

6. Mirkin L.I. X-ray diffraction analysis. Reference manual. Obtaining and measuring radiographs. – М.: Nauka, 1976. – 326 p.
7. Rabinovich V.A., Khavin Z.Ya. Brief chemical reference. – М.: Chemistry, 1977. – 376 p.

УДК 621.762:546.62:546.82

DOI 10.33514/ВК-1694-7711-2022-1 (1)-187-193

Жумагулова Б. Т., Сатывалдиев А. С., Кылычбек кызы Нурзада

окутуучу, химия жана химиялык технология кафедрасы, табият таануу жана география факультети, ОшМУ,

И. Арабаев атындагы КМУ, биология жана химия факультети, химия жана аны окутуунун технологиясы кафедрасынын профессору, х.и.д.,

Б. Осмонов атындагы ЖАМУ, табигый-техникалык факультети, химия кафедрасынын магистранты

Жумагулова Б. Т., Сатывалдиев А. С., Кылычбек кызы Нурзада

преподаватель, кафедра химии и химической технологии, факультет естествознания и географии, ОшГУ,

д.х.н., профессор кафедры химии и технологии ее обучение, факультет биологии и химии, КГУ им. И. Арабаева,

магистрант кафедры химии, факультет естественно-технический, ЖАГУ им. Б. Осмонова

Zhumagulova B. T., Satyvaldiev A. S., Kylychbek kyzy Nurzada

Lecturer, Department of Chemistry and Chemical Technology, Faculty of Natural Science and Geography, OshSU,

Doctor of Chemical Sciences, Professor of the Department of Chemistry and Technology, her education, Faculty of Biology and Chemistry, KSU. I. Arabaeva,

Master of the Department of Chemistry, Faculty of Natural and Technical, ZHASU B. Osmonova,

**Al-W СИСТЕМАСЫНЫН ЭЛЕКТР УЧКУНДУК ДИСПЕРСТӨӨ
ПРОДУКТЫЛАРЫНЫН ФАЗАЛЫК КУРАМЫНА ТЕМПЕРАТУРАНЫН ТААСИРИ
ВЛИЯНИЕ ТЕРМООБРАБОТКИ НА ФАЗОВЫЙ СОСТАВ ПРОДУКТОВ
ЭЛЕКТРОИСКРОВОГО ДИСПЕРГИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ Al-W
INFLUENCE OF HEAT TREATMENT ON THE PHASE COMPOSITION OF PRODUCTS
OF ELECTRIC SPARK DISPERSION OF THE Al-W SYSTEM**

Аннотация: Al-W системасынын электр учкундук дисперстөө продуктуларын 400°C чейин абанын атмосферасында ысытканда металлдык алюминий жана вольфрам карбиддери кычкылданууга туруктуу экендиги рентген фазалык анализ методу менен аныкталган. Бул температурада, гександын молекуласы ажыраганда пайда болгон жана продуктулардын курамындагы, эркин көмүртек ычкылданат.

Аннотация: Методом рентгенофазового анализа установлено, что при термообработке продуктов электроискрового диспергирования системы Al-W в гексане при температуре 400°C в атмосфере воздуха не происходит окисление металлического алюминия

и карбидов вольфрама. При этой температуре происходит окисление свободного углерода, образовавшегося при разложении молекул гексана и находящегося в составе продуктов.

Abstract: It has been established by X-ray phase analysis that the heat treatment of products of electrospark dispersion of the Al-W system in hexane at a temperature of 400°C in air does not oxidize metallic aluminum and tungsten carbides. At this temperature, oxidation of free carbon occurs, which is formed during the decomposition of hexane molecules and is present in the composition of the products.

Негизги сөздөр: электр учкундук дисперстөө, алюминий, вольфрам, вольфрамдын карбиддери, температура, кычкылдануу.

Ключевые слова: электроискровое диспергирование, алюминий, вольфрам, карбиды вольфрама, температура, окисление.

Keywords: electrospark dispersion, aluminum, tungsten, tungsten carbides, temperature, oxidation.

Алюмокомпозиты, где армирующей фазой являются карбиды металлов, имеют малую плотность, высокую удельную прочность, коррозионную стойкость и поэтому они находят широкое применение в качестве конструкционных материалов [1]. Перспективным является получение алюмоматричных композиционных материалов с наноразмерными частицами армирующей фазы [2]. Авторами [1] установлено, что содержание нанодисперсного карбида титана в составе алюмокомпозитов в виде армирующей фазы приводит к повышению их химической стойкости и механических свойств по сравнению с металлическим алюминием.

