

$$\begin{aligned}\Delta &= r^3 \left[-\frac{k^2(1+m)(1+e^2)}{a^3(1-e^2)^2} r + \frac{k^2(1+m)}{a^2} \delta \right] + k^2(1+m)r - a(1-e^2)k^2(1+m) = \\ &= k^2(1+m) \left[-\frac{(1+e^2)}{(1-e^2)} \cdot \frac{r^4}{a^3} + \delta \frac{r^3}{a^2} + r - a(1-e^2) \right] = \\ &= ak^2(1+m) \left[-\frac{(1+e^2)}{(1-e^2)} \cdot \left(\frac{r}{a}\right)^4 + \delta \left(\frac{r}{a}\right)^3 + \frac{r}{a} - (1-e^2) \right].\end{aligned}$$

Сделав замену $s = \frac{r}{a}$ ($1-e \leq s \leq 1+e$), получаем «многочлен погрешности»

$$-\frac{(1+e^2)}{(1-e^2)^2} \cdot s^4 + \delta s^3 + s - (1-e^2),$$

изменив знак которого на противоположный, будем иметь

$$P_4(s) = \frac{1+e^2}{(1-e^2)^2} \cdot s - \delta s^3 - s + 1 - e^2 \quad (1-e \leq s \leq 1+e).$$

Таким образом, модуль невязки Δ оценивается следующим образом

$$|\Delta| \leq ak^2(1+m) \max_{1-e \leq s \leq 1+e} |P_4(s)|.$$

Взяв в качестве примера $e = 0,016709$ получаем, что

$$P_4(s) = 1,00084s^4 - 1,00097s^3 - s + 0,999721$$

$$\text{и } |\Delta| \leq a(1+m) \cdot 1,33388 \cdot 10^{-7}.$$

Список использованных источников

1. Дубошин Г. Н. Небесная механика. — М., 1975.
2. Ландау Л.Д. Краткий курс теоретической физики. — Книга 1 / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. — М., 1969.
3. Монтенбрук О. Астрономия на персональном компьютере / О. Монтенбрук, Т. Пфлегер. — С.-П., 2002.

УДК 536.46:534.29

ЗАКОНОМЕРНОСТИ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ БОРИД- НЫХ СИСТЕМ, ПОЛУЧАЕМЫХ МЕТОДОМ СВС В УЛЬТ- РАЗВУКОВОМ ПОЛЕ

В.В. Клубович, М.М. Кулак, Л.Л. Платонов

Одной из актуальных проблем СВС-процесса является изучение влияния внешних воздействий на кинетику процесса и механизмы структурообразования. В работе рассматривается процесс структурообразования системы титан-бор при наложении ультразвуковых колебаний (УЗК).

Образцы получали на лабораторной установке [1] при изменении интенсивности подводимых УЗК и варьировании соотношения компонентов в исходной смеси. Скорость горения определяли двумя методами: фотографическим и по газовой выделению.

Погрешность измерения скорости горения – 5 %. Измерение температуры в волне горения проводили термодарным и оптическим методами. Измерение температуры в волне горения проводили методом спектрального отношения в двух длинах волн 0,400 и 0,538 мкм.

Экспериментально полученные зависимости температуры и скорости горения смеси титан-бор с различным соотношением компонентов (β) от амплитуды подводимых УЗК (ξ), приведены на рис. 1 и 2.

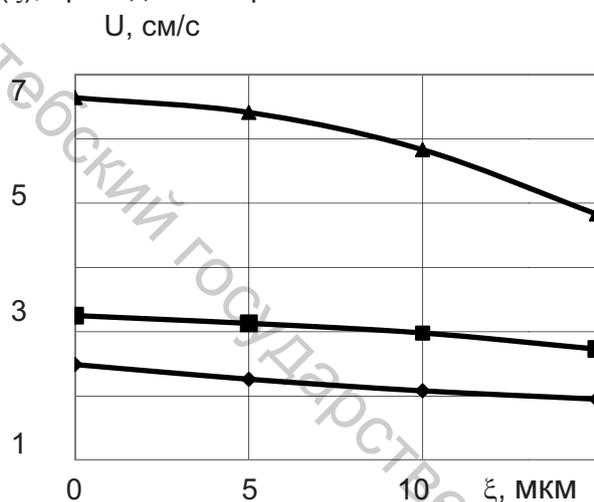


Рисунок 1 - Зависимости скорости горения системы титан-бор от амплитуды УЗК для β : \blacklozenge – 0,75; \blacksquare – 1; \blacktriangle – 1,5

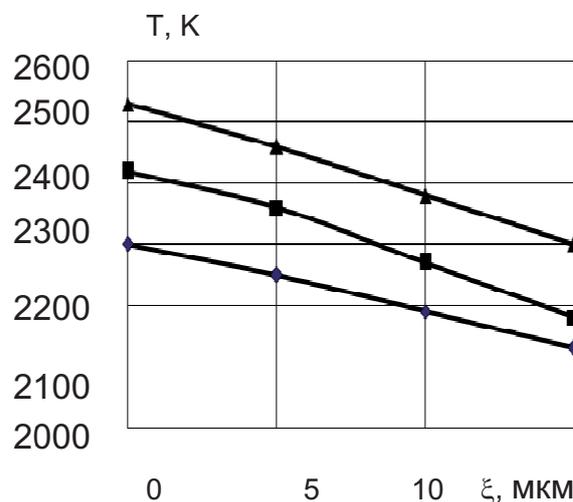


Рисунок 2 - Зависимости температуры горения системы титан-бор от амплитуды УЗК для β : \blacklozenge – 0,75; \blacksquare – 1; \blacktriangle – 1,5

