

*Мадиярова А.М., Арстанбекова Н.Б., Сатывалдиев А.С.*

**ЭЛЕКТР УЧКУНДУК ДИСПЕРСТӨӨ МЕТОДУ МЕНЕН СИНТЕЗДЕЛГЕН  
ЖОГОРКУ ДИСПЕРСТҮҮ АЛЮМИНИЙДИН ТЕРМИКАЛЫК ТУРУКТУУЛУГУ**

*Мадиярова А.М., Арстанбекова Н.Б., Сатывалдиев А.С.*

**ТЕРМИЧЕСКАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ ВЫСОКОДИСПЕРСНОГО  
АЛЮМИНИЯ, СИНТЕЗИРОВАННОГО МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОИСКРОВОГО  
ДИСПЕРГИРОВАНИЯ**

*A.M. Madiyarova, N.B. Arstanbekova, A.S. Satyvaldiev*

**THERMAL STABILITY OF FINELY DISPERSED ALUMINUM SYNTHESIZED  
BY THE METHOD OF ELECTROSPARK DISPERSION**

УДК: 621.762

*Электр учкундук дисперстөө методу менен синтезделген жогорку дисперстүү алюминийдин, аны абада 900°С чейин ысытканда, термикалык туруктуулугу рентген фазалык анализ методу менен көрсөтүлгөн.*

**Негизги сөздөр:** *электр учкундук дисперстөө, продукт, алюминий, күкүм, ысытуу, термикалык туруктуулугу.*

*Методом рентгенофазового анализа показано, что высокодисперсный алюминий, синтезированный методом электроискрового диспергирования, термически устойчив при нагревании в воздухе до 900°С.*

**Ключевые слова:** *электроискровое диспергирование, продукт, алюминий, порошок, нагревание, термическая устойчивость.*

*By the method of X-ray phase analysis showed that finely dispersed aluminum synthesized by the method of electrospark dispersion is thermally stable when heated in air up to 900 °C.*

**Key words:** *electrospark dispersion, product, aluminum, powder, heating, thermal stability.*

Известно, что уменьшение размеров частиц металлов приводит к повышению их химической активности, поэтому неустойчивость нанодисперсных порошков алюминия на воздухе значительно усложняют его практическое использование [1]. Наряду с размерным фактором существенное влияние на реакционную способность оказывает структурные особенности, связанные с методами получения нанопорошков. В этом плане определенный интерес представляет изучение термической устойчивости высокодисперсного порошка алюминия, полученного методом электроискрового диспергирования в среде гексана, при нагревании в воздухе до 900°С.

Электроискровое диспергирование металлов в гексане осуществляется в отсутствие воздуха и влаги. Это исключает взаимодействие алюминия с кислородом и водой. А также на стабильности высокодисперсных порошков алюминия, получаемых в условиях искрового разряда, должен оказывать влияние и их сверхскоростная закалка. В канале искрового разряда возникает температура до 10000°С и под действием такой температуры металл плавится и может закипеть [2]. Под действием ударной волны, сопровождающий искровой разряд, происходит удаление расплавленного металла из микроучастка поверхности электрода в виде мельчайших частиц в жидкой среде и эти частицы подвергаются высокоскоростной закалке.

Ранее [3] нами установлено, что при электроискровом диспергировании алюминия в гексане образуется продукт, основным компонентом которого является металлический алюминий.

Для изучения термической устойчивости высокодисперсного порошка алюминия продукт, полученный в гексане, был нагрет в муфельной печи в воздухе при температурах 400°С и 900°С в течении 30 мин.

Термически обработанный продукт изучен методом рентгенофазового анализа, а его дифрактограмма снята на дифрактометре RINT-2500 HV.

На рисунке представлены дифрактограммы продукта электроискрового диспергирования алюминия в гексане до и после термической обработки его в воздухе при 400°С и 900°С, а результаты расчетов дифрактограмм представлены в таблицах 1-3.

