УДК 539.231:669.859:537.622

DOI: 10.18577/2071-9140-2014-0-s5-95-100

Е.Н. Каблов¹, О.Г. Оспенникова¹, В.П. Пискорский¹, Р.А. Валеев¹, И.И. Резчикова¹, А.В. Бузенков¹

ФАЗОВЫЙ СОСТАВ СПЕЧЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ СИСТЕМЫ Nd-Dy-Fe-Co-B

Материалы системы Nd–Dy–Fe–Co–B применяются для производства кольцевых магнитов с радиальной текстурой (КМРТ). Основными приборами для инерциальной навигации, в конструкцию которых включены магниты, являются динамически настраиваемые гироскопы (ДНГ) и акселерометры. Кольцевой магнит с радиальной текстурой является оптимальной конструкцией магнита для динамически настраиваемых гироскопов (ДНГ). Исследован фазовый состав материалов на основе системы Nd–Dy–Fe–Co–B. Показано, что фазовый состав спеченных материалов (Nd_{1-x}Dy_x)–(Fe_{1-y}Co_y)–B определяется содержанием Co. B спеченных магнитах такой системы обнаружена фаза (Nd, Dy)(Fe, Co)₄B. Показано также, что с увеличением содержания Co резко уменьшается содержание основной магнитной фазы (Nd, Dy)₂(Fe, Co)₁₄B. установлены аппроксимирующие полиномы, связывающие состав материала (Nd_{1-x}Dy_x)–(Fe_{1-y}Co_y)–B с составом основной магнитной фазы (Nd, Dy)₂(Fe, Co)₁₄B и позволяющие определять состав фазы (Nd, Dy)₂(Fe, Co)₁₄B исходя из состава магнита.

Ключевые слова: кольцевой магнит с радиальной текстурой, динамически настраиваемый гироскоп, радиальная текстура.

Nd-Dy-Fe-Co-B materials are used for production of ring magnet with radial texture (RMRT). Magnets are used as components of dynamically tuned gyroscopes (DTG) and accelerometers, which are the basic devices in the inertial navigation. An optimum design of the magnet for dynamically tuned gyroscopes (DTG) is a ring magnet with radial texture (RMRT). The article is focused on the study of phase composition of Nd-Dy-Fe-Co-B sintered materials. It is demonstrated that the phase composition of $(Nd_{1-x}Dy_x)-(Fe_{1-y}Co_y)-B$ sintered materials is influenced by Co content. The phase $(Nd, Dy)(Fe, Co)_4B$ is found out at $(Nd_{1-x}Dy_x)-(Fe_{1-y}Co_y)-B$ sintered materials. It is shown that the content of the main magnetic phase $(Nd, Dy)_2(Fe, Co)_{14}B$ is reduced sharply with increasing Co content.

Approximating polynomials correlating composition of $(Nd_{1-x}Dy_x)-(Fe_{1-y}Co_y)-B$ material with that of the main magnetic phase $(Nd_{1-x}Dy_x)_2(Fe_{1-y}Co_y)_{14}B$ and allowing determination of $(Nd, Dy)_2(Fe, Co)_{14}B$ phase composition were found.

Keywords: ring magnet with radial texture, dynamically tuned gyroscope, radial texture.

¹Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Государственный научный центр Российской Федерации

[Federal state unitary enterprise «All-Russian scientific research institute of aviation materials» State research center of the Russian Federation] E-mail: admin@viam.ru

Введение

Кольцевые магниты с радиальной текстурой (КМРТ) являются основной частью динамически настраиваемых гироскопов (ДНГ) [1–4]. Перспективными материалами для производства таких магнитов являются материалы системы Nd–Fe–B, легированные тяжелыми редкоземельными металлами и кобальтом, повышающими температурную стабильность изделий. В данной статье изучен фазовый состав системы Nd–Dy–Fe–Co–B.

Материалы и методы

Исследование локального состава фаз проводили* методом качественного и количественного МРСА на аппарате «Superprob-733» (JSMA-733, фирма Jeol, Япония) с применением энергодисперсионного анализатора Incaenergy (Англия). Локальность анализа составляет 1 мкм², глубина анализа 1 мкм. Фотографии исследуемых структур получали в специальном режиме СОМРО. Изображение в режиме СОМРО формируется обратноотраженными электронами, его контраст определяется средним атомным номером фазы. Чем выше средний атомный номер исследуемой области (фазы), тем светлее данный участок выглядит на фотографии. Изображение в режиме СОМРО получают на нетравленых шлифах. Это позволяет проводить на них количественный анализ, точность которого в случае нетравленого шлифа выше [5–8].

Количественный фазовый анализ проводили** на порошковых не текстурированных образцах на дифрактометре ДРОН-3М с использованием излучений Со K_{α} и Fe K_{α} (табл. 1).

Сплавы выплавлены в вакуумной индукционной печи по обычной методике [9–18]. Слитки дробили до размера частиц <630 мкм в инертной атмосфере. Тонкий помол проводили в центро-

^{*} Анализ проведен к.т.н. Е.А. Давыдовой.

^{**} Анализ проведен Н.С. Моисеевой.

Таблица 1

Результаты качественного фазового анализа

Условный номер образца	Состав материала, % (атомн.)
1	$(Nd_{0.91}Dy_{0.09})_{15.0}(Fe_{0.81}Co_{0.19})_{oct}Al_{1.3}B_{7.1}$
2	$(Nd_{0.84}Dy_{0.16})_{15.0}(Fe_{0.81}Co_{0.19})_{oct}Al_{1.4}B_{7.8}$
3	$(Nd_{0.78}Dy_{0.22})_{14.9}(Fe_{0.79}Co_{0.21})_{oct}Al_{1.3}B_{7.8}$
4	$(Nd_{0.52}Dy_{0.48})_{14.7}(Fe_{0.78}Co_{0.22})_{ocr}B_{6.3}$
5	$(Nd_{0.65}Dy_{0.35})_{14.9}(Fe_{0.76}Co_{0.24})_{oct}Al_{1.0}B_{7.9}$
6	$(Nd_{0.47}Dy_{0.53})_{15.6}(Fe_{0.76}Co_{0.24})_{oct}Al_{0.7}B_{7.7}$
7	$(Nd_{0.62}Dy_{0.38})_{14.8}(Fe_{0.75}Co_{0.25})_{oct}Al_{1.0}B_{7.9}$
8	$(Nd_{0.56}Dy_{0.44})_{14.8}(Fe_{0.74}Co_{0.26})_{oct}Al_{0.9}B_{7.9}$
9	$(Nd_{0.49}Dy_{0.51})_{13.3}(Fe_{0.72}Co_{0.28})_{oct}Al_{0.3}B_{8.8}$
10	$(Nd_{0.51}Dy_{0.49})_{19.4}(Fe_{0.70}Co_{0.30})_{oct}Al_{0.3}B_{5.8}$
11	$(Nd_{0,29}Dy_{0,71})_{14,6}(Fe_{0,66}Co_{0,34})_{oct}Al_{0,5}B_{8,0}$

Таблица 2

Результаты МРСА основных фаз в материалах системы (Nd_{1-x}Dy_x)-(Fe_{1-y}Co_y)-В

