

*Байматова Р.Т., Сатывалдиев А.С., Абасканов К.Ш.*

**ТЕМИР МЕНЕН НИКЕЛДИ БИРГЕ ЭЛЕКТР УЧКУНДУК  
ДИСПЕРСТӨӨ МЕНЕН СИНТЕЗДЕЛГЕН FE-NI СИСТЕМАСЫНЫН  
НАНОКУКУМДӨРҮНҮН ДИСПЕРСТҮҮЛҮГҮ**

*Байматова Р.Т., Сатывалдиев А.С., Абасканов К.Ш.*

**ДИСПЕРСНОСТЬ НАНОПОРОШКОВ СИСТЕМЫ FE-NI,  
СИНТЕЗИРОВАННЫХ ПРИ СОВМЕСТНОМ ЭЛЕКТРОИСКРОВОМ  
ДИСПЕРГИРОВАНИИ ЖЕЛЕЗА И НИКЕЛЯ**

*R. T. Baimatova, A.S. Satyvaldiev, K.Sh. Abaskanov*

**DISPERSION OF NANOPOWDERS OF THE FE-NI  
SYSTEM SYNTHESIZED BY THE JOINT ELECTROSPARK  
DISPERSION OF IRON AND NICKEL**

УДК: 621.762

*Суюк чөйрөдө темир менен никелди бирге электр учкундук дисперстөөдө, өлчөмдөрү боюнча анча чоң эмес бөлүштүрүлгөн, металлдардын катуу эритмелеринин нанодисперстүү бөлүкчөлөрүнүн пайда болору электрондук микроскопия методу менен көрсөтүлгөн.*

**Негизги сөздөр:** *электр учкундук дисперстөө, темир, никель, металлдардын катуу эритмелери, дисперстүүлүгү, өлчөмдөрү боюнча бөлүштүрүлүшү.*

*Методом электронной микроскопии показано, что при совместном электроискровом диспергировании железа и никеля в жидкой среде происходит образование нанодисперсных частиц твердых растворов металлов достаточно узким распределением по размерам.*

**Ключевые слова:** *электроискровое диспергирование, железо, никель, твердые растворы металлов, дисперсность, распределение по размерам.*

*By the method of electron microscopy, it was shown that when nanocrystalline electrospark dispersion of iron and nickel is combined in a liquid medium, nanodispersed particles of solid solutions of metals are formed with a rather narrow size distribution.*

**Key words:** *electrospark dispersion, iron, nickel, solid metal solutions, dispersity, size distribution.*

Ранее [1] установлено, что при совместном электроискровом диспергировании железа и никеля в гексане и спирте происходит образование твердых растворов никеля в  $\gamma$ -Fe. Поэтому определенный интерес представляет изучение дисперсности полученных твердых растворов металлов.

В настоящее время нанодисперсные вещества и материалы на их основе находят широкое применение в различных областях техники. Это обусловлено тем, что в нанодисперсных системах реализуются уникальные комплекс физико-химических и механических свойств. В частности нанодисперсные порошковые системы Fe-Ni наряду с высокими плотностью и пластическими характеристиками обнаруживают значительное увеличение удельной намагниченности насы-

щения. Это обуславливает перспективность применения нанодисперсных железо-никелевых композиций в качестве магнитозаписывающих материалов и магнитных носителей, для создания новых типов ферромагнитных жидкостей, конструкционных материалов с высокими механическими свойствами, использования в качестве защитных, декоративных и износостойких покрытий [2].

Для получения нанопорошков системы Fe-Ni электроискровому диспергированию подвергалась электродная пара, изготовленная из железа и никеля. Электроды представляли собой стержни с размерами 5x0,5x0,5 см, а в качестве диэлектрической среды использовались гексан, этиловый спирт (96%) и вода. Энергия разряда составляла 0,05 Дж.

Продукты представляют собой твердую фазу, которая отделяется от жидкой фазы декантацией и высушиваются при 50-60°C.