Анализ рисунков 1 и 2 показывает, что наложение УЗК приводит к уменьшению максимальной скорости и температуры горения системы титан-бор. Так, например, воздействие УЗК амплитудой 10 мкм приводит к уменьшению скорости горения образцов стехиометрического состава $\beta=0,75$ от 2,5 до 2 см/с; $\beta=1$ от 3,25 до 2,8 см/с; $\beta=1,5$ от 6,6 до 5,8 см/с.

Соответственно, для максимальной температуры горения для состава $\beta=0,75$ от 2300 К до 2200 К; $\beta=1$ от 2360 до 2270 К; $\beta=1,5$ от 2520 до 2390 К.

Рентгенофазовый анализ конечных продуктов синтеза титан-бор проводили на дифрактометрическом комплексе D8 ADVANCE фирмы "BRUKER" Германия в $\text{Cu}_{\text{K}\alpha}$ излучении. Анализ дифрактограмм выполнен в программном обеспечении "EVA".

Полуколичественный анализ выполнен методом сравнения интенсивностей отраженных пиков от сравниваемых фаз свободных от наложений. В случае наложения отражений от разных фаз, учитывали величину наложений за счет их разделения.

В таблице 1 приведены результаты фазового и полуколичественного анализа продуктов синтеза системы $\text{Ti}+\beta\text{B}$ для различных значений величины стехиометрического коэффициента.

Из анализа данных таблицы 1 видно, что в исследованных пределах изменения соотношения исходных компонентов в шихте в процессе горения синтезируются все фазы, достоверно известные по диаграмме состояний [2]. В таблице 1 приведены результаты фазового и полуколичественного анализа продуктов синтеза системы $\text{Ti}+\beta\text{B}$ для различных значений величины стехиометрического коэффициента. При горении шихты стехиометрического состава $\text{Ti}+0,75\text{B}$ и $\text{Ti}+1,5\text{B}$ обнаружены: свободный металл, две фазы TiB с орторомбической и кубической сингонией и фаза TiB_2 . При горении состава $\text{Ti}+\text{B}$, кроме выше перечисленных фаз обнаружена фаза Ti_3B_4 . А при горении состава $\text{Ti}+2\text{B}$ обнаружена только фаза TiB_2 .

Таблица 1 - Фазовый и полуколичественный анализ продуктов горения системы Ti+βВ

β	ξ, мкм	TiB (орторм), (%)	TiB (куб), (%)	TiB ₂ , (%)	Ti, (%)	Ti ₃ B ₄ , (%)
0,75	0	53,7	9,5	3,1	33,8	
	5	57,2	6,8	3,8	32,3	
	10	64,0	9,4	3,5	23,0	
1	0	36,4	1,3	9,4	27,9	25,0
	5	13,6	7,3	9,7	18	51,5
	10	29,0	7,6	13,3	9,7	40,5
1,5	0	8,6	10,6	69,3	11,6	-
	5	8,8	6,8	65,5	18,9	-
	10	8,0	8,7	64,4	18,9	-
2	0	-	-	100	-	-
	5	-	-	100	-	-
	10	-	-	100	-	-

Так же из приведенных данных можно отметить, что при увеличении в шихте количества неметалла, процентное количество Ti и фазы TiB уменьшается, а количество фазы TiB₂ увеличивается.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Воздействие ультразвуковых колебаний во время синтеза приводит к изменению скорости, максимальной температуры горения.

2. Результаты рентгеновских измерений показали, что воздействие ультразвуковых колебаний приводит изменению фазового состава конечных продуктов синтеза.

Таким образом, воздействие ультразвуковых колебаний на процесс СВС может быть использовано в качестве метода управления процессом горения и регулирования фазового состава продуктов синтеза.

Список использованных источников

1. Установка для синтеза тугоплавких соединений: пат. № 4000319 Республика Беларусь, МПК В 22F 3/23/ В.В. Клубович, М.М. Кулак, Л.Л. Платонов; заявитель ИТА НАН Беларуси.-
2. Самсонов, Г.В., Серебрякова, Т.И., Неронов, В.А. Бориды. – М.: Атомиздат, 1975. – 376 с.

УДК 536.46+669.719

СВС-ЛИТЬЕ ГРАДИЕНТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В.В. Клубович, В.В. Рубаник, В.Г. Самолетов

Целью настоящей работы было исследование химической кинетики и процессов структурообразования при центробежном СВС –литье (самораспространяющийся высокотемпературный синтез, совмещенный с центробежным литьем), а также разработка технологии синтеза износостойких материалов.

В качестве объекта исследования были выбраны сплавы на основе железа с содержанием углерода более 1%, хрома 12-15% и никеля 4-6%. Металлы – компоненты сплавов получались на стадии восстановления в результате следующих химических реакций:

