

*Бакенов Ж.Б., Сатывалдиев А.С., Осмонканова Г.Н.*

**КРЕМНИЙ КАРБИДИН ТЕМИР ЖАНА НИКЕЛЬ МЕНЕН БИРГЕ ЭЛЕКТР  
УЧКУНДУК ДИСПЕРСТӨӨ МЕНЕН НАНОКОМПОЗИТТЕРДИ АЛУУ**

*Бакенов Ж.Б., Сатывалдиев А.С., Осмонканова Г.Н.*

**СИНТЕЗ НАНОКОМПОЗИТОВ ПРИ СОВМЕСТНОМ ЭЛЕКТРОИСКРОВОМ  
ДИСПЕРГИРОВАНИИ КАРБИДА КРЕМНИЯ С ЖЕЛЕЗОЙ И НИКЕЛЕМ**

*Zh.B. Bakenov, A.S. Satyvaldiev, G.N. Osmonkanova*

**SYNTHESIS OF NANOCOMPOSITE SUNDER THE JOINT ELECTROSPARK  
DISPERSION OF SILICON CARBIDE WITH IRON AND NICKEL**

УДК: 541.16:546.281

*Кремний карбидин темир жана никель менен бирге гександа электр учкундук дисперстөөдө, металлдык фазасы металлдардын кремний менен болгон катуу зритмесинен турган, нанодисперстүү композициялык материалдарды пайда кылышы көрсөтүлгөн.*

**Негизги сөздөр:** кремний карбиди, темир, никель, электр учкундук дисперстөө, бирге, нанодисперстүү, композициялык материалдар.

*Показано, что при совместном электроискровом диспергировании карбида кремния с железой и никелем в гексане образуются нанодисперсные композиционные материалы с металлической фазой в виде твердых растворов соответствующих металлов с кремнием.*

**Ключевые слова:** карбид кремния, железо, никель, электроискровое диспергирование, совместно, нанодисперсный, композиционные материалы

*It is shown that when combined electrospark dispersion of silicon carbide with iron and nickel in hexane it is formed nanodispersed composite materials with a metallic phase in the form of solid solutions of the respective metals with silicon.*

**Key words:** silicon carbide, iron, nickel, electrospark dispersion, joint, nanosized, composite materials.

Разработка и применение композиционных материалов, которые состоят из матрицы и распределенных в ней армирующих элементов и, благодаря этому, обладают качественно новыми, зачастую уникальными свойствами, являются одним из магистральных направлений развития современного материаловедения и машиностроения. В большинстве случаев только композиционные материалы могут удовлетворить требованиям новой техники, для которой характерно ужесточение условий эксплуатации: повышение нагрузок, скоростей, температур, агрессивности сред, уменьшение веса и т.д. Традиционные материалы уже не могут удовлетворить эти запросы [1].

В последние годы 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 [1].

Разработки эффективных технологий получения композиционных материалов, армированных нано-

дисперсными наполнителями, являются актуальными задачами современных металлургических и литейных технологий [2].

Для получения наноконпозиционных материалов практический интерес представляет метод электроискрового диспергирования. В этом методе под действием высокой температуры до 10000°C материалы электродов плавятся и могут закипеть. 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 системы [3].

Целью настоящей работы является изучение возможности синтеза нанодисперсного композиционного материала при совместном электроискровом диспергировании карбида кремния с железой и никелем в гексане.

Для получения продуктов электроискрового диспергирования карбида кремния в паре с железой и никелем использована установка, где искровой разряд создается с помощью РС - генератора. В качестве электродов использовались карбид кремния и металлические железо и никель в виде стержней размерами 30x7x2 мм, а в качестве диэлектрической среды - гексан. Энергия единичного разряда составляла  $E = 0,05$  Дж.

Продукты совместного электроискрового диспергирования карбида кремния с железой и никелем находятся в составе твердой фазы, поэтому она отделялась от жидкой фазы декантацией, промывалась гексаном и высушивалась при 80-90°C.

Фазовый состав продуктов совместного электроискрового диспергирования карбида кремния с железой и никелем изучен методом рентгенофазового анализа. Дифрактограммы продуктов снимались на дифрактометре ДРОН – 2 с отфильтрованным медным излучением. Дисперсность и морфология этих продуктов определены методом электронной микроскопии на эмиссионном сканирующем электронном микроскопе JOEL JSM-7600F.

Дифрактограммы продуктов совместного электроискрового диспергирования карбида кремния с

железой и никелем представлены на рисунках 1 и 2, а результаты их расчета приведены в таблицах 1 и 2.

Из рисунка 1 видно, что продукт совместного электроискрового диспергирования карбида кремния и железа является трехфазной системой. Основной фазой является элементарный кремний, а второй фазой – карбид кремния. Третьей фазой является твердый раствор кремния в железе. На это указывает значение параметра решетки этой фазы (0,351 нм), т.к. она значительно превышает соответствующее значение для железа (0,287 нм) (табл.1).