Состав материала магнита, % (атомн.)	Фаза	Размер зерна фазы, мкм (содержание фазы, % (объемн.))	Состав фазы, % (атомн.)
$(Nd_{0,91}Dy_{0,09})_{15,0}(Fe_{0,81}Co_{0,19})_{ocr}Al_{1,3}B_{7,1}$	$\begin{array}{c} A_{\mu} \\ A_{r} \\ RF_{2} \\ R_{3}F \\ R_{3}F_{1}B_{7} \end{array}$	30 - 5 До 17 2	$\begin{array}{c} (Nd_{0,87}Dy_{0,13})_{2,2}(Fe_{0,83}Co_{0,17})_{13,9}B_{0,7}\\ (Nd_{0,94}Dy_{0,06})_{2,5}(Fe_{0,81}Co_{0,19})_{12,8}B_{1}\\ (Nd_{0,99}Dy_{0,01})_{0,98}(Fe_{0,37}Co_{0,42}B_{0,22})_{2,3}\\ Nd_{3,0}(Fe_{0,07}Co_{0,79}B_{0,14})_{1,4}\\ (Nd_{0,97}Dy_{0,03})_{2,8}(Fe_{0,50}Co_{0,50})_{0,5}B_{9} \end{array}$
$(Nd_{0,78}Dy_{0,22})_{14,9}(Fe_{0,79}Co_{0,21})_{ocr}Al_{1,3}B_{7,8}$	$\begin{array}{c} A_{\mathrm{II}}\\ RF_2B_2\\ R_5F_2B_6\\ R_5F_2B_6\end{array}$	30 (90) 10 (9) 4 1	$\begin{array}{c} (Nd_{0,78}Dy_{0,22})_{2,0}(Fe_{0,80}Co_{0,20})_{16,1}B_{0,8}\\ (Nd_{0,92}Dy_{0,08})_{1,2}(Fe_{0,48}Co_{0,52})_{2,47}B_{1,5}\\ (Nd_{0,98}Dy_{0,02})_{5,0}(Fe_{0,16}Co_{0,84})_{1,8}B_{4,5}\\ Nd_{4,8}(Fe_{0,11}Co_{0,89})_{2,0}B_{6,7} \end{array}$
$(Nd_{0,52}Dy_{0,48})_{14,7}(Fe_{0,78}Co_{0,22})_{ocr}B_{6,3}$	$\begin{array}{c} A_{\mathrm{u}} \\ A_{\mathrm{r}} \\ RF_4B \\ RF_4B \\ RF_3 \\ RF_2B_2 \end{array}$	30 - 15 (3,7) 15 5 5	$\begin{array}{c} (Nd_{0,43}Dy_{0,57})_{2,0}(Fe_{0,79}Co_{0,21})_{12,6}B_{0,9}\\ (Nd_{0,42}Dy_{0,58})_{2,1}(Fe_{0,79}Co_{0,21})_{13,8}B_{0,7}\\ (Nd_{0,32}Dy_{0,68})_{1,0}(Fe_{0,64}Co_{0,36})_{3,9}B_{0,6}\\ (Nd_{0,37}Dy_{0,63})_{1,0}(Fe_{0,63}Co_{0,37})_{3,6}B_{0,8}\\ (Nd_{0,43}Dy_{0,57})_{1,0}(Fe_{0,62}Co_{0,38})_{2,8}\\ (Nd_{0,68}Dy_{0,32})_{1,1}(Fe_{0,53}Co_{0,47})_{2,1}B_{1,5}\\ \end{array}$
$(Nd_{0,65}Dy_{0,35})_{14,9}(Fe_{0,76}Co_{0,24})_{ocr}Al_{1,0}B_{7,9}$	$\begin{array}{c} A_{\mathrm{u}} \\ A_{\mathrm{r}} \\ \mathrm{RF}_{4}\mathrm{B} \\ \mathrm{RF}_{2} \\ \mathrm{R}_{5}\mathrm{F}_{2}\mathrm{B}_{6} \end{array}$	30 - 13 4 10	$\begin{array}{c} (Nd_{0,54}Dy_{0,46})_{2,1}(Fe_{0,77}Co_{0,23})_{13,9}B_{0,8}\\ (Nd_{0,54}Dy_{0,46})_{2,1}(Fe_{0,76}Co_{0,24})_{13,7}B_{0,7}\\ (Nd_{0,47}Dy_{0,53})_{1,0}(Fe_{0,59}Co_{0,41})_{3,9}B_{0,6}\\ (Nd_{0,84}Dy_{0,16})_{1,0}(Fe_{0,52}Co_{0,48})_{1,9}\\ Nd_{5,3}(Fe_{0,08}Co_{0,92})_{2,0}B_5 \end{array}$
$(Nd_{0,56}Dy_{0,44})_{14,8}(Fe_{0,74}Co_{0,26})_{ocr}Al_{0,9}B_{7,9}$	$\begin{array}{c} A_{\mathrm{tt}} \\ RF_4B \\ RF_2B_2 \\ R_3FB_7 \end{array}$	20 (67) 30 (18) 20 (10) 5 (5)	$\begin{array}{c} (Nd_{0,51} \ Dy_{0,49})_{1,9} (Fe_{0,75} Co_{0,25})_{15,5} B_{0,6} \\ (Nd_{0,44} Dy_{0,56})_{0,9} (Fe_{0,57} Co_{0,43})_{4,2} B_{0,9} \\ (Nd_{0,78} Dy_{0,22})_{1,1} (Fe_{0,51} Co_{0,49})_{2,2} B_{1,5} \\ Nd_{2,6} (Fe_{0,12} Co_{0,88})_{0,8} B_{7,8} \end{array}$
$(Nd_{0,51}Dy_{0,49})_{19,4}(Fe_{0,70}Co_{0,30})_{ocr}Al_{0,3}B_{5,8}$	$\begin{array}{c} A_{\mathrm{II}} \\ RF_4B \\ RF_3 \\ RF_2 \end{array}$	30 (34) 20 (20) 20 (25) 17 (10)	$\begin{array}{c} (Nd_{0,35}Dy_{0,65})_{2,2}(Fe_{0,75}Co_{0,25})_{13,7}B_{0,9} \\ (Nd_{0,32}Dy_{0,68})_{1,2}(Fe_{0,62}Co_{0,38})_{4,1}B_{0,7} \\ (Nd_{0,32}Dy_{0,68})_{1,1}(Fe_{0,61}Co_{0,39})_{2,9} \\ (Nd_{0,61}Dy_{0,39})_{1,1}(Fe_{0,54}Co_{0,46})_{1,8} \end{array}$
$(Nd_{0,29}Dy_{0,71})_{14,6}(Fe_{0,66}Co_{0,34})_{ocr}Al_{0,5}B_{8,0}$	A _u RF ₄ B RF ₄ B	10 (48) 10 (36) 10 (13)	$\begin{array}{c} (Nd_{0,28}Dy_{0,72})_{1,6}(Fe_{0,68}Co_{0,32})_{14,2}B_{1,4} \\ (Nd_{0,21}Dy_{0,79})_{0,9}(Fe_{0,57}Co_{0,43})_{4,4}B_{0,6} \\ (Nd_{0,29}Dy_{0,71})_{1,0}(Fe_{0,57}Co_{0,43})_{4,0}B_{0,8} \end{array}$

