

УДК 546.549.2. + 543.57

Абдулазизов Т. А.

х.и.к., доцент химия жана химиялык технологиялар кафедрасы Ош МУ,
Ош, Кыргызстан. Email: abdulazizov_1967@mail.ru

Абдулазизов Т.А.

к.х.н., доцент кафедры химии и химической технологии, ОшГУ,г. Ош, Кыргызстан

Abdulazizov T.A.

Ph.D. in Chemistry, Associate Professor, Department of Chemistry and Chemical Technology, Osh State University, Osh, Kyrgyzstan

Сатывалдиев А. С.

х.и.д., проф. химия жана аны окутуунун технологиясы кафедрасы И. Арабаев атындагы Кыргыз мамлекеттик университети, Бишкек, Кыргызстан. Email: satyvaldiev1948@mail.ru

Сатывалдиев А. С.

д.х.н., проф. кафедры химии и технологии её преподавания, Кыргызский государственный университет имени И. Арабаева,
г. Бишкек, Кыргызстан.

Satyvaldiev A. S.

Doctor of Chemical Sciences, Professor, Department of Chemistry and Methods of Its Teaching, I. Arabaev Kyrgyz State University, Bishkek, Kyrgyzstan.

Фетисова О.Ю.

к.х.н., илимий кызматкер, Сибирь илимдер академиясынын Химия жана химиялык технология институту, Красноярск, Россия. Email: fou1978@mail.ru

Фетисова О.Ю.

к.х.н., научный сотрудник Института химии и химической технологии Сибирского отделения Академии наук, Красноярск, Россия

Fetisova O. Yu.

Candidate of Chemical Sciences, Research Associate, Institute of Chemistry and Chemical Technology, Siberian Branch of the Academy of Sciences,
Krasnoyarsk, Russia.

Эгемберди кызы Тахмина

Ош мамлекеттик университетинин магистранты, Ош Кыргызстан
Email: toxa24.09@mail.ru

Эгемберди кызы Тахмина

магистрант Ошский государственный университет, Ош, Кыргызстан

Egemberdi kyzy Takhmina

Master's Student, Osh State University, Osh, Kyrgyzstan.

**ТИТАН ЖАНА V-МО КУЙМАСЫНЫН ЭТАНОЛ ЧӨЙРӨСҮНДӨ
ЭЛЕКТРУЧКУНДУК ДИСПЕРГИРЛӨӨДӨН АЛЫНГАН ПРОДУКТАНЫН
ТЕРМИКАЛЫК АНАЛИЗИНИН ЖЫЙЫНТЫГЫ**

**РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕРМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ПРОДУКТОВ
СОВМЕСТНОГО ЭЛЕКТРОИСКРОВОГО ДИСПЕРГИРОВАНИЯ ТИТАНА
И СПЛАВА V-МО В СРЕДЕ ЭТАНОЛА**

**RESULTS OF THERMAL ANALYSIS OF PRODUCTS OF JOINT ELECTRICAL SPARK DISPERSION
OF TITANIUM AND V-MO ALLOY IN ETHANOL MEDIUM**

Аннотация. Бул макалада титан жана $V_{0,6}Mo_{0,4}$ куймасынан турган системасынан алынган продуктанын термогравиметриялык жана дифференциалдык сканирлөө калориметриялык (ТГ/ДСК) анализдин жыйынтыктары берилген. Алынган продуктылар аба чөйрөсүндө $500^{\circ}C$ га чейин жогорку термостабилдүүлүктү көрсөттү. Бул диапазондо массада олуттуу өзгөрүүлөр байкалган жок, бул ажыроо же кычкылдануу процесстеринин жоктугун далилдейт. Негизги экзотермиялык эффект $619^{\circ}C$ температурада катталып, үлгүнүн массасынын көбөйүшү менен коштолгон, бул карбиддик компоненттердин кычкылдануусун жана TiO_2 , V_2O_5 жана MoO_3 оксиддеринин пайда болушун көрсөтөт.

Ачкыч сөздөр: термикалык анализ, карбиддер, дериватограмма, экзотермикалык эффект, компонент, кычкылдануу.

Аннотация. В данной статье представлены результаты термогравиметрического и дифференциально-сканирующего калориметрического (ТГ/ДСК) анализа продуктов системы титан – сплав $V_{0,6}Mo_{0,4}$. Полученные продукты продемонстрировали высокую термостабильность в атмосфере воздуха до температуры около $500^{\circ}C$. В этом диапазоне не наблюдается значимых изменений массы, что свидетельствует об отсутствии разложения или окисления. Основной экзотермический эффект, зарегистрированный при $619^{\circ}C$, сопровождается увеличением массы образца, что указывает на интенсивное окисление карбидных компонентов с образованием оксидов TiO_2 , V_2O_5 и MoO_3 .

Ключевые слова: Термическая анализ, карбиды, дериватограммы, экзотермический эффект, компонент, окисления.

