

**НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ
ИНСТИТУТ ХИМИИ И ФИТОТЕХНОЛОГИЙ**

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ
ОШСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

Диссертационный совет Д 02.17.561

На правах рукописи

УДК 546.28:546.62:546.56:546.74:661.665.1(575.2)(043.3)

БАКЕНОВ ЖОЛДОШБЕК БЕКБОЕВИЧ

**ПОЛУЧЕНИЕ НАНОДИСПЕРСНЫХ МЕТАЛЛОКОМПОЗИТОВ ПРИ
ЭЛЕКТРОИСКРОВОМ ДИСПЕРГИРОВАНИИ СИСТЕМЫ SiC-Me**

02.00.01 – неорганическая химия

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата химических наук

Бишкек-2018

Работа выполнена на кафедре химии и технологии её обучения Кыргызского государственного университета им. И. Арабаева

Научный руководитель: доктор химических наук,
профессор **Сатывалдиев Абдураим**

Официальные оппоненты: доктор химических наук, доцент
Маметова Алтынай Сулеймановна

кандидат химических наук, доцент
Салиева Калыйпа Талипбаевна

Ведущая организация: факультет химии и химической технологии Кыргызского национального университета им. Ж. Баласагына

Защита диссертации состоится « » 2018 года в часов на заседании диссертационного совета Д 02.17.561 при Институте химии и фитотехнологий Национальной академии наук Кыргызской Республики, Ошском Государственном Университете МОиН КР по адресу: 720071, г. Бишкек, проспект Чуй, 267.

С диссертацией можно ознакомиться в центральной научной библиотеке НАН КР по адресу: 720071, г. Бишкек, пр. Чуй, 265-а и на сайте диссертационного совета: <http://www.ihftnaskr.kg>

Автореферат разослан “ ” 2018 года

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат химических наук,
старший научный сотрудник

Камбарова Г.Б.

Общая характеристика работы

Актуальность темы. В настоящее время проводятся интенсивные исследования, направленные на разработку и более широкое практическое применение металломатричных нанокпозиционных материалов, которые обладают повышенными физико-химическими свойствами. Эти материалы обеспечивают снижение массы изделий с одновременным повышением надежности и увеличением ресурса работы [А.А. Батаев, 2002].

В композиционных материалах происходит соединение положительных свойств исходных компонентов с получением в результате их объединения – материала с синергетическим эффектом, превышающим суммарный эффект. Особое внимание уделяется получению композитов с наноразмерными частицами армирующей фазы. Уменьшение размеров частиц до наноуровня существенно увеличивает их количество в единице объема матрицы и способствует формированию ее мелкокристаллической структуры, способствующую повышению механических свойств композиционных материалов [А.П. Амосов, 2013].

Создание металломатричных нанодисперсных композиционных материалов является многостадийным и трудоемким процессом, требующим достаточно сложного оборудования. В связи с этим разработка новых эффективных методов синтеза нанокпозиционных материалов, обеспечивающих равномерное распределение наноструктур, связанных с матрицей, является актуальной задачей, позволяющей получать многофункциональные материалы нового поколения [М.А. Корчагин, 2007].

Для получения нанокпозиционных материалов практически интерес представляет метод электроискрового диспергирования. В этом методе в канале искрового разряда возникает температура до 10000°С и под действием такой температуры материалы электродов плавятся и могут закипеть, а под действием ударной волны, сопровождающей искровой разряд, происходит удаление расплавленного материала из микроучастка поверхности электродов в виде мельчайших частиц в жидкой среде и эти частицы подвергаются высокоскоростной закалке. Эти условия позволяют получать устойчивые нанодисперсные порошки [У.А. Асанов, 2001].

Цель и задачи исследований. Целью настоящей работы является изучение закономерности получения нанодисперсных металлокомпозитов при совместном электроискровом диспергировании карбида кремния с металлами.

Для достижения этой цели решались следующие задачи:

- изучение закономерности получения нанодисперсных металлокомпозитов в условиях искрового разряда;
- установление фазового состава и дисперсности продуктов, полученных при совместном электроискровом диспергировании карбида кремния с металлами;
- изучение некоторых свойств полученных нанодисперсных металлокомпозитов.

Связь темы с планом научно-исследовательских работ.

Данная работа выполнена на кафедре химии и технологии ее обучения Кыргызского государственного университета (КГУ) им. И. Арабаева в соответствии с госбюджетной темой в период с 2005 по 2017 гг: «Разработка физико-химических основ синтеза перспективных неорганических и органических материалов», № госрегистрации 0003818.

Научная новизна. Впервые изучены закономерности синтеза нанодисперсных металлокомпозитов при совместном электроискровом диспергировании карбида кремния с металлами. Показано, что фазовый состав продуктов зависит от природы металла и жидкой среды. Установлено, что металлокомпозиты, содержащие карбид кремния и кремний, образуются при электроискровом диспергировании систем SiC-Al, SiC-Cu и SiC-Ni. Алюмоматричные композиты получены в гексане и спирте, а металлокомпозиты на основе меди и никеля только в гексане. Установлено, что более низкоразмерные наночастицы металла, карбида кремния и кремния содержат алюмоматричный композит и данный металлокомпозит является более устойчивым при нагревании на воздухе до 500°C. Показано, что синтезированные металлокомпозиты обладают металлической проводимостью. Наиболее высокой удельной электропроводностью характеризуется металлокомпозит системы SiC-Ni и по магнитным свойствам данный металлокомпозит относится к магнитомягким материалам. Металлокомпозиты обладают каталитической активностью для реакции разложения пероксида водорода и более высокую каталитическую активность имеет металлокомпозит системы SiC-Cu, полученный в спирте.

Практическая значимость работы. Разработаны физико-химические основы синтеза металлокомпозитов на основе алюминия, меди и никеля методом электроискрового диспергирования. Металлокомпозиты с металлической проводимостью могут быть использованы в качестве материала для создания электроконтактных деталей, а также в качестве катализаторов. Металлокомпозит системы SiC-Ni, как магнитомягкий материал, может быть использован для изготовления магнитоприводов электрических машин и приборов.

Основные положения, выносимые на защиту:

- закономерности получения нанодисперсных металлокомпозитов в условиях электроискрового диспергирования;
- зависимость фазового состава полученных нанодисперсных металлокомпозитов от природы диспергируемого металла и состава жидкой среды;
- результаты дериватографического анализа металлокомпозитов;
- зависимость дисперсности порошков металлокомпозитов от природы металла и состава диэлектрической среды;
- результаты изучения электрических, магнитных и каталитических свойств нанодисперсных металлокомпозитов.

Личный вклад соискателя. Автором проведен анализ литературы, посвященной физико-химическим свойствам и методам получения металлокомпозитных материалов. Проведены эксперименты по получению металлокомпозитов в условиях электроискрового диспергирования, по изучению их фазового состава, дисперсности и некоторых свойств. Обсуждены результаты эксперимента и сделаны выводы.

Апробация результатов диссертации. Результаты исследований докладывались на следующих конференциях: научно-практической конференции «Педагогическое образование и наука: традиции и инновации», Бишкек, 2008; Республиканской научно-практической конференции «Химия. Химическая технология. Проблемы и перспективы», Бишкек, 2013; Международной научно-практической конференции «Современное развитие химических и биологических наук и педагогическое образование», Бишкек, 2014; научно-практической конференции с международным участием «Педагогическое образование и естественные науки: современное состояние и перспективы развития Кыргызской Республики», Бишкек, 2017.