Для получения наноструктурных алюмокомпозитов широко используется метод самораспространяющегося высокотемпературного синтеза, но данный метод имеют следующие недостатки: присутствие в составе полученного композита непрореагировавших реагентов, неравномерное распределение армирующей фазы в объеме композита и скопление частиц карбида по границам зерен [3]. Поэтому поиск новых методов получения алюмокомпозитов, содержащих в качестве армирующей фазы нанодисперсные карбиды является актуальной. Для синтеза металлокомпозитов, содержащих нанодисперсные карбиды металлов, перспективным является метод электроискрового диспергирования, который позволяет получать наноразмерные системы из любых токопроводящих материалов [4].

Ранее нами [5] установлено, что при совместном электроискровом диспергировании алюминия и титана в гексане происходит образование алюмокомпозита, содержащего высокодисперсные порошки алюминия и карбида титана.

Целью данной работы является изучение влияния термической обработки на фазовый состав продуктов электроискрового диспергирования системы Al-W.

Для получения продуктов совместного электроискрового диспергирования алюминия и вольфрама использована лабораторная установка с двумя электродами, изготовленными из алюминиевого и вольфрамового стержней. Диспергирование металлов системы Al-W проводилось в гексана.

Искровой разряд, создаваемый RC-генератором, имеет следующие электрические параметры: напряжение $U=220$ В, емкость конденсатора $C=2$ мкф. Полученный в этих условиях единичный разряд характеризуется энергией $E=0,05$ Дж.

Синтез алюмокомпозитов в условиях электроискрового диспергирования проводился при различных полярностях электродов. Полученные продукты отделялись на центрифуге и высушивались при 70-80°C. Для изучения влияние термической обработки на фазовый состав продуктов электроискрового диспергирования системы Al-W эти продукты были обработаны в муфельной печи в атмосфере воздуха при температуре 400°C в течении 1 часа. Изменение массы образцов определяли гравиметрическим методом взвешиванием массы образцов до и после термообработки.

Фазовый состав исходных и термически обработанных продуктов совместного электроискрового диспергирования алюминия и вольфрама установлен методом рентгенофазового анализа. Съемка дифрактограмм проводилась на дифрактометре ДРОН-3 с $\text{CuK}\alpha$ -излучением.

Изменение массы образцов продуктов электроискрового диспергирования систем Al^+-W^- и Al^--W^+ при обработке в атмосфере воздуха при температуре 400°C приведены в таблице 1.

Таблица 1. Изменение массы образцов продуктов электроискрового диспергирования систем Al^+-W^- и Al^--W^+ после термообработки при 400°C

| № | Система | Уменьшение массы образца, % |
|---|--------------------------|-----------------------------|
| 1 | Al^+-W^- | 10,4 |
| 2 | Al^--W^+ | 15,6 |

Из таблицы 1 видно, что при термической обработке продуктов систем происходит уменьшение массы образцов от 10 до 15%. Известно [4], что при электроискровом диспергировании металлов а углеродсодержащих жидких средах происходит одновременно с диспергированием металлов и термическое разложение молекул жидкой среды с образованием свободного углерода в виде рентгеноаморфной сажи. Поэтому при нагревании образцов до 400°C в атмосфере воздуха происходит окисление свободного углерода с образованием оксида CO_2 и это приводит к уменьшению массы образца.

Дифрактограммы продуктов электроискрового диспергирования систем Al^+-W^- и Al^--W^+ до и после термообработки приведены на рис.1,2, а результаты расчета дифрактограмм - в таблицах 2-5.