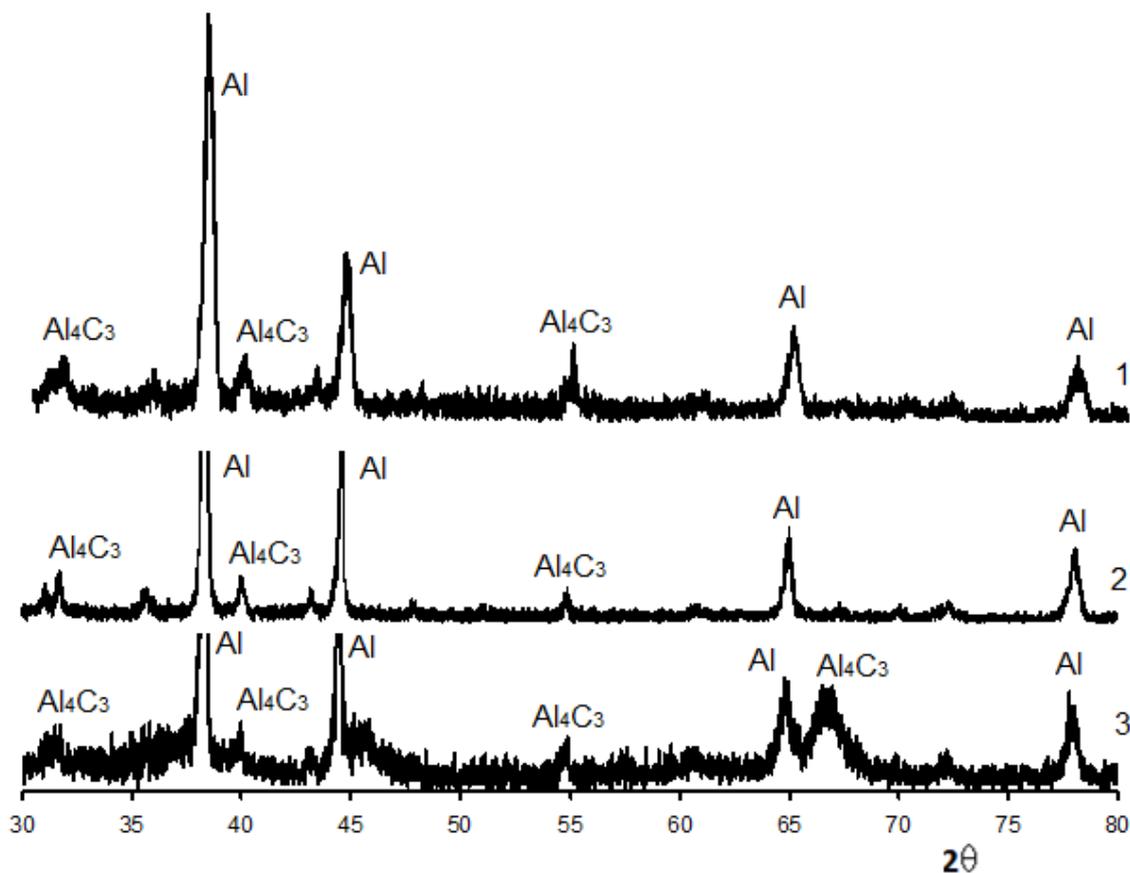


Рис. 1. Дифрактограммы продукта электроискрового диспергирования алюминия в гексане (1) и после термической обработки его в воздухе при 400°C (2) и 900°C (3).

Анализ дифрактограмм продукта электроискрового диспергирования алюминия в гексане до и после термической обработки показывает, что фазовый состав продукта после термической обработки не изменяется (рис.1, табл. 1-3).

Продукт электроискрового диспергирования алюминия в гексане состоит из металлического алюминия с небольшой примесью его карбида (рис. 1, табл.1).

Таблица 1 - Результаты расчета дифрактограммы продукта электроискрового диспергирования алюминия в гексане

№	Экспериментальные данные		Фазовый состав			
	I	d, A°	Al		Al <sub>4</sub> C <sub>3</sub>	
			hkl	a, A°	hkl	d, A°
1	15	2,8400			012	2,84
2	13	2,5259			015	2,53
3	100	2,3566	111	4,082		
4	17	2,2659			107	2,27
5	12	2,1024			0012	2,10
6	41	2,0429	200	4,086		
7	19	1,6808			0015	1,68
8	7	1,5225			0114	1,53
9	23	1,4395	220	4,071		
10	16	1,2289	311	4,076		

Таблица 2 - Результаты расчета дифрактограммы продукта электроискрового диспергирования алюминия в гексане после термообработки при 400°C