Публикации. По результатам исследования опубликованы 11 научных статей, из них 2 статьи в журналах России (РИНЦ).

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 3 глав, выводов, изложенных на 132 страницах компьютерного текста, включая 25 таблиц и 25 рисунков, библиографию из 164 наименований.

Основное содержание работы

Во введении изложена актуальность темы диссертационной работы. Сформулированы цель и задачи исследования, а также основные положения, выносимые на защиту. Определена научная новизна и практическая значимость результатов исследований.

В первой главе приведен обзор научной литературы по физико-химическим свойствам и методам получения металломатричных нанокompозитов. На основе анализа и сопоставления литературных данных показано, что существующие методы синтеза трудоемки по своему исполнению и не позволяют получать композиционные материалы, удовлетворяющие современным требованиям, поэтому поиск новых методов синтеза металлокомпозитов является актуальным направлением современных исследований.

Вторая глава диссертации посвящена методике получения и методам исследования металлокомпозитов. Для получения металлокомпозитов использован метод совместного электроискрового диспергирования карбида кремния с металлами, а для изучения их фазового состава, дисперсности и свойств применены современные физико-химические методы.

В третьей главе приводятся экспериментальные данные по изучению фазового состава, дисперсности, электрических, магнитных и каталитических свойств синтезированных нанодисперсных металлокомпозитов и их обсуждение.

Фазовый состав продукта электроискрового диспергирования карбида кремния. Определенный интерес представляет изучение поведения карбида кремния в условиях электроискрового диспергирования, т.к. процесс протекает при высокой температуре.

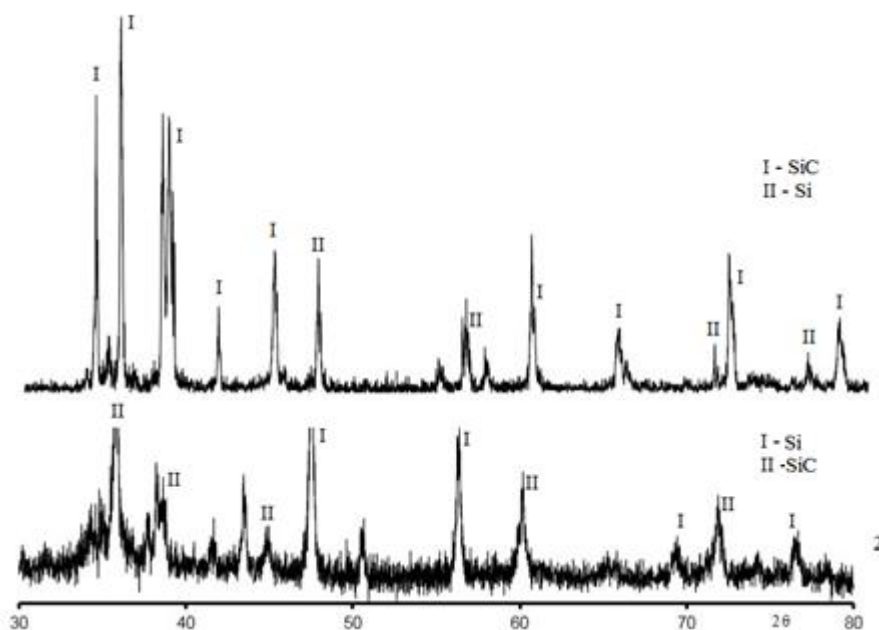


Рис. 1. Дифрактограммы промышленного карбида кремния (1) и продукта электроискрового диспергирования карбида кремния в гексане (2).

Результаты расчета дифрактограммы исходного карбида кремния показывают, что в составе промышленного карбида кремния кроме карбида SiC имеется и элементарный кремний (рис. 1 (1)). После электроискрового диспергирования карбида кремния в составе продуктов увеличивается элементарный кремний и он является основной фазой, а содержание карбида кремния уменьшается (рис. 1 (2)). Карбид кремния имеет гексагональную решетку, а кремний кубическую решетку.

Фазовый состав продуктов совместного электроискрового диспергирования карбида кремния с металлами. Для получения металлокомпозитов, содержащих карбид кремния и кремний, совместному электроискровому диспергированию подвергалась электродная пара, состоящая из карбида кремния и металла. В качестве металлического электрода использованы следующие металлы различной природы: алюминий, медь, никель, железо, титан и вольфрам.

На рис. 2 представлены дифрактограммы продуктов совместного электроискрового диспергирования карбида кремния с алюминием, медью и никелем.

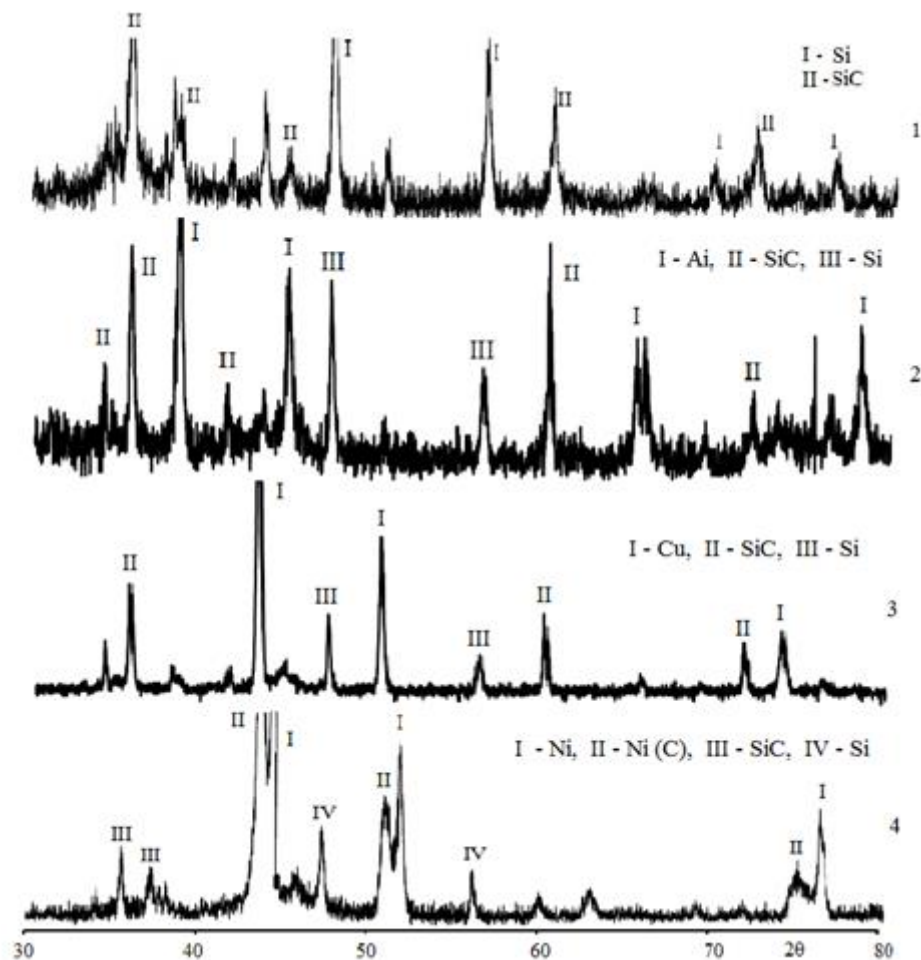


Рис. 2. Дифрактограммы продуктов электроискрового диспергирования карбида кремния (1) и совместного электроискрового диспергирования карбида кремния с алюминием (2), медью (3) и никелем (4) в гексане.

Анализ дифрактограмм показывает, что основными компонентами продуктов являются соответствующий металл, карбид кремния и кремний. При электроискровом диспергировании карбида кремния совместно с алюминием образуется трехфазный продукт, состоящий из алюминия, карбида кремния и кремния (рис. 2 (2); табл. 1). Главной фазой продукта является металлический алюминий с кубической решеткой.

При совместном электроискровом диспергировании карбида кремния с железом, титаном и вольфрамом в гексане образуются продукты, состоящие из карбидов соответствующих металлов, карбида кремния и кремния.

Продукт совместного электроискрового диспергирования карбида кремния с титаном в гексане состоит из трех фаз (табл. 2). Основной фазой является карбид кремния, второй фазой является карбид титана и третьей фазой кремний.

Таблица 1 - Результаты расчета дифрактограммы продукта совместного электроискрового диспергирования карбида кремния с алюминием в гексане

№	Экспериментальные данные		Фазовый состав						
	I	d, A ⁰	Al		SiC			Si	
			hkl	a, A ⁰	hkl	a, A ⁰	c, A ⁰	hkl	a, A ⁰
1.	36	2,6337			101	3,092	15,076		
2.	65	2,5231			006		15,108		
3.	100	2,3417	111	4,056					
4.	27	2,1890			104	3,108	15,087		
5.	58	2,0281	200	4,056					
6.	57	1,9225						220	5,438
7.	68	1,5413			108	3,108	15,087		
8.	42	1,4320	220	4,053					
9.	26	1,3159			1010	3,064	15,103		
10.	24	1,2920			203	3,092	15,076		
11.	27	1,2482						331	5,440
12.	40	1,2236	311	4,058					

Таблица 2 - Результаты расчета дифрактограммы продукта совместного электроискрового диспергирования карбида кремния с титаном в гексане

№	Экспериментальные данные		Фазовый состав						
	I	d, A ⁰	SiC			TiC		Si	
			hkl	a, A ⁰	c, A ⁰	hkl	a, A ⁰	hkl	a, A ⁰
1.	100	2,5245	006		15,147				
2.	51	2,5054				111	4,339		
3.	51	2,1689				200	4,338		
4.	22	1,9232						220	5,439
5.	20	1,5436	108	3,089	15,126				
6.	27	1,5339				220	4,338		
7.	10	1,3102	1010	3,089	15,126				
8.	18	1,3087				113	4,340		
9.	11	1,2513				222	4,335		

Таким образом, результаты рентгенофазового анализа продуктов совместного электроискрового диспергирования карбида кремния с металлами показывают, что фазовый состав продуктов зависит от природы металлов. Установлено, что металлокомпозиты, содержащие карбид кремния и кремний,

образуются при совместном электроискровом диспергировании карбида кремния с алюминием, медью и никелем.

Зависимость фазового состава продуктов совместного электроискрового диспергирования карбида кремния с металлами от природы жидкой среды. Для изучения зависимости фазового состава продуктов совместного электроискрового диспергирования карбида кремния с алюминием, медью и никелем от природы жидкой среды в качестве жидкой среды использованы гексан, этиловый спирт и вода. Дифрактограммы продуктов совместного электроискрового диспергирования карбида кремния с алюминием в гексане, спирте и воде представлены на рис. 3.

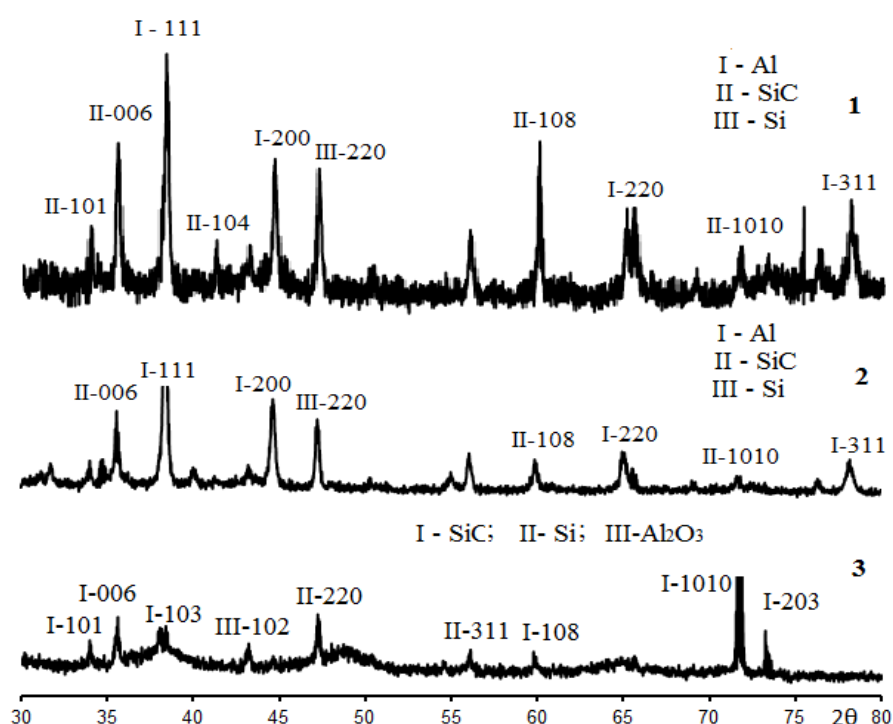


Рис. 3. Дифрактограммы продуктов совместного электроискрового диспергирования карбида кремния с алюминием в гексане (1), спирте (2) и воде (3).

Анализ дифрактограмм показывает, что фазовый состав продуктов совместного электроискрового диспергирования карбида кремния с алюминием зависит от природы жидкой среды. Как указано выше, продукт, полученный в гексане, состоит из трех фаз. Основной фазой является металлический алюминий, второй фазой - карбид кремния, а третьей фазой - кремний. Такие же фазы образуются при диспергировании системы SiC-Al в спирте, а в воде происходит образование оксида алюминия.

Анализ дифрактограмм продуктов совместного электроискрового диспергирования карбида кремния с медью и никелем показывает, что их фазовый состав также зависит от природы жидкой среды. В гексане образуются продукты, где основной фазой являются, соответственно, медь и

никель. В спирте образуются продукты, содержащие кроме металлов и, соответственно, оксида меди и твердый раствор углерода в никеле, а в воде происходит полное окисление металлических фаз.

Содержание фаз и элементный состав металлокомпозитов. В табл. 3 приведены расходы электродов, качественное и количественное содержание элементов в составе продуктов совместного электроискрового диспергирования карбида кремния с алюминием.

Таблица 3 - Расход электродов и элементный состав продуктов совместного электроискрового диспергирования карбида кремния с алюминием

№	Электроды	Жидкая среда	Расход электродов		Элементный состав	Содержание элементов		
			г	масс. %		Масс.%	Ат.%	
1.	SiC	Гексан	0,606	53,48	Al	30,52	22,72	
	Al		0,527	46,52	Si	40,86	29,33	
						C	28,62	47,95
2.	SiC	Спирт	0,790	66,22	Al	28,84	25,14	
	Al		0,403	33,78	Si	56,17	47,22	
						C	14,09	27,64
3.	SiC	Вода	0,200	45,98	Al	36,34	31,39	
	Al		0,235	54,02	Si	42,31	35,24	
						C	4,63	9,00
						O	16,72	24,37

Из табл. 3 видно, что диспергируемость электродов зависит от природы жидкой среды. Результаты элементного анализа подтверждают данные, полученные методом рентгенофазового анализа. Продукты, полученные в гексане и спирте, состоят из трех элементов (Al, Si, C), а продукт, полученный в воде - из четырех элементов (Al, Si, C, O).

В табл. 4 приведены результаты определения количественного содержания фаз в составе продуктов, полученных при совместном электроискровом диспергировании карбида кремния с алюминием и медью в гексане и спирте.

Таблица 4 - Содержание фаз в составе продуктов совместного электроискрового диспергирования карбида кремния с алюминием и медью

№	Фаза	Содержание фаз, % (масс.)	
		Гексан	Спирт
SiC-Al			
1.	Al	44,16	32,76
2.	SiC	24,32	38,24
3.	Si	21,51	24,12
4.	C	10,01	4,88
SiC-Cu			
1.	Cu	56,84	16,12
2.	Cu ₂ O	-	6,80
3.	SiC	19,08	44,17
4.	Si	12,14	29,33
5.	C	11,94	3,58

Анализ содержания фаз в составе продуктов показывает, что соотношение металлической фазы и карбида кремния зависит от природы металла и жидкой среды. В составе алюмокомпозита, полученного в гексане, содержание алюминия в 1,8 раза больше, чем карбида кремния, а в составе алюмокомпозита, полученного в спирте, соотношение Al:SiC = 1:1,2. Образованный в гексане металлокомпозит на основе меди содержит металла в 3 раза больше, чем карбида кремния, а в спирте образуется металлокомпозит, содержащий металлическую и карбидную фазы в отношении 0,43.

Таким образом, в составе металлокомпозитов, полученных в гексане содержание металлической фазы от 1,8 до 3,0 раза больше, чем содержание карбидной фазы. В спирте образуются металлокомпозиты, где содержание металлической фазы меньше или примерно равно содержанию карбидной фазы.

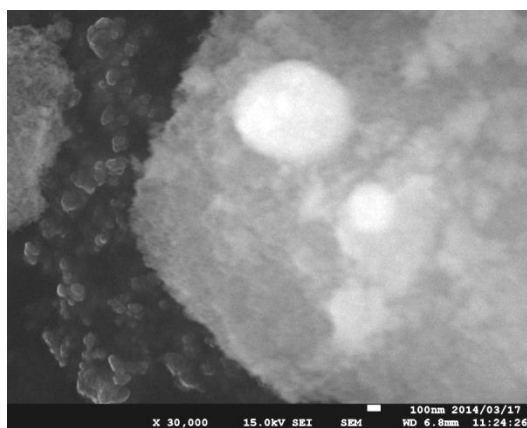
Дисперсность металлокомпозитов. Проведена оценка размеров областей когерентного рассеяния (ОКР) частиц металлов, карбида кремния и кремния, находящихся в составе синтезированных металлокомпозитов, по уширению рефлексов на дифрактограммах по формуле Шеррера –Селякова (табл. 5).

Результаты расчета размеров ОКР подтверждают образование наночастиц металлов, карбида кремния и кремния при совместном электроискровом диспергировании карбида кремния с металлами в гексане и спирте.

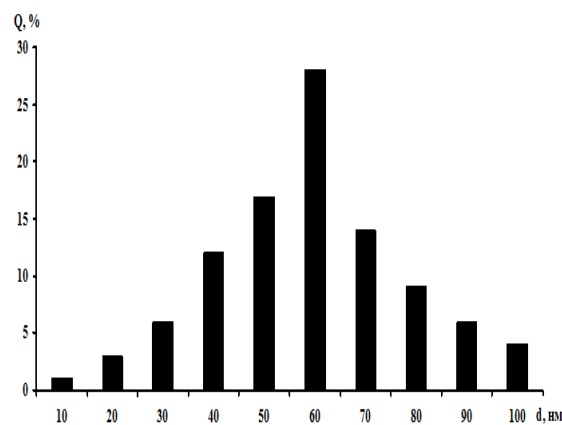
Таблица 5 - Размеры ОКР ($d_{\text{ОКР}}$) частиц металлов, карбида кремния и кремния, находящихся в составе синтезированных металлокомпозитов

№	Фаза	$d_{\text{ОКР}}$, нм	
		Гексан	Спирт
SiC-Al			
1.	Al	18,5	26,6
2.	SiC	19,7	29,6
3.	Si	16,7	23,3
SiC-Cu			
1.	Cu	25,5	27,5
2.	SiC	31,0	33,0
3.	Si	31,5	39,5

В составе металлокомпозита, полученного в гексане, содержатся более низкоразмерные наночастицы алюминия, карбида кремния и кремния, чем в составе металлокомпозита, полученного в спирте. Такая же закономерность сохраняется по размерам ОКР наночастиц фаз, полученных при совместном электроискровом диспергировании карбида кремния с медью в гексане и спирте.

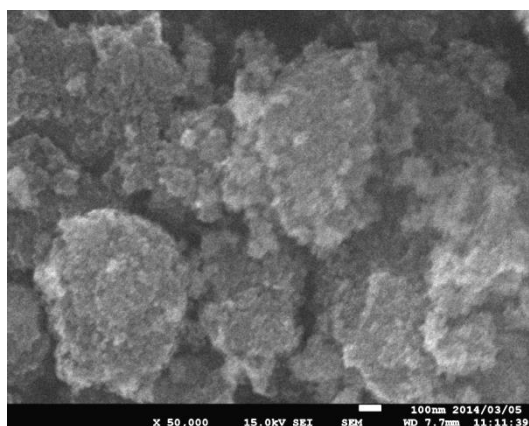


а.

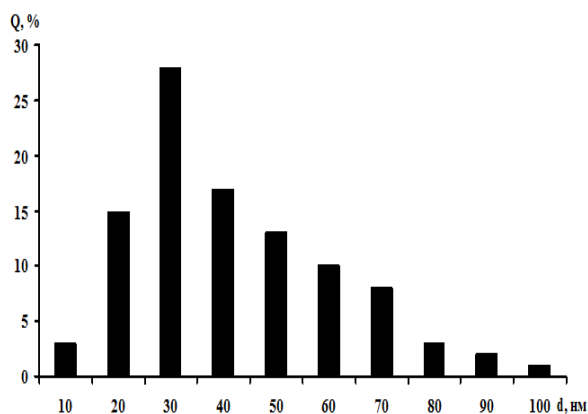


б.

Рис. 4. Микрофотография (а) и распределение частиц по размерам (б) металлокомпозита на основе алюминия, полученного в гексане.

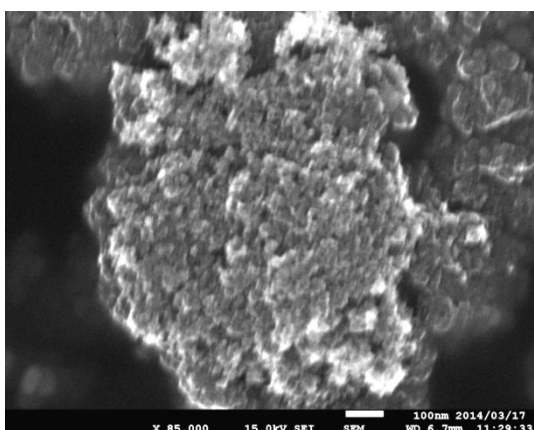


а.

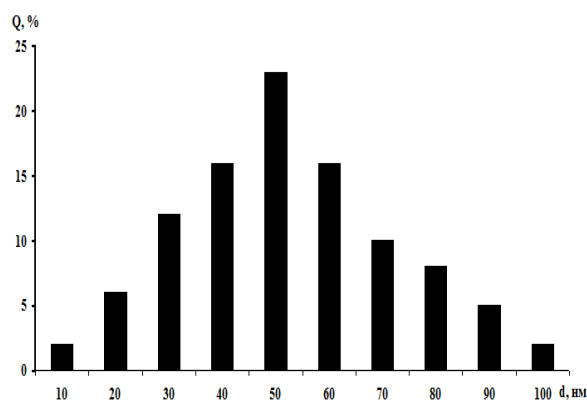


б.

Рис. 5. Микрофотография (а) и распределение частиц по размерам (б) металлокомпозита на основе меди, полученного в гексане.



а.



б.

Рис. 6. Микрофотография (а) и распределение частиц по размерам (б) металлокомпозита на основе никеля, полученного в гексане.

Дисперсность синтезированных металлокомпозитов изучена методом электронной микроскопии. На рис. 4-6 представлены микрофотографии металлокомпозитов, синтезированных на основе алюминия, меди и никеля и распределение частиц металлокомпозитов по размерам.

Из микрофотографий металлокомпозитов видно, что металлокомпозиты состоят из наноразмерных частиц, которые образуют скопление различных размеров и форм. Распределение наночастиц металлокомпозитов по размерам показывает, что средний диаметр частиц зависит от природы металла. Металлокомпозит системы SiC-Cu состоит из более низкоразмерных частиц со средним диаметром 30 нм, а

металлокомпозиты систем SiC-Al и SiC- Ni состоят из частиц со средним диаметром 50-60 нм.

Термические свойства металлокомпозитов. Для изучения термических свойств металлокомпозитов были сняты их дериватограммы. Дериватограмма полученного в гексане алюмокомпозита представлена на рис. 7.

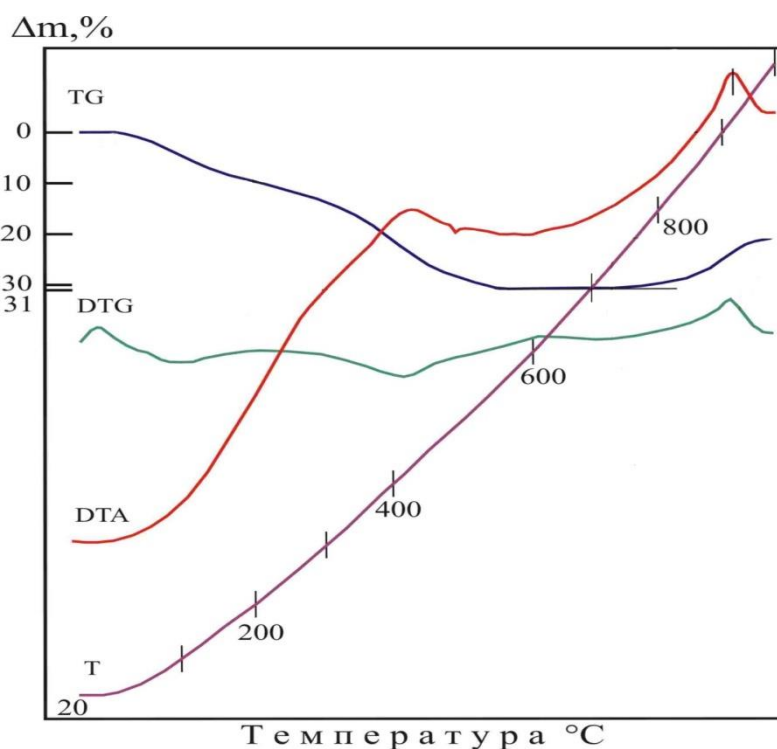


Рис. 7. Дериватограмма полученного в гексане алюмокомпозита.

На дериватограмме алюмокомпозита имеется два экзотермических эффекта. Температурный максимум первой экзотермической реакции соответствует 425°C и она связана сгоранием свободного углерода, входящего в состав продукта. С повышением температуры окисление алюминия активизируется и достигает своего максимума, образуя экзотермический пик при 920°C . Что подтверждают результаты рентгенофазового анализа термически обработанных при 500°C и 900°C продуктов (рис. 8).

Анализ дифрактограмм показывает, что фазовый состав алюмокомпозита после термической обработки при 500°C в атмосфере воздуха не изменяется, а при 900°C происходит окисление алюминия. Металлы, находящиеся в составе металлокомпозитов систем SiC-Cu и SiC-Ni, при термической обработке при 500°C в атмосфере воздуха подвергаются окислению.

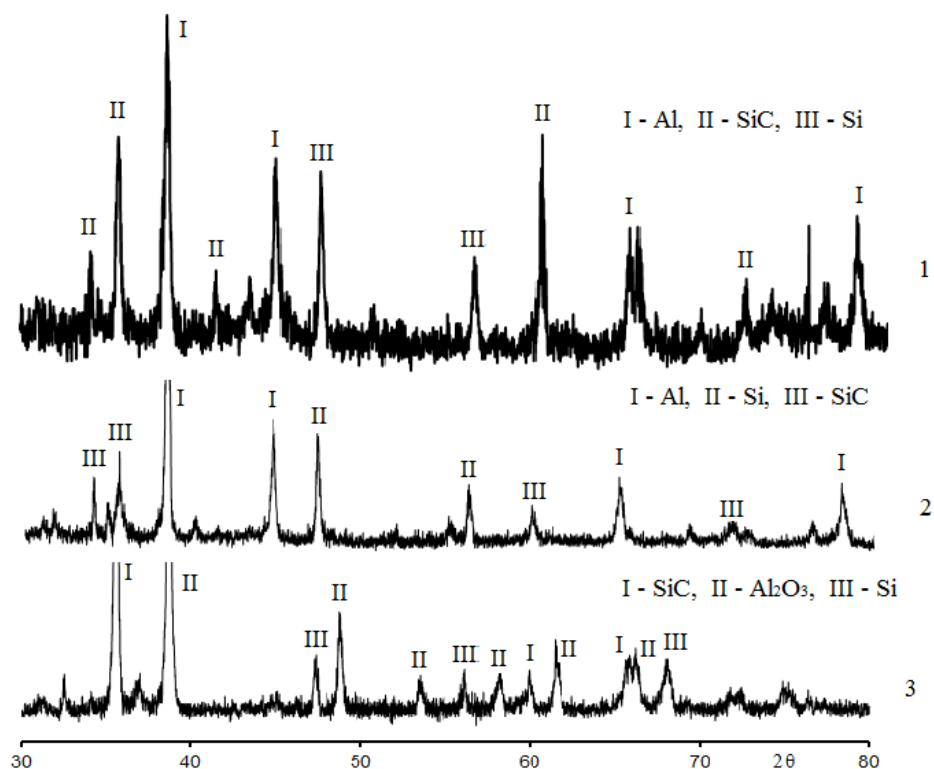


Рис. 8. Дифрактограммы алюмокомпозита, синтезированного в гексане (1) и после термообработки его при 500°C (2) и 900°C (3).

Таким образом, методом дериватографического анализа установлено, что термическая устойчивость металлокомпозитов зависит от природы металла. При нагревании на воздухе до 500°C более устойчивым является металлокомпозит системы SiC-Al.

Плотность, электропроводность и магнитные свойства металлокомпозитов. Одной из физических свойств металлокомпозитов является их плотность. Плотность металлокомпозитов определяли пикнометрическим методом (табл. 6). Плотность для одного и того же металлокомпозита зависит от природы жидкой среды, где они синтезированы. Это связано с различным содержанием металлических компонентов в составе продуктов.

Таблица 6 – Плотность металлокомпозитов, синтезированных при совместном электроискровом диспергировании карбида кремния с алюминием, медью и никелем

Система	ρ , г/см ³	
	Гексан	Спирт
Al-SiC	1,26	1,51
Cu-SiC	2,45	1,63
Ni-SiC	2,27	2,09

Электропроводность нанопорошков композиционных материалов определяется в основном характеристиками индивидуальных контактов частиц (размерами площадки контакта, долей металлического контакта), сопротивлением контактов между отдельными частицами. Поэтому нами изучены электропроводности синтезированных металлокомпозитов (табл. 7).

Таблица 7 – Электропроводность продукта электроискрового диспергирования карбида кремния и металлокомпозитов, синтезированных при совместном электроискровом диспергировании карбида кремния с алюминием, медью и никелем

Система	Температура, °С	R, кОм	$\rho \cdot 10^5, \text{ом}^{-1}\text{м}^{-1}$
Гексан			
SiC-SiC	25	1750	0,12
	400	350	0,61
SiC-Al	25	164	1,03
	400	212	0,87
SiC-Cu	25	133	1,61
	400	185	1,16
SiC-Ni	25	61	3,54
	400	39	5,48
Спирт			
SiC-Al	25	263	0,68
	400	308	0,53
SiC-Cu	25	423	0,42
	400	534	0,31
SiC-Ni	25	123	1,74
	400	96	2,87

Электропроводность металлокомпозитов зависит от природы металла и природы жидкой среды. При одинаковых условиях наиболее высокой электропроводностью обладает металлокомпозит системы SiC-Ni. Электропроводность для одного и того же металлокомпозита, полученного в гексане выше, чем электропроводность этого же металлокомпозита, полученного в спирте.

Для металлокомпозитов определен интерес представляет изучение их электропроводности при высокой температуре, поэтому нами определены их электропроводности при 400°С. Электропроводность металлокомпозитов систем SiC-Al и SiC-Cu, полученных в гексане и спирте с повышением температуры понижается, а электропроводность металлокомпозита системы

SiC-Ni, не зависимо от природы жидкой среды, с повышением температуры увеличивается.

Таким образом, металлокомпозиты систем SiC-Al, SiC-Cu и SiC-Ni обладают металлической проводимостью.

Никель является типичным ферромагнетиком. Поэтому определенный интерес представляет изучение магнитных свойств металлокомпозита системы SiC-Ni.

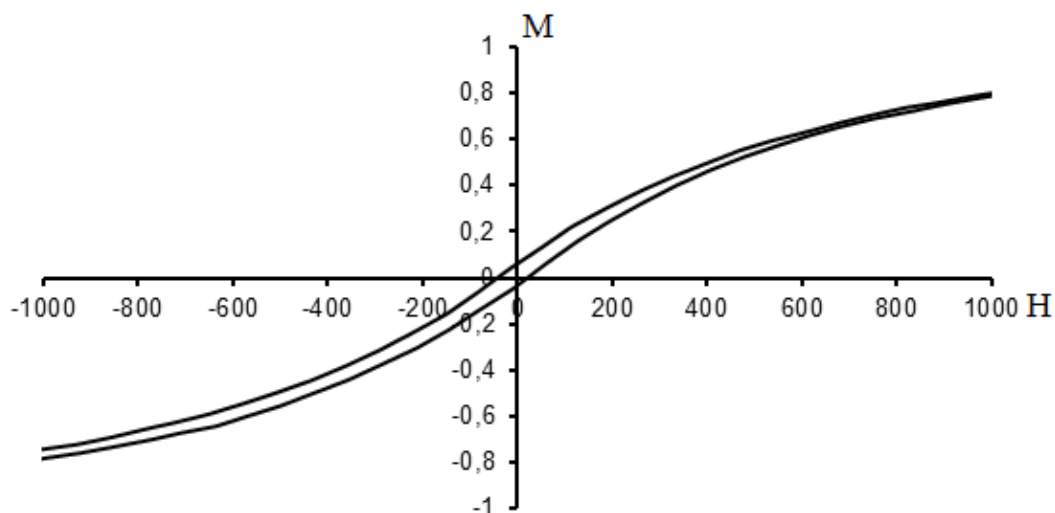


Рис. 9. Магнитный гистерезис металлокомпозита системы SiC-Ni.

Магнитный гистерезис металлокомпозита характеризуется малой площадью петли гистерезиса (рис. 9). Поэтому он относится к магнитомягким материалам и может быть использован для изготовления магнитопроводов электрических машин и приборов.

Каталитические свойства металлокомпозитов. Одно из самых перспективных направлений применения нанометаллов является использование их в качестве катализаторов. Поэтому определенный интерес представляет изучение каталитической активности металлокомпозитов, т.к. в их составе содержатся металлы в нанодисперсном состоянии. В качестве модельной реакции для оценки каталитической активности металлокомпозитов использована реакция разложения пероксида водорода.

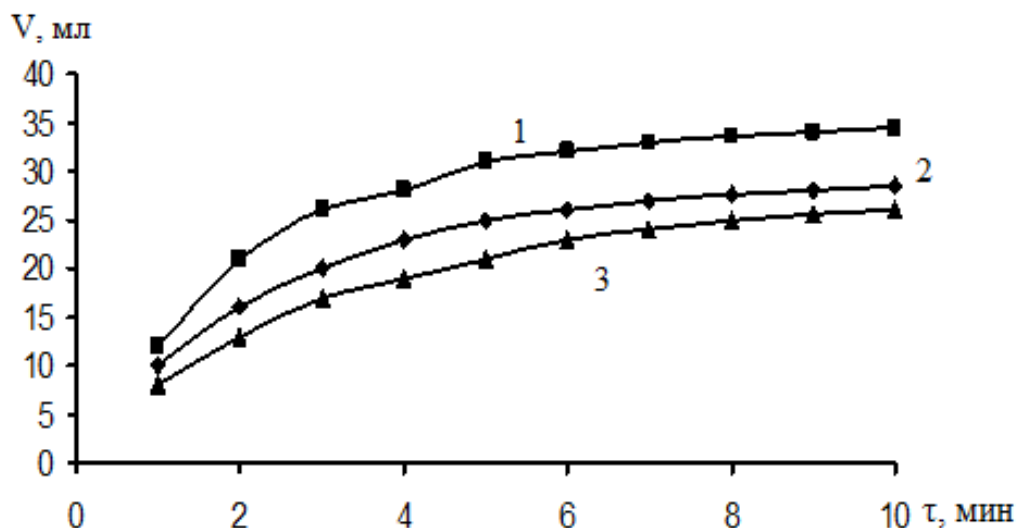


Рис.10. Кинетические кривые реакции разложения пероксида водорода в присутствии металлокомпозитов систем SiC-Al (1), SiC-Cu (2) и SiC-Ni (3), полученных в спирте, при 50⁰C.

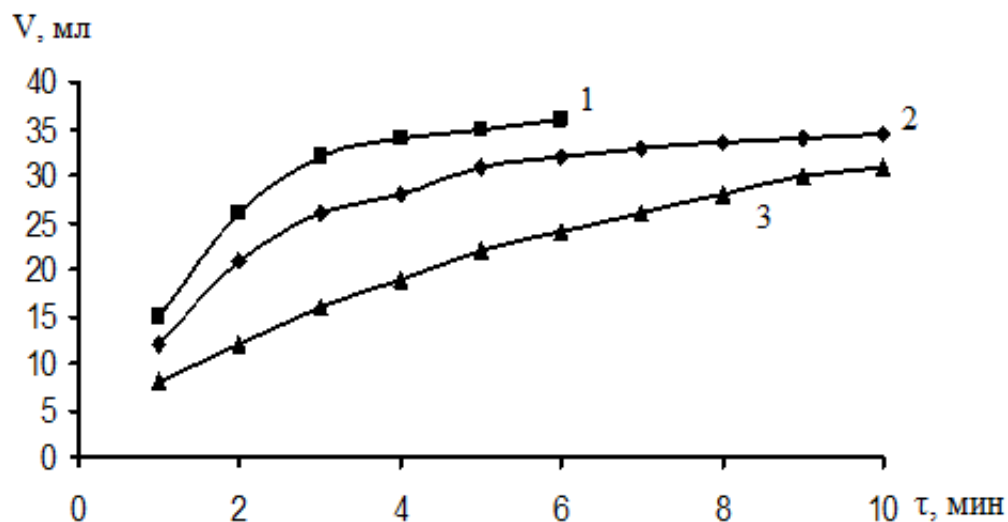


Рис.11. Кинетические кривые реакции разложения пероксида водорода в присутствии металлокомпозита системы SiC-Ni, полученного в спирте, при 70⁰C (1), 50⁰C (2) и 30⁰C (3).

Из анализа кинетических кривых установлено, что каталитическая активность металлокомпозитов зависит от природы металла и природы жидкой среды, в котором получен металлокомпозит. В одинаковых условиях более высокой каталитической активностью для реакции разложения пероксида водорода обладает металлокомпозит системы SiC-Cu, полученный в спирте (рис. 10).

Скорость реакции разложения пероксида водорода в присутствии металлокомпозитов зависит от температуры и с увеличением температуры скорость реакции каталитического разложения пероксида водорода, не зависимо от природы катализатора, увеличивается (рис. 11).

ВЫВОДЫ

1. Впервые изучены закономерности синтеза нанодисперсных металлокомпозитов методом электроискрового диспергирования. Показано, что фазовый состав продуктов совместного электроискрового диспергирования карбида кремния с металлами в гексане зависит от природы металла. Установлено, что металлокомпозиты, содержащие карбид кремния и кремний, образуются при совместном электроискровом диспергировании карбида кремния с алюминием, медью и никелем.

2. Установлена зависимость фазового состава продуктов электроискрового диспергирования систем SiC-Me от природы жидкой среды. Алюмоматричные композиты образуются в гексане и спирте, металлокомпозиты на основе меди и никеля можно получить только в гексане.

3. На основе расчета размеров ОКР и анализа микрофотографий установлено образование наночастиц металлов, карбида кремния и кремния при электроискровом диспергировании системы SiC-Me в гексане. Наиболее низкоразмерные наночастицы компонентов металлокомпозита содержатся в составе продукта системы SiC-Al.

4. Методом дериватографического анализа установлено, что термическая устойчивость металлокомпозитов зависит от природы металла. При нагревании на воздухе до 500°C более устойчивым является металлокомпозит системы SiC-Al.

5. Методом измерения электросопротивления установлено, что металлокомпозиты систем SiC-Al, SiC-Cu и SiC-Ni обладают металлической проводимостью. Показано, что более высокой удельной электропроводностью обладает металлокомпозит системы SiC-Ni, а также данный металлокомпозит по магнитным свойствам относится к магнитомягким материалам.

6. Показано, что синтезированные металлокомпозиты обладают каталитической активностью для реакции разложения пероксида водорода. Скорость разложения H_2O_2 зависит от природы металла, находящегося в составе металлокомпозита, природы жидкой среды, в которой получен металлокомпозит, и температуры.

Список опубликованных работ:

1. **Сатывалдиев А.С.** Изучение продуктов электроискрового диспергирования карбида кремния в паре с титаном [Текст] / А.С. Сатывалдиев, Ж.Б. Бакенов // Вестник КГУ им. И. Арабаева. - Бишкек, 2008. – Вып.11. – С. 210-213.
2. **Бакенов Ж.Б.** О фазовом составе продуктов электроискрового диспергирования SiC в паре W и сплавом ВК [Текст] / Ж.Б. Бакенов // Вестник КГУ им. И. Арабаева. - Бишкек, 2010. – Вып.4. – С. 246-249.
3. **Бакенов Ж.Б.** О продукте электроискрового диспергирования карбида кремния [Текст] / Ж.Б. Бакенов, А.С. Сатывалдиев // Известия ВУЗов. - Бишкек, 2011. - № 3. – С. 133-135.
4. **Бакенов Ж.Б.** О фазовом составе продуктов совместного электроискрового диспергирования карбида кремния с алюминием и никелем [Текст] / Ж.Б. Бакенов, А.С. Сатывалдиев // Наука и новые технологии. - Бишкек, 2011. - № 3. – С. 72-75.
5. **Бакенов Ж.Б.** О фазовом составе и дисперсности продукта электроискрового диспергирования системы SiC-Ni [Текст] / Ж.Б. Бакенов // Известия ВУЗов. - Бишкек, 2014. - № 5. – С. 89-90.
6. **Бакенов Ж.Б.** Возможности получения нанокompозитов системы SiC-Al методом электроискрового диспергирования [Текст] / Ж.Б. Бакенов // Известия НАН РК, Серия химии и технологии. – Алматы, 2014. - № 4. – С. 74-77.
7. **Бакенов Ж.Б.** О продуктах совместного электроискрового диспергирования карбида кремния с некоторыми металлами [Текст] / Ж.Б. Бакенов // Вестник КНУ им. Ж. Баласагына. - Бишкек, 2014. – Вып. 3. – С. 7-12.
8. **Бакенов Ж.Б.** Синтез нанокompозита на основе меди, содержащего карбид кремния, методом электроискрового диспергирования [Текст] / Ж.Б. Бакенов, А.С. Сатывалдиев, Э. Муратов // Наука и новые технологии. - Бишкек, 2014. - № 5. – С. 71-73.
9. **Бакенов Ж.Б.** Фазовый состав и дисперсность продукта электроискрового диспергирования системы SiC-Al [Текст] / Ж.Б. Бакенов, А.С. Сатывалдиев, Г.Н. Осмонканова // Наука, техника и образование. - г. Москва, 2016. – Вып. № 3 (21). - С. 63-67.
10. **Бакенов Ж.Б.** Фазовый состав и дисперсность продукта электроискрового диспергирования системы SiC-Al [Текст] / Ж.Б. Бакенов, А.С. Сатывалдиев, Г.К. Насирдинова // Проблемы современной науки и образования. - г. Москва, 2016. - Вып № 6 (48). - С. 23-27.
11. **Бакенов Ж.Б.** Термические свойства металлокомпозита, состоящего из алюминия, карбида кремния и кремния [Текст] / Ж.Б. Бакенов, Г.К. Насирдинова // Известия ВУЗов. - Бишкек, 2017. - № 11. – С. 28-30.