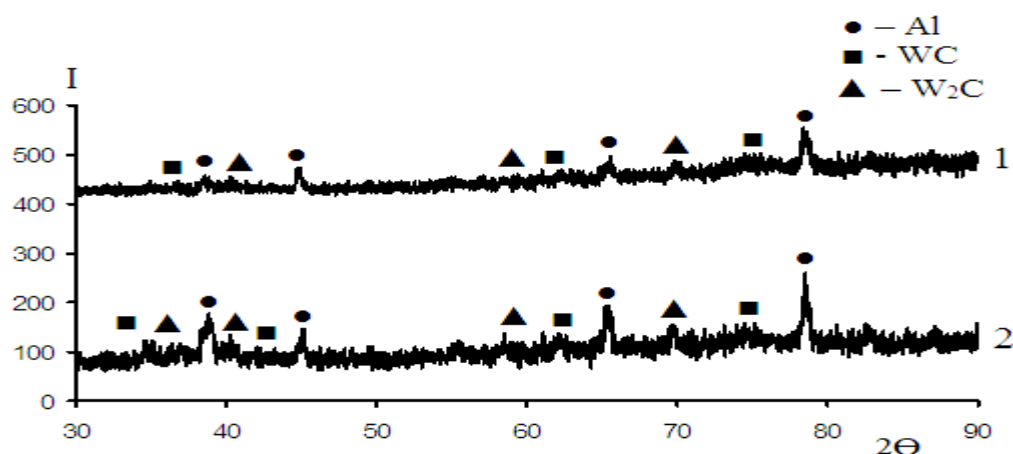


Рис. 1. Дифрактограммы продуктов электроискрового диспергирования системы Al^+-W^- до (1) и после (2) термообработки при $400^\circ C$.

Результаты расчета дифрактограмм позволяют делать вывод о том, что на фазовый состав продуктов не влияет термическая обработка продуктов (рис.1, 2; табл. 2-5). Продукты системы $Al-W$ после термообработки не меняет фазовый состав и состоят из трех фаз. При электроискровом диспергировании системы $Al-W$ алюминий образует металлическую фазу, а вольфрам за счет углерода, находящегося в составе молекулы гексана, образует карбидные фазы. Монокарбид вольфрама WC имеет гранецентрированную кубическую решетку типа $NaCl$. Вторая карбидная фаза представляет собой полукарбид вольфрама с гексагональной решеткой.

Таблица 2. Результаты расчета дифрактограммы продукта электроискрового диспергирования системы Al^+-W^-

| № | Эксперим. данные | | Фазовый состав | | | | | | |
|----|------------------|--------|----------------|-------|-----|-------|------------------|-------|-------|
| | I | d, A° | Al | | WC | | W ₂ C | | |
| | | | hkl | a, A° | hkl | a, A° | hkl | a, A° | c, A° |
| 1 | 20 | 2,5750 | | | | | 100 | 2,973 | |
| 2 | 22 | 2,4257 | | | 111 | 4,201 | | | |
| 3 | 36 | 2,3417 | 111 | 4,056 | | | | | |
| 4 | 38 | 2,2368 | | | | | 101 | 2,983 | 4,717 |
| 5 | 17 | 2,1062 | | | 200 | 4,212 | | | |
| 6 | 60 | 2,0195 | 200 | 4,039 | | | | | |
| 7 | 29 | 1,7212 | | | | | 102 | 2,983 | 4,717 |
| 8 | 35 | 1,4907 | | | 220 | 4,216 | 110 | 2,981 | |
| 9 | 51 | 1,4269 | 220 | 4,036 | | | | | |
| 10 | 41 | 1,3467 | | | | | 103 | 2,977 | 4,721 |
| 11 | 46 | 1,2706 | | | 311 | 4,214 | | | |
| 12 | 100 | 1,2171 | 311 | 4,037 | | | | | |

Таблица 3. Результаты расчета дифрактограммы продукта электроискрового диспергирования системы $Al^+ - W^-$ после термообработки при $400^\circ C$

| № | Эксперим. данные | | Фазовый состав | | | | | | |
|----|------------------|--------|----------------|-------|-----|-------|------------------|-------|-------|
| | I | d, A° | Al | | WC | | W ₂ C | | |
| | | | hkl | a, A° | hkl | a, A° | hkl | a, A° | c, A° |
| 1 | 38 | 2,5851 | | | | | 100 | 2,985 | |
| 2 | 41 | 2,4371 | | | 111 | 4,221 | | | |
| 3 | 78 | 2,3185 | 111 | 4,016 | | | | | |
| 4 | 46 | 2,2464 | | | | | 101 | 2,990 | 4,718 |
| 5 | 29 | 2,1071 | | | 200 | 4,214 | | | |
| 6 | 63 | 2,0100 | 200 | 4,020 | | | | | |
| 7 | 41 | 1,4907 | | | 220 | 4,216 | 110 | 2,981 | |
| 8 | 78 | 1,4262 | 220 | 4,034 | | | | | |
| 9 | 48 | 1,3477 | | | | | 103 | 2,990 | 4,718 |
| 10 | 36 | 1,2689 | | | 311 | 4,208 | | | |
| 11 | 100 | 1,2179 | 311 | 4,039 | | | | | |