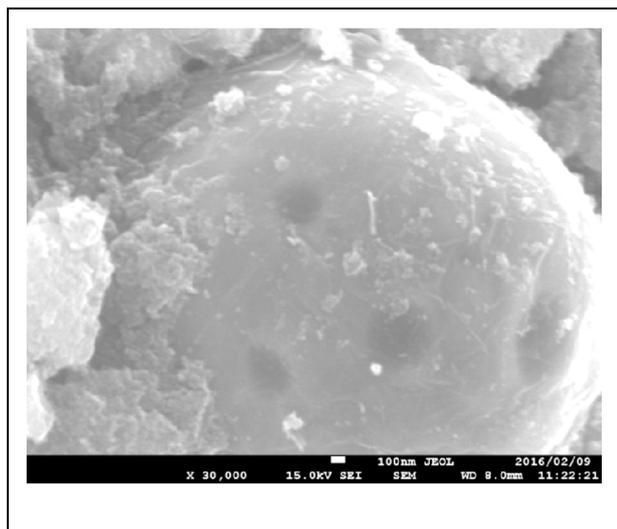
Дисперсность продуктов изучалась методом электронной микроскопии. Микрофотографии продуктов снимались на эмиссионном сканирующем электронном микроскопе JOEL JSM-7600F.

Для установления распределения частиц продуктов совместного электроискрового диспергирования железа и никеля по размерам проводилось измерение диаметров частиц на микрофотографиях с помощью программы ImageJ. Затем частицы были разбиты на фракции по интервалам размеров и определена доля фракций в % по уравнению [3]:

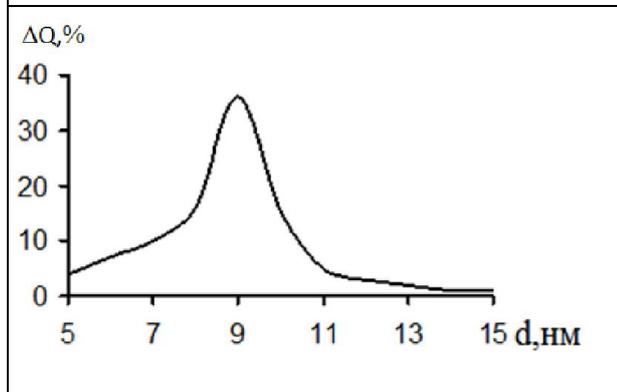
$$\Delta Q_i = (n_i / \sum n_i) \cdot 100\%,$$

где  $n_i$  - число частиц меди с диаметром  $d_i$ ;  $\sum n_i$  - суммарное число всех частиц меди.

На рисунках 1-3 представлены микрофотографии и распределение по размерам продуктов совместного электроискрового диспергирования железа и никеля в гексане, спирте и воде.