Примечание. А_ц, А_г – состав основной магнитной фазы R₂(Fe, Co)₁₄B в центре зерна и у границы соответственно; R=Nd+Dy; F=Fe+Co. Для некоторых материалов указан приблизительный размер зерна фазы, а в скобках – ее содержание в материале.

Таблица 3

Экспериментальные параметры спектра материала		Результаты индицирования линий спектра магнитной фазы А с параметрами решетки: <i>a</i> =0,8697 нм; <i>c</i> =1,1955 нм							
($Nd_{0,29}D_{2}$	$y_{0,71})_{14,6}(Fe_{0,66})$	$Co_{0,34})_{oct}B_8$	(1	величина ин	тенсивнос	ти I дана для	соединения Tb ₂ H	$Fe_{14}B$)
2θ,	град	<i>d</i> , нм	<i>I</i> , отн. ед.	h	k	l	20, град	<i>d</i> , нм	<i>I</i> , отн. ед.
2	5,8	0,43388	11	0	2	0	25,7	0,43487	7
3	2,3	0,34824	11	0	2	2	32,0	0,35166	24
3	4,8	0,32392	20	1	2	2	34,6	0,32602	37
4	1,9	0,27091	100	1	1	4	42,2	0,26882	70
4	2,7	0,26606	39	1	3	1	42,4	0,26804	70
4	6,5	0,24538	19	0	2	4	46,3	0,24631	28
4	8,5	0,23584	73	1	2	4	48,3	0,23699	65
4	9,9	0,22963	33	0	1	5	49,7	0,23055	35
5	0,9	0,22541	30	1	3	3	50,7	0,22636	55
5	1,7	0,22216	23	1	1	5	51,5	0,22285	26
5	4,9	0,21013	12	1	4	0	54,7	0,21094	76
5	6,7	0,20399	79	0	4	2	56,6	0,20434	31
5	7,4	0,20171	45	3	3	1	57,3	0,20205	10
6	1,9	0,18835	12	2	2	5	61,8	0,18876	23
6	2,4	0,18699	19	1	4	3	62,6	0,18644	20
6	7,6	0,17412	19	2	4	3	67,3	0,17478	5
6	8,3	0,17255	20	3	4	1	68,5	0,17214	5
7	5,0	0,15912	17	0	5	3	74,8	0,15942	12
7	6,5	0,15646	18	1	5	3	76,3	0,15681	17
8	0,7	0,14961	31	0	0	8	80,8	0,14944	19
8	1,2	0,14884	21	4	4	2	81,2	0,14890	19
8	3,9	0,14490	16	1	3	7	83,8	0,14509	16
8	5,4	0,14283	17	2	5	4	86,0	0,14209	8
8	8,5	0,13882	21	1	5	5	88,5	0,13886	37

Результаты рентгеновского фазового анализа (Fe K_{α} -излучение) порошковой дифрактограммы спеченного материала на основе $(Nd_{0,29}Dy_{0,71})_{14,6}(Fe_{0,66}Co_{0,34})_{ocr}B_8$

Продолжение

Экспериментальные параметры спектра материала (Nd _{0,29} Dy _{0,71}) _{14,6} (Fe _{0,66} Co _{0,34}) _{ост} B ₈			Результаты индицирования линий спектра гексагональной фазы (Nd, Dy) (Fe _{0,6} Co _{0,4}) ₄ B с параметрами решетки: <i>a</i> =0,5036 нм; <i>c</i> =0,6863 нм (величина интенсивности <i>I</i> дана для соединения DyFe ₂ Co ₂ B)					
20, град	<i>d</i> , нм	<i>I</i> , отн. ед.	h	k	l	20, град	<i>d</i> , нм	<i>I</i> , отн. ед.
25,8	0,43388	11	1	0	0	25,9	0,43223	12
41,9	0,27091	100	1	0	2	42,1	0,26968	88
45,0	0,25312	22	1	1	0	45,3	0,25178	32
48,5	0,23584	73	1	1	1	48,4	0,23638	10
49,9	0,22963	33	0	0	3	50,1	0,22878	10
52,4	0,21939	35	2	0	0	52,8	0,21805	75
55,8	0,20701	35	2	0	1	55,6	0,20781	7
56,7	0,20399	79	1	1	2	57,0	0,20300	10
57,4	0,20171	45	1	0	3	57,1	0,20259	6
68,3	0,17255	20	0	0	4	68,7	0,17158	13
75,0	0,15912	17	2	0	3	75,7	0,15784	4,5
81,2	0,14884	21	2	1	2	81,4	0,14858	26
83,9	0,14490	16	3	0	0	83,6	0,14537	5
85,4	0,14283	17	3	0	1	85,9	0,14221	1,5
91,7	0,13500	12	2	0	4	91,8	0,13484	16
109	0,11891	29	2	1	4	109	0,11887	3