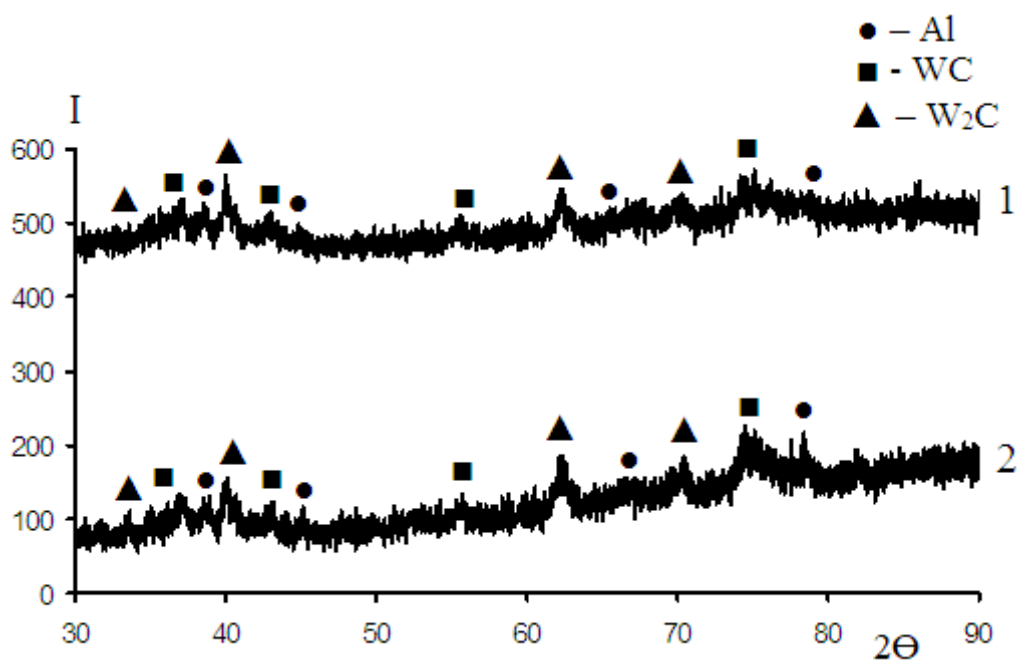


Рис. 2. Дифрактограммы продуктов электроискрового диспергирования системы $Al - W^+$ до (1) и после (2) термообработки при $400^\circ C$.

Таблица 4. Результаты расчета дифрактограммы продукта электроискрового диспергирования системы Al-W⁺

| № | Эксперим. данные | | Фазовый состав | | | | | | |
|----|------------------|--------|----------------|-------|-----|-------|------------------|-------|-------|
| | I | d, A° | Al | | WC | | W ₂ C | | |
| | | | hkl | a, A° | hkl | a, A° | hkl | a, A° | c, A° |
| 1 | 55 | 2,5851 | | | | | 100 | 2,985 | |
| 2 | 72 | 2,4282 | | | 111 | 4,206 | | | |
| 3 | 69 | 2,3512 | 111 | 4,072 | | | 002 | | 4,702 |
| 4 | 100 | 2,2475 | | | | | 101 | 2,975 | 4,723 |
| 5 | 53 | 2,1043 | | | 200 | 4,208 | | | |
| 6 | 41 | 2,0333 | 200 | 4,067 | | | | | |
| 7 | 37 | 1,7157 | | | | | 102 | 2,975 | 4,723 |
| 8 | 68 | 1,4945 | | | 220 | 4,227 | 110 | 2,989 | |
| 9 | 44 | 1,4238 | 220 | 4,027 | | | | | |
| 10 | 33 | 1,3400 | | | | | 103 | 2,988 | 4,716 |
| 11 | 57 | 1,2736 | | | 311 | 4,224 | | | |
| 12 | 35 | 1,2161 | 311 | 4,033 | 222 | 4,212 | | | |

