}_2\text{-Si}$  показала, что расчетная эвтектическая температура составила 1304,6 °С, т.е. при действительной температуре  $T_{\text{эвт}} = 1200$  °С (см. [3]) ошибка превысила 100 градусов.

Цель работы – уточнить уравнение для расчета коэффициента эвтектической температуры  $K_{\text{эт}}$  в высококремнистых эвтектиках  $\text{RSi}_2\text{-Si}$  (где R – РЗМ), рассчитать концентрации и температуры плавления высококремнистой эвтектики  $\text{LaSi}_2\text{-Si}$  по предложенному в [2] методу.

Воспользовавшись приведенными в [1,3] значениями температур плавления дисилицидов и высококремнистых эвтектик  $\text{RSi}_2\text{-Si}$ , по формуле (3) были определены величины  $X_R$ , а по уравнению (1) – значения коэффициентов эвтектической температуры  $K_{\text{эт}}$ , сведенные в таблицу.

Таблица.

Система	$T_{\text{эвт}}$ , °С	$T_1$ (RSi <sub>2</sub> ), °С	$C_{\text{эвт}}^{\text{Si}}$ , ат%	$X_R$	$K_{\text{эт}}$
LaSi <sub>2</sub> -Si	1150*	1520	85	0,288	0,392
CeSi <sub>2</sub> -Si	1200	1620	87	0,546	0,3955
PrSi <sub>1,8</sub> -Si	1212	1712	83	0,773	0,388
HoSi <sub>2</sub> -Si	1185	1270**	73 (31,5 мас.%)	0,418	0,440
LuSi <sub>2</sub> -Si	1170	1286**	77/35	0,433	0,433
TbSi <sub>2</sub> -Si	1170	1284**	75/34,6	0,434	0,434

\* - данные работы [1];

\*\* - температура  $T_1$  рассчитана по уравнению (5) по данным, приведенным в [3].

График зависимости  $K_{\text{эт}}$  от температурного параметра  $X_R$  для расчета эвтектик  $\text{RSi}_2\text{-Si}$  приведен на рисунке.