Abstract. This article presents the results of thermogravimetric and differential scanning calorimetric (TG/DSC) analysis of the products of the titanium – $V_{0,6}Mo_{0,4}$ alloy system. The obtained products demonstrated high thermal stability in an air atmosphere up to a temperature of about $500^{\circ}C$. In this range, no significant mass changes were observed, indicating the absence of decomposition or oxidation. The main exothermic effect, recorded at $619^{\circ}C$, is accompanied by an increase in the sample mass, which indicates the intensive oxidation of carbide components with the formation of TiO_2 , V_2O_5 , and MoO_3 oxides.

Keywords: thermal analysis, carbides, derivatograms, exothermic effect, component, oxidation.

Введение

Карбиды переходных металлов IV–VI групп (TiC , VC , Mo_2C и др.) представляют собой класс тугоплавких соединений с уникальным сочетанием физических и химических свойств. Они сочетают высокую твердость, устойчивость к действию высоких температур и значительную электропроводность. Эти характеристики определяют их широкое применение в металлургии, инструментальном производстве, электронике и нефтехимии. Изучение структуры, свойств и перспектив применения карбидов данных систем является актуальной задачей материаловедения и химии твердого тела.

Карбид титана (TiC) кристаллизуется в кубической гранцентрированной решетке типа $NaCl$ (пространственная группа $Fm\bar{3}m$). Атомы углерода занимают октаэдрические пустоты, образуя прочные металлически-

ковалентные связи с атомами титана. Такая структура обеспечивает соединению высокую механическую прочность и термическую стабильность. Основные характеристики: плотность $4,93 \text{ г/см}^3$, температура плавления $3140^{\circ}C$, твердость 9–9,5 по Моосу, теплопроводность — $27 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ [1–4].

Карбид ванадия (VC) также имеет кубическую решетку типа $NaCl$ (пространственная группа $Fm\bar{3}m$), где углеродные атомы находятся в октаэдрических пустотах. Ковалентно-металлический характер связей обеспечивает высокую прочность и устойчивость при повышенных температурах. Физико-химические параметры: плотность $5,77 \text{ г/см}^3$, температура плавления $2810^{\circ}C$, твердость 9–9,5 по Моосу, теплопроводность $22\text{--}24 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$. VC применяется преимущественно в составе твердых сплавов,

выступая стабилизатором структуры и повышая износостойкость режущего инструмента. Перспективным направлением исследований является разработка наноструктурированных и многокомпонентных карбидных систем на основе VC для эксплуатации в экстремальных условиях [1-4].

Карбид молибдена (Mo_2C). В отличие от TiC и VC, Mo_2C кристаллизуется в гексагональной решётке (пространственная группа $*P6_3/mmc*$), что обуславливает анизотропию его свойств и более низкую симметрию. Характеристики: плотность-9,2 г/см³, температура плавления ~2690 °C, твёрдость — около 9 по Моосу, теплопроводность-20–25 Вт/(м·К). Mo_2C сочетает свойства тугоплавкой керамики и металлического катализатора. Благодаря высокой твёрдости, химической стойкости и каталитической активности он востребован как в области инструментальных материалов, так и в нефтехимии и нанотехнологиях. [1-5].

Карбиды переходных металлов IV–VI групп (TiC, VC, Mo_2C) обладают комплексом уникальных свойств, обеспечивающих их широкое практическое применение. Высокая твёрдость, термостойкость и химическая инертность делают их незаменимыми в инструментальном производстве, металлургии и энергетике. В то же время каталитическая активность, особенно характерная для карбида молибдена, открывает возможности их применения в нефтехимических и нанотехнологических процессах. Современные исследования сосредоточены на создании наноструктурированных и многокомпонентных карбидных систем, способных работать в экстремальных

условиях эксплуатации, что определяет стратегическое направление развития материалов на основе карбидов переходных металлов.

Целью исследования является определение изучение термических свойств продуктов, полученных при совместном электроискровом диспергировании титана и сплава V–Mo в среде этанола.

Материалы и методы исследования

Для синтеза композитов системы Ti–V–Mo использован метод электроискрового диспергирования [6]. В процессе синтеза электроискровому диспергированию подвергались электродные пары, изготовленные из титана (марка BT1-0 ГОСТ 19807-91) и сплава $V_{0,6}\text{Mo}_{0,4}$ (где 0,6 и 0,4 — атомные доли ванадия и молибдена в сплаве). В качестве жидкой среды использовался этиловый спирт ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ГОСТ 5962 – 2013 первого сорта). Энергия единичного искрового разряда составляла 0,05 Дж.

Термический анализ синтезированных продуктов проводился на дериватографе NETZSCH STA 449 F1 в интервале температур 30–1000°C при скорости нагрева 10°C/мин. В качестве эталонного вещества использовался оксид алюминия (Al_2O_3). Масса навески исследуемого образца составляла около 100 мг. Измерения выполнялись в атмосфере воздуха.

Обсуждение полученных результатов

Совмещённая кривая результаты термогравиметрического и дифференциально-сканирующего калориметрического анализа термогравиметрического анализа (ДСК) для продуктов совместного электроискрового диспергирования титана и сплавов системы $V_{0,6}\text{Mo}_{0,4}$ в спирте представлены на рис.1.