Таблица 5. Результаты расчета дифрактограммы продукта электроискрового диспергирования системы Al-W⁺ после термообработки при 400°C

| № | Эксперим. данные | | Фазовый состав | | | | | | |
|----|------------------|--------|----------------|-------|-----|-------|------------------|-------|-------|
| | I | d, A° | Al | | WC | | W ₂ C | | |
| | | | hkl | a, A° | hkl | a, A° | hkl | a, A° | c, A° |
| 1 | 49 | 2,5790 | | | | | 100 | 2,978 | |
| 2 | 65 | 2,4169 | | | 111 | 4,186 | | | |
| 3 | 63 | 2,3243 | 111 | 4,026 | | | | | |
| 4 | 87 | 2,2464 | | | | | 101 | 2,974 | 4,718 |
| 5 | 65 | 2,0969 | | | 200 | 4,193 | | | |
| 6 | 61 | 2,0085 | 200 | 4,017 | | | | | |
| 7 | 31 | 1,7313 | | | | | 102 | 2,974 | 4,718 |
| 8 | 93 | 1,4924 | | | 220 | 4,221 | 110 | 2,985 | |
| 9 | 49 | 1,4300 | 220 | 4,045 | | | | | |
| 10 | 48 | 1,3167 | | | | | 103 | 2,982 | 4,714 |
| 11 | 100 | 1,2718 | | | 311 | 4,218 | | | |
| 12 | 64 | 1,2174 | 311 | 4,038 | | | | | |

После термической обработки при 400°C согласно результатам рентгенофазового анализа окисление металлического алюминия и карбидов вольфрама не наблюдается.

Таким образом, методом рентгенофазового анализа установлено, что при термообработке продуктов электроискрового диспергирования системы Al-W в гексане при температуре 400°C в атмосфере воздуха не происходит окисление металлического алюминия и карбидов вольфрама. При этой температуре происходит окисление свободного углерода, образовавшегося при разложении молекул гексана и находящегося в составе продуктов.

Список использованной литературы:

- 1.Амосов А.П., Луц А.Р., Латухин Е.И., Ермошкин А.А. Применение процессов СВС для получения *in situ* алюмоматричных композиционных материалов, дискретно армированных наноразмерными частицами карбида титана // Известия вузов. Цветная металлургия, 2016, №1. – С.39-49.
- 2.Крушенко Г.Г. Роль частиц нанопорошков при формировании структуры алюминиевых сплавов // Металлургия машиностроения, 2011, №1. - С. 20-24.
3. Луц А.Р., Амосов А.П., Ермошкин А.А., Ермошкин А.А., Никитин К.В., Тимошкин И.Ю. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез высокодисперсной фазы карбида титана из смесей порошков в расплаве алюминия // Изв. вузов. Порошк. металлургия и функц. покрытия, 2013, №3. - С. 28-35.
- 4.Сатывалдиев А., Асанов У.А. Электроэрозионный синтез соединений переходных металлов. – Бишкек: КГНУ, 1995. - 187 с.
5. Сатывалдиев А.С., Жумагулова Б.Т., Мурзубраимов Б.М., Абдулазизов Т.А. О фазовом составе продуктов электроискрового диспергирования системы Al-Ti в гексане // Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана, 2019, №2, -С.36-40.

References:

- 1.Amosov A.P., Lutz A.R., Latukhin E.I., Ermoshkin A.A. Application of SHS processes for *in situ* production of aluminum-matrix composite materials discretely reinforced with nanoscale titanium carbide particles // News of universities. Non-ferrous metallurgy, 2016, No. 1. - С.39-49.
- 2.Krushenko G.G. The role of nanopowder particles in the formation of the structure of aluminum alloys // Metallurgy of Mechanical Engineering, 2011, No. 1. - pp. 20-24.
3. Lutz A.R., Amosov A.P., Ermoshkin A.A., Ermoshkin A.A., Nikitin K.V., Timoshkin I.Yu. Self-propagating high-temperature synthesis of a highly dispersed phase of titanium carbide from powder mixtures in aluminum melt // Izv. vuzov. Powder. Metallurgy and Functional Coatings, 2013, No. 3. - pp. 28-35.
- 4.Satyvaldiev A., Asanov U.A. Electroerosive synthesis of transition metal compounds. – Bishkek: KGNU, 1995. - 187 p.
5. Satyvaldiev A.S., Zhumagulova B.T., Murzubraimov B.M., Abdulazizov T.A. On the phase composition of the products of electric spark dispersion of the Al-Ti system in hexane // Science, new technologies and innovations of Kyrgyzstan, 2019, No. 2, -pp.36-40.