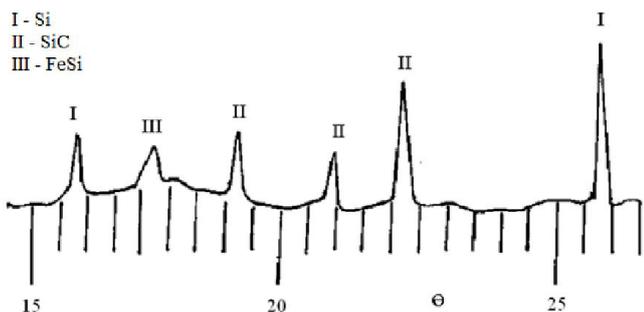


Рис. 1. Дифрактограмма продукта совместного электроискрового диспергирования карбида кремния с железой в гексане.

Таблица 1

Результаты расчета дифрактограммы продукта совместного электроискрового диспергирования карбида кремния с железой в гексане

Экспериментальные данные			Фазовый состав						
№	I	d, нм	Si		SiC			FeSi	
			hkl	a, нм	hkl	a, нм	c, нм	hkl	a, нм
1	100	0,3135	111	0,530					
2	77	0,2522			006		1,513		
3	37	0,2363			103	0,312	1,506		
4	50	0,2172			104	0,312	1,506		
5	40	0,2029						111	0,351
6	50	0,1921	220	0,543					
7	23	0,1635	311	0,542					

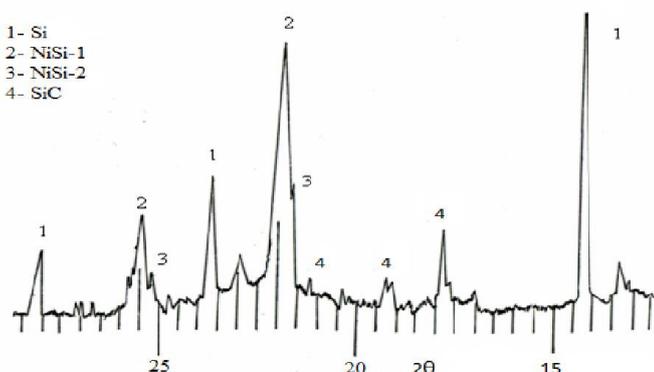


Рис. 2. Дифрактограмма продукта совместного электроискрового диспергирования карбида кремния с никелем в гексане.

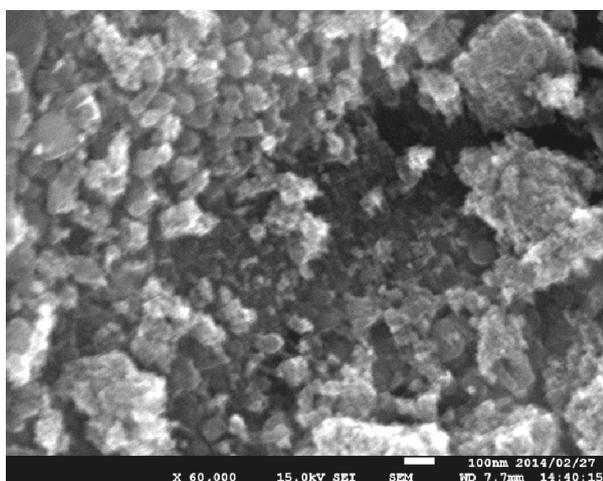
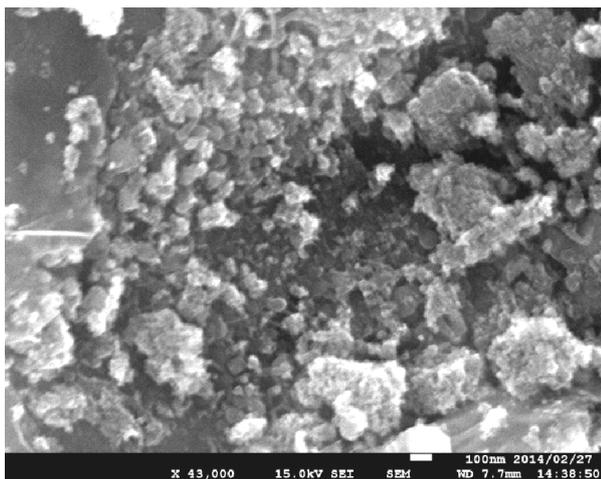
Результаты расчета дифрактограммы продукта совместного электроискрового диспергирования карбида кремния с никелем в гексане