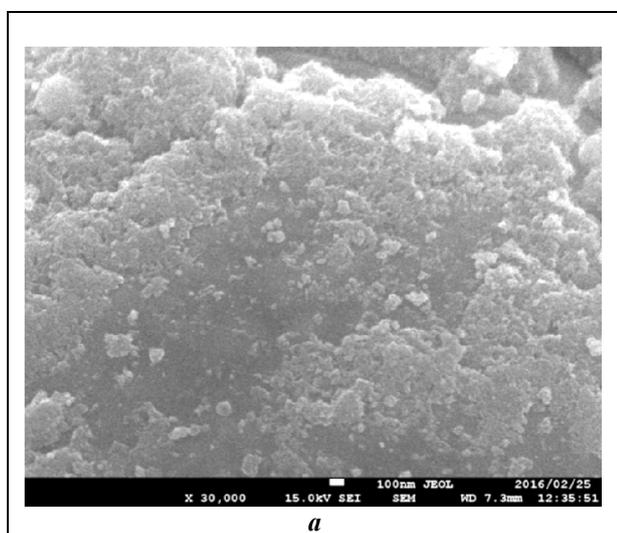
*a.*



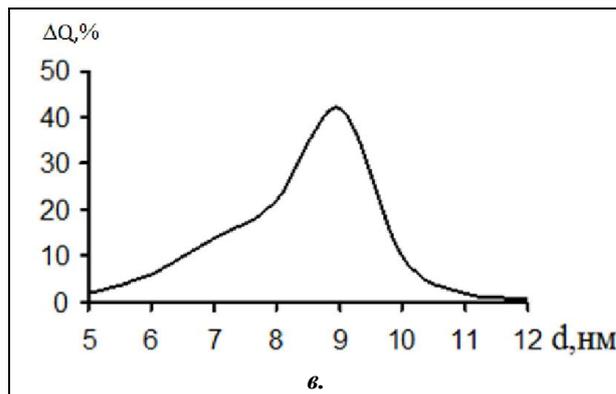
*б.*

**Рис. 1.** Микрофотография (а) и распределение по размерам (в) частиц продуктов совместного электроискрового диспергирования железа и никеля в гексане.

Из микрофотографий видно, что при совместном электроискровом диспергировании железа и никеля в жидкой среде происходит образование наноразмерных частиц, которые образуют агрегаты различных размеров. Эти агрегаты в свою очередь состоят в основном из частиц с размерами менее 10 нм.

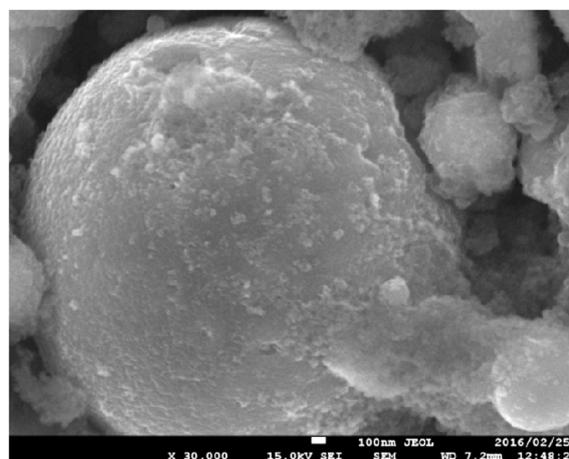


*a.*

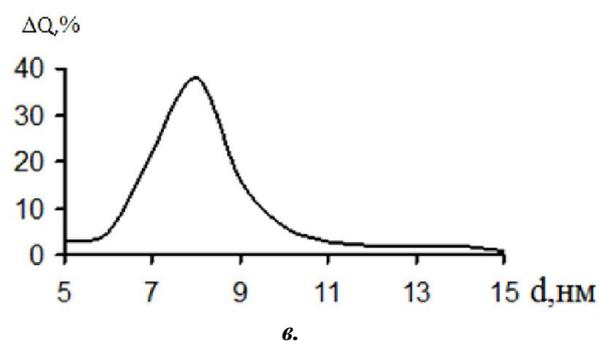


*б.*

**Рис. 2.** Микрофотография (а) и распределение по размерам (в) частиц продуктов совместного электроискрового диспергирования железа и никеля в спирте



*a.*



*б.*

**Рис. 3.** Микрофотография (а) и распределение по размерам (в) частиц продуктов совместного электроискрового диспергирования железа и никеля в воде.

Распределение наночастиц продуктов совместного электроискрового диспергирования железа и никеля по размерам показывает, что средний диаметр частиц составляет 8-9 нм (табл.).

Проведена оценка размеров областей когерентного рассеяния (ОКР) частиц твердого раствора никеля в  $\gamma$ -Fe [ $\gamma$ -Fe(Ni)], полученного при совместном электроискровом диспергировании железа и никеля в различных жидких средах, по уширению рефлексов на дифрактограммах по формуле Шеррера-Селякова [4]:

$$d = \frac{\lambda_{Cu}}{\beta \cdot \cos\theta},$$

где  $d$  – размер ОКР, нм;  $\lambda_{Cu}$  – длина волны излучения медного анода (0,1540 нм);  $\theta$  – угол рассеяния;  $\beta$  – физическое уширение линии на дифрактограмме

$\beta = \frac{\omega \cdot \pi}{180}$ ,  $\omega$  – ширина дифракционного максимума на половине его высоты.