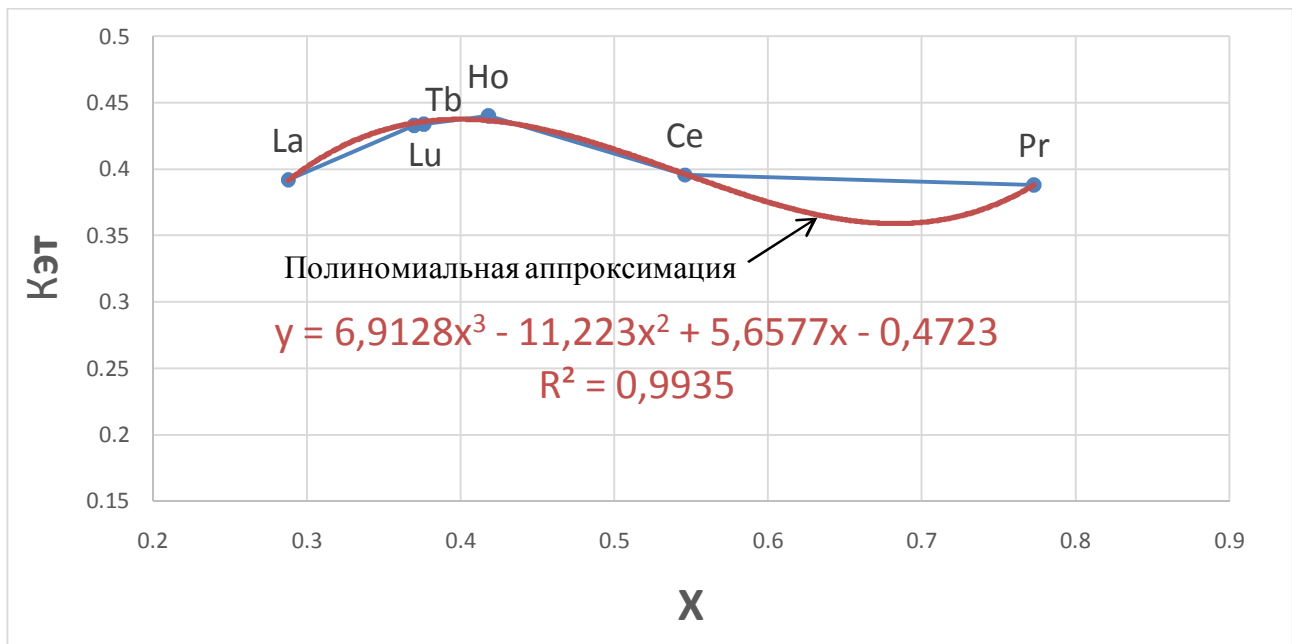


Рисунок. Зависимость коэффициента  $K_{эТ}$  от масштабного температурного параметра  $X$  для эвтектик  $RSi_2-Si$

Компьютерная аппроксимация полученной зависимости позволила получить уравнение для расчета  $K_{эТ}$  с достоверностью  $R^2 = 0,9935$ :

$$K_{эТ} = 6,9128 X^3 - 11,223 X^2 + 5,6577 X - 0,4723. \quad (6)$$

Расчет по уравнениям (1) и (6) эвтектики  $CeSi_2-Si$  показал, что при  $K_{эТ} = 0,3962$ ,  $T_{эТ} = 1202$  °С, т.е. абсолютная ошибка составила 2 градуса.

Для системы  $LaSi_2-Si$  при определенном по уравнению (6) значении  $K_{эТ} = 0,3913$ ,  $T_{эТ} = 1148,1$  °С, что соответствует полученному нами в работе [1] значению (1150 °С).

Принимая, что  $T_{эТ}$  в системе  $LaSi_2-Si$  равна 1150 °С, определяем концентрации компонентов в ней по формулам (4) и (5):

$$C_{эТ}^{LaSi_2} = [(T_2 - T_{эТ}) / (T_1 + T_2 - 2T_{эТ})] \times 100\% = [(1414 - 1150) / (2934 - 2300)] \times 100 = 41,6 \text{ мас. \% } LaSi_2;$$

$$C_{эТ}^{Si} = [(1520 - 1150) / (2934 - 2300)] \times 100 = 58,4 \text{ \% } Si.$$

В 41,6 мас. %  $LaSi_2$  содержится 29,65 мас. % La и 11,95 мас. % Si.

Всего содержание кремния в эвтектике составляет  $11,95 + 58,4 = 70,35$  мас. %.

Таким образом, получено уравнение для расчета температур плавления эвтектик  $RSi_2-Si$ . Установлено, что температура плавления высококремнистой эвтектики в системе  $LaSi_2-Si$ , рассчитанная по предложенному уравнению, равна 1150 °С. Состав эвтектики: 29,65 мас. % (7,9 ат.%) La и 70,35 мас. % (92,1 ат. %) Si.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Гладинов А.Д. Расчет концентраций и температур плавления эвтектик в системе La-Si / А.Д. Гладинов; науч. рук. В.А. Зеленин, д-р техн. наук – Новые материалы и технологии их обработки: сб. научн. работ XIX Республиканской студенческой науч.-техн. конф. – Минск, 24-25 апреля 2018 г. – Минск. – БНТУ. 2018. – С. 41-44.

2. Крукович М.Г. Расчет эвтектических концентраций и температуры в двух- и многокомпонентных системах / М.Г. Крукович // Материаловедение и термическая обработка металлов. 2005. № 10. С. 9–17.

3. Диаграммы состояния двойных металлических систем: Справочник: В 3 т. Под общ. ред. Н.П.Лякишева. – М.: Машиностроение, 1996. – 992 с.