 Фаза RF_2 Фаза $R_2(Fe, Co)_{14}B$

 Рис.
 1.
 Микроструктуры
 спеченных
 материалов
 систем
 $(Nd_{0,78}Dy_{0,22})_{15}(Fe_{0,79}Co_{0,21})_{ocr}Al_1B_8$
 $(a - \times 1000)$ и $(Nd_{0,56}Dy_{0,44})_{15}(Fe_{0,74}Co_{0,26})_{ocr}Al_1B$ ($\delta - \times 1200$)
 Систем
 $(Nd_{0,78}Dy_{0,22})_{15}(Fe_{0,79}Co_{0,21})_{ocr}Al_1B_8$



Фаза R(Fe, Co)₄B

Фаза R₂(Fe, Co)₁₄В

Рис. 2. Микроструктура спеченного материала системы $(Nd_{0,29}Dy_{0,71})_{15}(Fe_{0,66}Co_{0,34})_{oct}Al_{0,5}B_8$ (*a* – ×600; δ – ×2000)

Таблица 4

Содержание Dy в фазах в зависимости от количества Со в материале системы (Nd_{1-x}Dy_x)–(Fe_{1-y}Co_y)–В (R=Nd+Dy; F=Fe+Co)

Условный	Состав м	атериала	Содержание Dy, атомн. доли, в фазах					
номер образца (см. табл. 1)	x	у	RF_4B	RF ₂	RF_2B_2	RF ₃	$R_5F_2B_6$	
1	0,09	0,19	-	0,01	-	-	-	
2	0,16	0,19	_	0,02	_	_	0,02	
3	0,22	0,21	_	_	0,08	_	0,02	
4	0,48	0,22	0,66	-	0,32	0,57	_	
5	0,35	0,24	0,53	0,16	_	_	-	
6	0,53	0,24	0,67	0,30	_	_	-	
7	0,38	0,25	0,38	_	_	_	0,17	
8	0,44	0,26	0,56	-	0,22	_	_	
9	0,51	0,28	0,56	_	0,26	_	_	
10	0,49	0,30	0,68	0,39	_	0,68	-	
11	0,71	0,34	0,75	-	-	_	-	
	1	1	1		1	[



Рис. 3. Зависимости содержания Dy и Co в фазе A от их содержания в спеченном материале системы $(Nd_{1,v}Dy_v)-(Fe_{1,v}Co_v)-B$

бежно-планетарной мельнице в среде трифтортрихлорэтана. Заготовки магнитов в виде призм прессовали в магнитном поле 800 кА/м методом «влажного» прессования. Спекание проводили в вакуумной печи СНВЭ 1.3.1/16-ИЗ при температуре 1150°С в течение 1 ч.

Результаты

Типичные фотографии микроструктур представлены на рис. 1 и 2. Фазовый состав представлен в табл. 2. Данные рентгенофазового анализа порошка состава ($Nd_{0,29}Dy_{0,71}$)₁₅(Fe_{0,66}Co_{0,34})_{ост}Al_{0,5}B₈ приведены в табл. 3.

Обсуждение и заключения

Из данных табл. 1 видно, что фазовый состав материалов определяется в первую очередь содержанием Со. С увеличением количества Со в спеченном материале изменяется его фазовый состав. Когда у=0,22, появляется фаза RF₄B. Фаза Лавеса обнаружена практически во всех образцах. В табл. 4 представлены составы фаз по диспрозию в зависимости от содержания Dy и Co в материале. Видно, что содержание Dy в фазах RF₄B и RF₃ составляет 0,5-0,75 и 0,6-0,7% (атомн.) соответственно. В фазах RF_2 , RF_2B_2 и $R_5F_2B_6$ количество Dy может быть близко к нулю. На рис. 3 представлены зависимости содержания Dy и Co в фазе А (x_A и y_A соответственно) от их содержания в материале системы $(Nd_{1-x}Dy_x)-(Fe_{1-y}Co_y)-B$, $(x_M u$ ум соответственно). Приведем соответствующие аппроксимирующие функции (в скобках дана величина R², соответствующая среднему квадратическому отклонению):

$$x_{\rm A} = 1,131 x_{\rm M} + 0,001 (R^2 = 0,943),$$
 (1)

$$y_{\rm A}=0,223\ln(y_{\rm M})+0,547(R^2=0,931).$$
 (2)