Результаты расчета размеров ОКР ( $d_{ОКР}$ ) частиц твердого раствора  $\gamma$ -Fe(Ni) и его параметр кристаллической решетки представлены в таблице.

Таблица

**Средний диаметр (d) частиц продуктов совместного электроискрового диспергирования железа и никеля, параметр кристаллической решетки (a) и размеры ОКР ( $d_{ОКР}$ ) частиц твердого раствора  $\gamma$ -Fe(Ni)**

№	Жидкая среда	a, нм	$d_{ОКР}$ , нм	d, нм	Содержание фракции, %
1.	Гексан	0,3608	18,9	8	38
2.	Спирт	0,3598	9,2	9	42
3.	Вода	0,3572	14,0	9	36

Результаты расчета размеров ОКР частиц твердого раствора  $\gamma$ -Fe(Ni) подтверждают образование наноразмерных частиц при совместном электроискровом диспергировании железа и никеля (табл.). Размеры частиц этой фазы составляют от 9 до 19 нм в зависимости от природы жидкой среды. Ширина дифракционных линий (hkl), согласно формуле Шеррера-Селякова, зависит от среднего размера области когерентного рассеяния в направлении нормали к плоскости (hkl) [5]. Усреднение величины  $d_{ОКР}$  ведется по достаточно большой площади поверхности исследуемого образца (~1см<sup>2</sup>). Считается, что значение  $d_{ОКР}$  равно размеру нанокристаллита, поскольку предполагается, что последний не «раздвигается» на более дисперсные фрагменты и соответственно состоит из одной ОКР.

Из таблицы видно, что средние размеры частиц и кристаллитов твердого раствора  $\gamma$ -Fe(Ni), полученного в гексане и воде различаются, а в спирте совпадают. Различие размеров частиц, рассчитанные из

данных электронной микроскопии и рентгенофазового анализа, в работе [6] объясняется особенностями структуры образцов и методов анализа. Методом электронной микроскопии определяются размеры зерен, заключенных между высокоугловыми границами, а в методе рентгеноструктурного анализа определяется средний размер субзерен с любой разориентацией. Поэтому размеры агрегатов наночастиц металлов, определенные на основе микрофотографий, полученных методом сканирующей электронной микроскопии более высокие, чем размеры нанокристаллитов, полученных из анализа уширения дифракционных линий.

Таким образом, методом электронной микроскопии показано, что при совместном электроискровом диспергировании железа и никеля в жидкой среде происходит образование нанодисперсных частиц твердых растворов металлов достаточно узким распределением по размерам.

#### Литература:

1. Байматова Р.Т., Сатывалдиев А.С., Осмонканова Г.Н. Фазовый состав продуктов совместного электроискрового диспергирования железа и никеля // Республиканский научно-теоретический журнал «Наука, новые технологии инновации Кыргызстана», №12. - Бишкек, 2016. - С. 63-65.
2. Сидорова Е.Н., Дзидзигури Э.Л., Левина В.В., Кузнецов Д.В., Рыжонков Д.И. Сплавообразование в ультрадисперсных порошках системы железо-никель // Материаловедение, 2001, №9 (54). - С. 47-52.
3. Чернявский К.С. Морфологический анализ порошков // Заводская лаборатория, 1984, №11. - С. 39 - 41.
4. Авчинникова Е.А., Воровьева С.А. Синтез и свойства наночастиц меди, стабилизированных полиэтиленгликолем // Вестник БГУ, 2013, сер.7. - №3. - С. 12-16.
5. Ягодкин Ю.Д., Добаткин С.В. Применение электронной микроскопии и рентгеноструктурного анализа для определения размеров структурных элементов в нанокристаллических материалах // Заводская лаборатория. Диагностика материалов, 2007. - Т.73. - №1. - С. 38-49.
6. Рыжонков Д.И., Левина В.В., Дзидзигури Э.Л. Ультрадисперсные системы: получение, свойства, применение. - М.: МИСиС, 2006. - С.182.

Рецензент: к.хим.н., профессор Молдошев А.М.