

СИНТЕЗ ТУГОПЛАВКИХ НИТРИДОВ ВАНАДИЯ, НИОБИЯ И ТАНТАЛА В УСЛОВИЯХ ТЕПЛООВОГО ВЗРЫВА В ВОЗДУХЕ СМЕСЕЙ НАНОПОРОШКА АЛЮМИНИЯ И СООТВЕТСТВУЮЩИХ ОКСИДОВ

А.О. Чудинова

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: chudinova.1509@mail.ru

SYNTHESIS REFRACTORY NITRIDES OF VANADIUM, NIOBIUM AND TANTALUM IN CONDITIONS OF THERMAL EXPLOSION IN AIR OF MIXTURES OF ALUMINUM NANOPOWDER AND CORRESPONDING OXIDES

A.O. Chudinova

National Research Tomsk Polytechnic University

Annotation. *As contrasted against conventional methods that necessitate sintering consolidation of the powdered ceramics under intense heat and pressure, this novel approach is more scalable, less expensive, and rapidly produces refractory ceramics with high yields. The maximum yield of metal nitrides MeN in the combustion products of mixtures of aluminum nanopowder with vanadium, niobium and tantalum oxides in air, according to X-ray phase analysis, reaches $VN = 61\%$, $Nb_2N = 47\%$, $Ta_2N = 40,7\%$.*

Тугоплавкие металлы характеризуются высокой температурой плавления (более 2000 °С). С учетом классификации температуры плавления к чистым тугоплавким металлам в Периодической системе относят: W (3422 °С), Re (3185 °С), Ta (3017 °С), Mo (2623 °С), Ru (2334 °С), Ir (2466 °С), Nb (2477 °С), Hf (2233 °С) и Tc (2157 °С) [1]. Карбиды и нитриды переходных металлов IV-VI групп предлагают многообещающие решения в области материалов для широкого применения благодаря их высоким температурам плавления (2600–3900 °С), высокой твердости, высокой химической стабильности и износостойкости.

Принято считать, что только Mo, W, Ta и Nb в чистом виде имеют практическое применение, тогда как остальные металлы имеют ограниченное применение из-за их низкой доступности и высокой стоимости. Традиционное производство тугоплавких нитридов основано на методах порошковой металлургии, которые включают карботермические реакции элементарных переходных металлов или их оксидов с твердым углеродом (графитом или аморфным углеродом) в восстановительной водородной атмосфере при температуре выше 1700 °С [2]. Например, производство такой керамики из нитридов металлов, как правило, требует больших затрат энергии и времени. Кроме того, при спекании уплотняются крупные гранулированные частицы неправильной формы, что приводит к образованию хрупких и структурно слабых материалов.

Ранее в работах было показано, что химическое связывание азота воздуха происходит при высокой температуре в условиях теплового взрыва при горении нанопорошка алюминия (НП Al) с оксидами металлов [3,4].

Рентгенограммы исследуемых образцов получили с помощью дифрактометра «Дифрей-401» с излучением $Fe_{K\alpha}$ ($\lambda = 0,193$ нм). Для определения скорости окисления и степени превращения при определенных температурах, а также для диагностирования исходных порошков использовали дифференциальный термический анализ [5,6].

При горении нанопорошка алюминия с добавкой оксида ванадия V_2O_5 происходит разлет продуктов, в составе которых присутствует кристаллическая фаза нитрида ванадия V_2N . Также был определено содержание фазы нитрида ванадия, которое составило $V_2N = 61\%$.

Также сжиганию подвергались навески нанопорошка алюминия с оксидами ниобия и тантала с массовыми соотношениями: НП Al: Nb₂O₅ = 3:1 и НП Al: Ta₂O₅ = 4:1. Все экспериментальные данные, связанные с горением полученных навесок проводили в атмосфере воздуха. Выход полученных нитридов ниобия и тантала (таблица 1) согласно рентгенофазовому анализу составил Nb₂N = 47 % и Ta₂N = 40,7 %.

Таблица 1 – Состав исследуемых смесей нанопорошка алюминия с оксидами ниобия, тантала и ванадия и результаты рентгенофазового анализа продуктов сгорания

№ образца	Соотношение НП Al:Me ₂ O ₅ , мольное	Состав образца, мас. частей			Максимальный выход нитридов металлов MeN, %	
		НП Al, г	Ta ₂ O ₅ , г	Nb ₂ O ₅ , г	Nb ₂ N	Ta ₂ N
2	3:1	2,06	-	1,94	47	-
3	4:1	0,79	3,21	-	-	40,7

Таким образом, предложен метод синтеза тугоплавких нитридов металлов IV группы Периодической системы (Nb, Ta, V) сжиганием смесей НП Al с оксидами ниобия, тантала и ванадия в условиях теплового взрыва в воздухе. В отличие от традиционных методов, которые требуют спекания порошкообразной керамики под воздействием высокой температуры и давления, этот новый подход является более масштабируемым, менее дорогим и быстро производит тугоплавкие порошки с высокими выходами. Фазовый состав продуктов сгорания согласно рентгенофазовому анализу входят следующие нитриды металлов с максимальными выходами: V₂N = 61 %; Nb₂N = 47 %; Ta₂N = 40,7 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Wuchina E., Opila E., Opeka M., Fahrenholtz W., Talmy I. UHTCs: ultra-high temperature ceramic materials for extreme environment applications // Electrochemical Society Interface. – 2007. – vol. 16. – P. 30–36.
2. Laskoski M. *et al.* Synthesis and material properties of polymer-derived niobium carbide and niobium nitride nanocrystalline ceramics // Ceramics International. – 2020. – vol.47.– no.1 – P.1163–1168.
3. Ильин А.П., Роот Л.О. Новый механизм высокотемпературного химического связывания азота воздуха // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 6-6. – С. 1377–1381.
4. Назаренко О.Б., Ильин А.П., Тихонов Д.В. Электрический взрыв проводников. Получение нанопорошков металлов и тугоплавких неметаллических соединений. – Saarbrucken: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH&Co/KG, 2012. – 274 с.
5. Ковба Л.М., Трунов В.К. Рентгенофазовый анализ. – М.: МГУ, 1976. – 232 с.
6. Уэндландт У. Термические методы анализа. – М.: Мир, 1978. – 218 с.

ИМИТАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ НАГРУЖЕНИЯ ЗУБЬЕВ КИНЕМАТИЧЕСКОГО ВОЛНОВОГО РЕДУКТОРА ПРИ ВРАЩЕНИИ

П.Я. Крауиньш, Д.М. Козарь

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: peterkrau@tpu.ru

SIMULATION ANALYSIS OF THE LOADING OF THE TEETH OF A KINEMATIC WAVE REDUCER DURING ROTATION

P.J. Krauinsh, D.M. Kozar

National Research Tomsk Polytechnic University

Annotation. The design and calculation of new types of gearing and gearboxes based on it require an analysis of the loading of the teeth during operation. This allows to evaluate the