№	Экспериментальные данные		Фазовый состав			
	I	d, A°	Al		Al <sub>4</sub> C <sub>3</sub>	
			hkl	a, A°	hkl	d, A°
1	8	2,8756			101	2,90
2	13	2,8243			012	2,84
3	7	2,5014			015	2,53
4	100	2,3453	111	4,062		
5	10	2,2518			107	2,27
6	8	2,0895			0012	2,10
7	43	2,0316	200	4,063		
8	6	1,8953			1010	1,91
9	9	1,6684			0015	1,68
10	4	1,5184			0114	1,53
11	22	1,4343	220	4,057		
12	4	1,3028			1112	1,32
13	18	1,2228	311	4,056		

**Таблица 3 - Результаты расчета дифрактограммы продукта электроискрового диспергирования алюминия в гексане после термообработки при 900°C**

№	Эксперим. данные		Фазовый состав			
	I	d, Å	Al		Al <sub>4</sub> C <sub>3</sub>	
			hkl	a, Å	hkl	d, Å
1	15	2,8208			012	2,84
2	73	2,3476	111	4,066		
3	19	2,2550			107	2,27
4	11	2,0923			0012	2,10
5	100	2,0394	200	4,079		
6	20	1,8919			1010	1,91
7	14	1,6706			0015	1,68
8	9	1,5986			1013	1,62
9	12	1,5279			0114	1,53
10	30	1,4359	220	4,061		
11	30	1,3793			1016	1,39
12	11	1,3077			1112	1,32
13	24	1,2247	311	4,062		

В составе продукта электроискрового диспергирования алюминия в гексане, кроме высокодисперсного порошка металла и его карбида, находится также рентгеноаморфный углерод в виде сажи, который образуется в результате термического разложения молекул гексана в условиях искрового разряда. При нагревании продукта электроискрового диспергирования алюминия в воздухе должен происходить окисление металлического алюминия, карбида алюминия и углерода.

Продукт после термообработки при 400°C состоит из металлического алюминия и карбида алюминия (рис. 1, табл. 2). Такой же состав имеет продукт после термообработки при 900°C (рис. 1, табл. 3). При термообработке происходит уменьшение массы образца (табл. 4).

**Таблица 4 - Фазовый состав и изменение массы продукта электроискрового диспергирования алюминия в гексане, параметр решетки (a) алюминия до и после термической обработки**

№	Температура нагрева, °C	Фазовый состав	Изменение массы, %	a, Å
1	-	Al, Al <sub>4</sub> C <sub>3</sub>	-	4,079
2	400	Al, Al <sub>4</sub> C <sub>3</sub>	19,5	4,060
3	900	Al, Al <sub>4</sub> C <sub>3</sub>	18,0	4,067

При 400°C уменьшение массы продукта составляет 19,5%, а при 900°C масса продукта уменьшается на 18%. Уменьшение массы продукта связано с окислением свободного углерода:  $C + O_2 = CO_2$

При нагревании продукта до 900°C масса продукта уменьшается меньше, чем при 400°C. Это возможно связано с одновременным окислением свободного углерода и металлического алюминия. При окислении углерода масса продукта уменьшается, а при окислении металлического алюминия или карбида алюминия за счет образования оксида алюминия масса продукта увеличивается. На дифрактограммах продукта после нагревания не были обнаружены рефлексы, характерные для оксида алюминия, а в работе [4] отмечается, что на поверхности наночастиц алюминия образуется рентгеноаморфный оксидный слой толщиной 4-10 нм.

На основе изучения фазового состава продукта электроискрового диспергирования алюминия в гексане после термической обработки можно предположить о том, что синтезированный высокодисперсный алюминий обладает устойчивостью против окисления при нагревании до 900°C, т.е. термически устойчив.

#### Литература:

1. Чуистов К.В., Шпак А.П., Перекоп А.Е., Рудь А.Д., Уваров В.Н. Малые металлические частицы: способы получения, атомная и электронная структура, магнитные свойства и практическое использование // Успехи физ. мет., 2003, т. 4. - С. 235-269.
2. Лопатько К.Г., Олишевский В.В., Маринин А.И., Афтандиянц Е.Г. Образование наноразмерной фракции металлов при электроискровой обработке гранул // Электронная обработка материалов, 2013, 49(6). - С. 80-85.
3. Мадиярова А.М., Сатывалдиев А.С. Зависимость фазового состава продуктов электроискрового диспергирования алюминия от природы жидкой среды // Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана, 2017, №4. - С.40-42.
4. Коршунов А.В. Влияние размеров и структуры частиц порошков алюминия на закономерности их окисления при нагревании в воздухе // Известия Томского политехнического университета, 2009, т.315, №3. - С. 5-11.

Рецензент: к.хим.н., доцент Насирдинова Г.К.