Из данных табл. 2 видно, что параметры ре- $(Nd_{0,28}Dy_{0,72})_2$ тетрагональной шетки фазы (Fe_{0.69}Co_{0.31})₁₄В составляют: *a*=0,8697 нм; *c*=1,1955 нм. Из данных табл. 1 видно, что гексагональная фаза RF₄B состоит из зерен, незначительно отличающихся по содержанию Dy и имеющих составы $(Nd_{0,21}Dy_{0,79})_{0,9}(Fe_{0,57}Co_{0,43})_{4,4}B_{0,6}$ и $(Nd_{0,29}Dy_{0,71})_{1,0}$ (Fe_{0.57}Co_{0.43})_{4,0}B_{0.8}. Параметры решетки этой фазы: *а*=0,5036 нм; *с*=0,6863 нм, что соответствует научным литературным данным. Таким образом, существование фазы RF4B подтверждено данными рентгенофазового анализа. На рис. 4 представлена зависимость содержания фазы А в материалах состава (Nd_{1-x}Dy_x)₁₅(Fe_{1-y}Co_y)_{ост}B₈ (x=0,22-0,71). Видно, что с увеличением содержания Со уменьшается количество фазы А в магнитах.



Рис. 4. Зависимость содержания фазы A от концентрации Co в материалах состава $(Nd_{1-x}Dy_x)_{15}(Fe_{1-y}Co_y)_{oct}B_8$ (x=0,22–0,71)

Выводы

– Показано, что фазовый состав спеченных материалов системы $(Nd_{1-x}Dy_x)$ – $(Fe_{1-y}Co_y)$ –В определяется содержанием Со. В спеченных магнитах на основе этой системы обнаружена фаза (Nd, Dy) (Fe, Co)₄B, которая появляется, когда *y*>0,2, ее существование подтверждено рентгенофазовым анализом.

 Показано, что с увеличением величины у резко уменьшается содержание основной магнитной фазы (Nd, Dy)₂(Fe, Co)₁₄B таким образом, что при $y\approx0,3$ ее содержание составляет ~50% (объемн.). Возрастает содержание фазы состава (Nd, Dy)(Fe, Co)₄B и при $y\approx0,3$ ее содержание составляет также ~50% (объемн.). Установлены аппроксимирующие полиномы, связывающие состав материала системы (Nd_{1-x}Dy_x)–(Fe_{1-y}Co_y)–B с составом основной магнитной фазы (Nd_{1-x}Dy_x)₂ (Fe_{1-y}Co_y)₁₄B и позволяющие определять состав фазы (Nd, Dy)₂(Fe, Co)₁₄B исходя из состава магнита.