Бакенов Жолдошбек Бекбоевичтин

**«SiC-Me системасын электр учкундук дисперстөө менен нанодисперстүү металл композиттерин алуу» деген темадагы 02.00.01 – органикалык эмес химия адистиги боюнча химия илимдеринин кандидаты окумуштуулук даражасына сунуш кылынган диссертациясынын
КОРУТУНДУСУ**

Негизги сөздөр: нанодисперстүү металл композиттери, алуу, электр учкундук дисперстөө, кремний карбиди, алюминий, жез, никель, гексан, спирт, суу, фазалык курамы, дисперстүүлүк, электр өткөрүмдүүлүк, каталитикалык активдүүлүгү.

Изилдөөнүн объектиси: алюминийдин, жездин жана никелдин негизиндеги металлокомпозиттер.

Иштин максаты: кремний карбидин металлдар менен бирге электр учкундук дисперстөө менен нанодисперстүү металл композиттерин алуу законченемдүүлүктөрүн изилдөө.

Изилдөө методдору: рентген фазалык анализ, электрондук микроскопия, рентген спектралдык микроанализ, дериватографиялык анализ.

Илимий жабдыктар: RINT-2500 HV дифрактометри, энергиялык дисперсиялык рентгендик микроанализдөөчү системасы менен JOEL JSM-7600F сканирлөөчү электрондук микроскобу, F.Paulik, J.Paulik жана L.Erdey системасынын Q-1000/D дериватографы.

Кремний карбидин металлдар менен бирге электр учкундук дисперстөө менен нанодисперстүү металл композиттерин синтездөө законченемдүүлүктөрүн изилдөө. Продукталардын фазалык курамы металлдын жана суюк чөйрөнүн жаратылышынан көз карандылыгы көрсөтүлгөн. SiC-Al, SiC-Cu жана SiC-Ni системаларын электр учкундук дисперстөөдө металл композиттери пайда болору аныкталган. Металлдын, кремний карбидинин жана кремнийдин кичине өлчөмдөгү нанобөлүкчөлөрүнөн алюминий композити турат жана бул композит абада 500°C чейин ысытканда туруктуу болот. Синтезделген металл композиттери металлдык өткөрүмдүүлүккө ээ. SiC-Ni системасынын металл композити магниттик касиеттери боюнча магниттик жумшак материалдарга кирет. Суутектин пероксидинин ажыроо реакциясы үчүн спиртке алынган SiC-Cu системасынын металл композити жогорку каталитикалык активдүүлүккө ээ экендиги аныкталган.

Колдонуу аймагы: күкүмдүк металлургия жана химия өнөр жайы.

РЕЗЮМЕ

диссертации Бакенова Жолдошбека Бекбоевича на тему: «Получение нанодисперсных металлокомпозитов при электроискровом диспергировании системы SiC-Me» на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности 02.00.01 - неорганическая химия

Ключевые слова: нанодисперсные металлокомпозиты, получение, электроискровое диспергирование, карбид кремния, алюминий, медь, никель, гексан, спирт, вода, фазовый состав, дисперсность, электропроводность, каталитическая активность.

Объект исследования: металлокомпозиты на основе алюминия, меди и никеля.

Цель работы: изучение закономерности получения нанодисперсных металлокомпозитов при совместном электроискровом диспергировании карбида кремния с металлами.

Методы исследования: рентгенофазовый анализ, электронная микроскопия, рентгеноспектральный микроанализ, дериватографический анализ.

Научное оборудование: дифрактометр RINT-2500 HV, сканирующий электронный микроскоп JOEL JSM-7600F с системой энергодисперсионного рентгеновского микроанализатора, дериватограф Q-1000/D системы F. Paulik, J. Paulik и L. Erdey.

Изучены закономерности синтеза нанодисперсных металлокомпозитов при совместном электроискровом диспергировании карбида кремния с металлами. Показано, что фазовый состав продуктов зависит от природы металла и жидкой среды. Установлено, что при электроискровом диспергировании систем SiC-Al, SiC-Cu и SiC-Ni происходит образование металлокомпозитов. Более низкоразмерные наночастицы металла, карбида кремния и кремния содержат алюмоматричный композит, который является более устойчивым при нагревании на воздухе до 500°C. Синтезированные металлокомпозиты обладают металлической проводимостью. Металлокомпозит системы SiC-Ni по магнитным свойствам относится к магнитомягким материалам. Установлено, что для реакции разложения пероксида водорода более высокую каталитическую активность имеет металлокомпозит системы SiC-Cu, полученный в спирте.

Область применения: порошковая металлургия, химическая промышленность.

Summary

for the dissertation thesis of **Bakenov Zholdoshbek Bekboevich** on the theme: **“Obtaining of nanodispersed metal composites in the course of electrospark dispersion of the SiC-Me system”** submitted for the seeking of academic degree of the Candidate of Chemical Sciences, specialization **02.00.01 - Inorganic chemistry**

Key words: nanodispersed metal composites, production, electrospark dispersion, silicon carbide, aluminum, copper, nickel, hexane, alcohol, water, phase composition, dispersity, electrical conductivity, catalytic activity.

Object of study: metal composites based on aluminum, copper and nickel.

Purpose of the work: study the regularity of obtaining nanodispersed metal composites in the joint electrospark dispersion of silicon carbide with metals.

Research methods: X-ray phase analysis, electron microscopy, X-ray spectral microanalysis, derivational analysis.

Research equipment: RINT-2500 HV diffractometer, JOEL JSM-7600F scanning electron microscope with energy dispersive X-ray microanalyzer system, Q-1000 / D derivatograph of F. Paulik, J. Paulik and L. Erdey systems.

The regularities in the synthesis of nanodispersed metal composites in the joint electrospark dispersion of silicon carbide with metals are studied. It is shown that the phase composition of the products depends on the nature of the metal and the liquid medium. It is established that the formation of metal composites occurs during the electric-spark dispersion of SiC-Al, SiC-Cu and SiC-Ni systems. The lower-dimensional nanoparticles of metal, silicon carbide and silicon contain an alumo-matrix composite which is more stable when heated in air to 500°C. Synthesized metal composites have metallic conductivity. Metalcomposite of the SiC-Ni system according to magnetic properties refers to soft magnetic materials. It has been found that for the decomposition reaction of hydrogen peroxide, the metal composite of the SiC-Cu system obtained in alcohol has a higher catalytic activity.

Application field: powder metallurgy, chemical industry.