Экспериментальные данные			Фазовый состав								
№	I	d, нм	Si		NiSi-1		NiSi-2		SiC		
			hkl	a, нм	hkl	a, нм	hkl	a, нм	hkl	a, нм	c, нм
1	100	0,3135	111	0,543							
2	28	0,2519							006		1,510
3	11	0,2342							103	0,307	1,515
4	13	0,2168							104	0,307	1,515
5	44	0,2090					111	0,362			
6	92	0,2070			111	0,358					
7	46	0,1918	220	0,542							
8	14	0,1809					200	0,362			
9	33	0,1793			200	0,359					
10	22	0,1635	311	0,542							

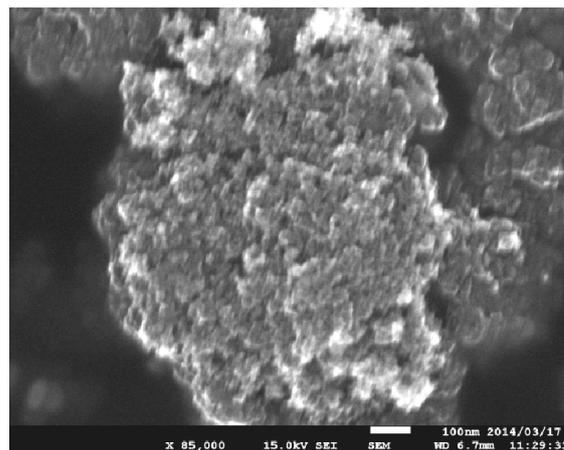
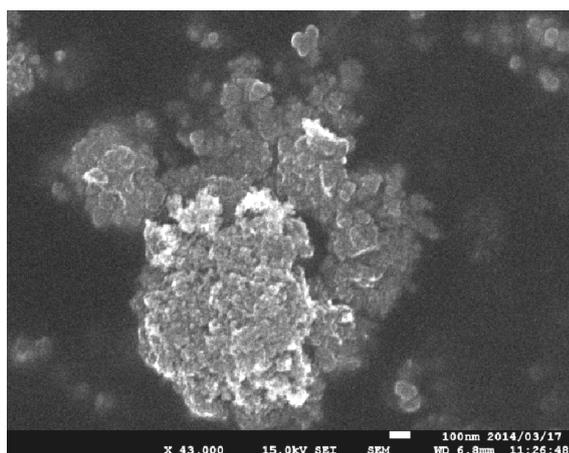
Согласно литературным данным [4] в системе Si-Fe существует ограниченная растворимость компонентов. В богатой железом области образуется твердые растворы на основе  $\alpha$ -Fe. Содержание кремния в этих растворах может составить до 27% (ат.).

Результаты расчета дифрактограммы показывают, что продукт совместного электроискрового диспергирования карбида кремния с никелем представляет собой многофазную систему. Главной фазой является элементарный кремний. Второй и третьей фазой являются твердые растворы кремния в никеле. На это указывают параметры кристаллической решетки этих фаз. У первого твердого раствора значение параметра составляет 0,3585 нм, а у второго – 0,362 нм, что значительно больше, чем значение параметра кристаллической решетки металлического никеля (0,352 нм). В системы Si-Ni существует ограниченная растворимость [4]. Максимальная растворимость кремния в никеле достигает 15,8% (ат.) при 1143°C. Четвертой фазой данного продукта является карбид кремния.

Микрофотографии продуктов совместного электроискрового диспергирования карбида кремния с железой и никелем приведены на рисунках 3 и 4.



**Рис. 3.** Микрофотографии продукта совместного электроискрового диспергирования карбида кремния с железой в гексане.



**Рис. 4.** Микрофотографии продукта совместного электроискрового диспергирования карбида кремния с никелем в гексане.

Анализ микрофотографий показывает, что продукты совместного электроискрового диспергирования карбида кремния с железой и никелем в гексане состоят из агрегатов сферических нанодисперсных частиц с размерами 20-30 нм.

Таким образом, методами рентгенофазового анализа и электронной микроскопии показано, что особенностью нанодисперсных композиционных материалов, полученных при совместном электроискровом диспергировании карбида кремния с железой и никелем в гексане, является содержание металлической фазы в виде твердых растворов соответствующих металлов с кремнием, образовавшихся при разложении карбида кремния в условиях искрового разряда.

#### Литература:

1. Алюминиевые композиционные сплавы – сплавы будущего: Учеб. пособ. / Сост. А.Р. Луц, И.А. Галочкина. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2013. – 82 с.
2. Найдек В.Л., Затуловский С.С., Затуловский А.С. Новые нетрадиционные материалы – основа современной наукоемкой техники // *Металлургия машиностроения*, 2005, №6. – С.18-28.
3. Сатывалдиев А.С., Асанов У.А. Электроэрозионный синтез соединений переходных металлов. - Бишкек: КГНУ, 1995. - 187 с.
4. Диаграммы состояния двойных металлических систем / Под ред. Н.П. Лякишева. – М.: Машиностроение, 1997. Т.2. – 1024 с.

Рецензент: д.хим.н. Турдумамбетов К.