В интервале температур до ~500°C на кривой ДСК отсутствуют выраженные тепловые эффекты.

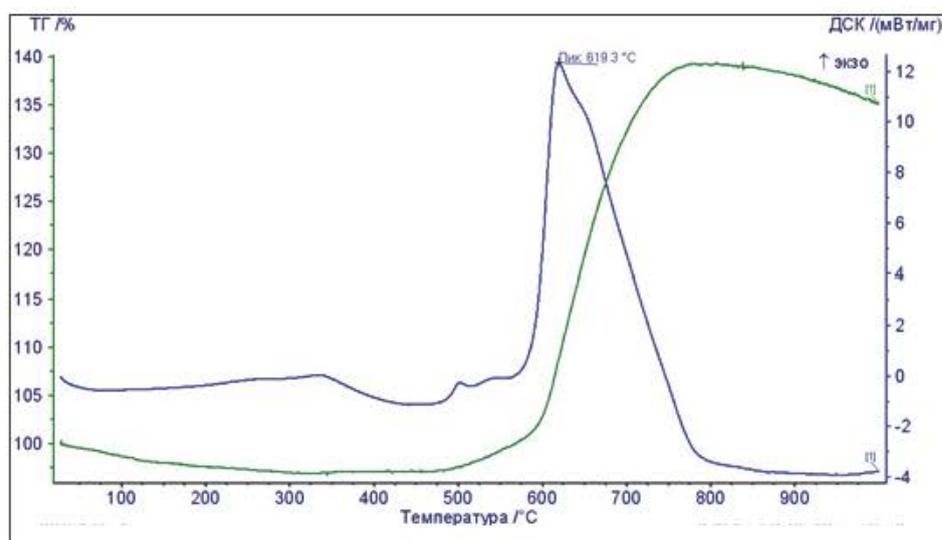


Рис1. Дериватограммы продукты систем $Ti-V_{0.6}Mo_{0.4}$

Кривая ТГ демонстрирует лишь незначительные колебания массы в пределах 1–2%. Это свидетельствует о высокой стабильности продукта на начальных стадиях нагрева и отсутствии интенсивных процессов разложения или фазовых превращений. Незначительные изменения могут быть обусловлены удалением сорбированного этанола, а также перестройкой дефектной структуры материала. При дальнейшем повышении температуры, начиная примерно с 580°C, на кривой ДСК фиксируется резкий тепловой эффект с максимумом при 619,3°C. В диапазоне температур 580–619,3°C фиксируется процесс окисления свободных аморфных форм углерода кислородом. Данный процесс сопровождается снижением массы образца, что связано с выделением диоксида углерода из системы.

Данный пик сопровождается изменением массы образца, что подтверждается характерным спадом кривой ТГ.

При дальнейшем повышении температуры до примерно 800 °C на кривой ДСК фиксируется выраженный экзотермический эффект, обусловленный окислением карбидных фаз титана (TiC), ванадия (VC) и молибдена (Mo₂C), сформировавшихся в процессе электроискрового диспергирования. В данном температурном диапазоне наблюдается выделение диоксида углерода (CO₂), что указывает на интенсивное окисление остаточного

аморфного углерода, присутствующего в продукции диспергирования.

На последующих стадиях нагрева регистрируется дополнительный эндотермический эффект, связанный с разложением оксидов. Этот процесс сопровождается глубокими структурными и фазовыми преобразованиями, связанными с переходом нестабильных оксидных соединений в более термодинамически устойчивые фазы. Выявленные термические эффекты свидетельствуют о сложном характере термического поведения полученных карбидов системы Ti–V–Mo, в которых одновременно протекают процессы окисления карбидных компонентов и разложения оксидов. Полученные результаты согласуются с литературными данными [2,4,5], согласно которым карбиды переходных металлов (Ti, V, Mo) при нагревании на воздухе демонстрируют многостадийное окисление с образованием сложных оксидных фаз, таких как TiO₂, V₂O₅ и MoO₃.

Таким образом, результаты термического анализа подтверждают, что синтезированные методом электроискрового диспергирования системы Ti–V–Mo характеризуются термической стабильностью до 600–620°C, после чего наблюдаются интенсивные окислительно-восстановительные процессы, приводящие к изменению фазового состава материала.

Литература

1. Pierson H. O. Handbook of Refractory Carbides and Nitrides. Noyes Publications, 1996.
2. Oyama S. T. The Chemistry of Transition Metal Carbides and Nitrides. Springer, 1996.
3. Самсонов Г. В., Виницкий И. М. Тугоплавкие соединения. Москва «металлургия» 1976.
4. Chhowalla M., Arenal R. et al. 'Carbides and nitrides of transition metals: synthesis, properties and applications.' *Advanced Materials*, 2013, 25(39): 5473–5491.
5. Li X., Zhang G. 'Recent advances in catalytic applications of molybdenum carbides.' *Applied Catalysis B: Environmental*, 2019, 243: 597–609.
6. Сатывалдиев А., Асанов У.А. Электроэрозионный синтез соединений переходных металлов. – Бишкек: КГНУ, 1995. - 187 с.