ЛИТЕРАТУРА

- Бурханов Г.С., Пискорский В.П., Терешина И.С., Моисеева Н.С., Давыдова Е.А., Валеев Р.А. Существование области гомогенности по бору магнитотвердой фазы 2-14-1 //ДАН. 2012. Т. 447. №3. С. 277–279.
- Каблов Е.Н. Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года //Авиационные материалы и технологии. 2012. №S. С. 7–17.
- Пискорский В.П., Бурханов Г.С., Оспенникова О.Г., Валеев Р.А., Терешина И.С., Давыдова Е.А. Влияние термической обработки на свойства наноструктурированных магнитотвердых материалов Pr–Dy–Fe–Co–B //Металлы. 2010. №3. С. 84–91.
- Каблов Е.Н., Оспенникова О.Г., Вершков А.В. Редкие металлы и редкоземельные элементы – материалы современных и будущих высоких технологий //Труды ВИАМ. 2013. №2. Ст. 01 (viam-works.ru).
- Чабина Е.Б., Алексеев А.А., Филонова Е.В., Лукина Е.А. Применение методов аналитической микроскопии и рентгеноструктурного анализа для исследования структурно-фазового состояния материалов //Труды ВИАМ. 2013. №5. Ст. 06 (viam-works.ru).
- Шмотин Ю.Н., Старков Р.Ю., Данилов Д.В., Оспенникова О.Г., Ломберг Б.С. Новые материалы для перспективного двигателя ОАО «НПО "Сатурн"» //Авиационные материалы и технологии. 2012. №2. С. 6–8.
- Каблов Е.Н., Сиваков Д.В., Гуляев И.Н., Сорокин К.В., Федотов М.Ю., Гончаров В.А. Методы исследования конструкционных композиционных материалов с интегрированной электромеханической системой //Авиационные материалы и технологии. 2010. №4. С. 17–20.
- Каблов Е.Н., Морозов Г.А., Крутиков В.Н., Муравская Н.П. Аттестация стандартных образцов состава сложнолегированных сплавов с применением эталона //Авиационные материалы и технологии. 2012. №2. С. 9–11.
- Пискорский В.П., Бурханов Г.С., Оспенникова О.Г., Валеев Р.А., Терешина И.С. Эффект Вестендорпа на магнитах Pr(Nd)–Dy–Ce–Fe–Co–В //Перспективные материалы. 2010. №3. С. 22–25.
- Пискорский В.П., Бурханов Г.С., Оспенникова О.Г., Валеев Р.А., Терешина И.С., Давыдова Е.А. Расчет

температурного коэффициента индукции наноструктурированных магнитотвердых материалов Pr-Dy-Gd-Fe-Co-В методом молекулярного поля //Металлы. 2010. №1. С. 64-67.

- Пискорский В.П., Бурханов Г.С., Мельников С.А., Паршин А.П., Валеев Р.А., Терешина И.С., Иванов С.И. Влияние содержания неодима на свойства наноструктурированных материалов Nd(Pr)–Fe–B, полученных по бинарной технологии //Перспективные материалы. 2010. №9. С. 195–197.
- 12. Каблов Е.Н., Пискорский В.П., Бурханов Г.С., Валеев Р.А., Моисеева Н.С., Степанова С.В., Петраков А.Ф., Терешина И.С., Репина М.В. Термостабильные кольцевые магниты с радиальной текстурой на основе Nd(Pr)–Dy–Fe–Co–В //Физика и химия обработки материалов. 2011. №3. С. 43–47.
- Мельников С.А., Пискорский В.П., Беляев И.В., Валеев Р.А., Верклов М.М., Иванов С.И., Оспенникова О.Г., Паршин А.П. Температурные зависимости магнитных свойств спеченных сплавов Nd–Fe–B, легированных сплавами РЗМ с переходными металлами //Перспективные материалы. 2011. №11. С. 201–207.
- 14. Пискорский В.П., Бурханов Г.С., Оспенникова О.Г., Терешина И.С., Валеев Р.А., Моисеева Н.С. Влияние бора на магнитные свойства магнитов на основе интерметаллидов с тетрагональной структурой //Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. «Машиностроение». 2011. №SP2. С. 143–148.
- Магнитный материал и изделие, выполненное из него: пат. 2368969 Рос. Федерация; опубл. 27.09.2007.
- Каблов Е.Н., Петраков А.Ф., Пискорский В.П., Валеев Р.А., Чабина Е.Б. Влияние церия и иттрия на магнитные свойства и фазовый состав материала системы Nd–Dy–Fe–Co–B //МиТОМ. 2005. №10. С. 25–29.
- Каблов Е.Н., Петраков А.Ф., Пискорский В.П., Валеев Р.А., Чабина Е.Б. Влияние празеодима на магнитные свойства и фазовый состав материала системы Nd–Dy–Fe–Co–B //МиТОМ. 2005. №6. С. 12–16.
- Каблов Е.Н., Петраков А.Ф., Пискорский В.П., Валеев Р.А., Назарова Н.В. Влияние диспрозия и кобальта на температурную зависимость намагниченности и фазовый состав материала системы Nd–Dy–Fe–Co–В //МиТОМ. 2007. №4. С. 3–10.