

of Si, FeSi₂, Al and CrSi₂, as well as the products of these compounds disintegration. According to the X-ray phase analysis data the most pronounced phases in the alloy are structural-free silicon (Si_{met}) and phases SiC, FeCr, CrSi₂ that corresponds to the TDA results. There was not revealed pure aluminum, it is a part of complex compounds, aluminous silicides of chromium and iron: FeAl₃Si₂, Fe₂Al₃Si₃, Al_{3,6}CrSi_{0,4}, CrAl_{0,42}Si_{1,58}.

Key words: aluminum-silicon-chrome, complex alloy, thermodynamic-diagram analysis, metallographic analysis, X-ray phase analysis.

Поступила 07.04.2016

УДК 620.22

Комплексное использование
минерального сырья. № 2. 2016.

Ф. Р. КАПСАЛАМОВА^{1*}, Б. К. КЕНЖАЛИЕВ²,
В. Г. МИРОНОВ¹, Г. Т. ШИЛОВ¹

¹Казахстанско-Британский технический университет, Алматы, *dfr_09.10@mail.ru
²АО «Центр наук о Земле, металлургии и обогащения», Алматы,

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ В ОБЪЕМЕ ПОРОШКА СИСТЕМЫ Fe-Ni-Cr-Cu-Si-B-C В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВРЕМЕНИ МЕХАНОХИМИЧЕСКОГО ЛЕГИРОВАНИЯ

В исходный состав порошковых наплавочных сплавов вводятся различные легирующие элементы для придания сплаву определенных физических, химических, механических и самофлюсующихся свойств. Такие сплавы широко используются в практике восстановления и упрочнения деталей машин и механизмов с применением технологий термического нанесения, в частности газопламенной наплавки покрытий. В настоящей работе применен метод механохимического легирования для получения нового самофлюсующего наплавочного порошкового материала на основе железа для газопламенного нанесения покрытий. Состав разрабатываемого наплавочного порошкового сплава на основе железа содержит следующие химические элементы, мас. %: Fe – 36-40; Cr – 15-18; Ni – 30-35; B – 2,5-4; Cu – 3-5; C – 0,6-1,0; Si – 3-5. С целью оптимизации технологических параметров получения порошкового материала для газопламенного покрытия методом механохимического легирования в работе исследовано влияние времени обработки на процесс механоактивации системы Fe-Ni-Cr-Cu-Si-B-C. Реакционное механохимическое легирование основано на обработке шихты в энергонапряженных мельницах, при котором получают композиции с требуемой дисперсностью порошка, имеющего однородное распределение исходных компонентов. В результате проведенных исследований выявлено, что такое легирование является эффективным способом получения наплавочного материала для газопламенной наплавки.

Ключевые слова: механохимическое легирование, энергонапряженная мельница, наплавочный сплав, газопламенная наплавка.

Введение. В практике восстановления и упрочнения деталей машин и механизмов с применением технологий термического нанесения покрытий широко используются порошковые наплавочные сплавы, в исходный металл которых вводятся различные легирующие элементы для придания сплаву определенных физических, химических и механических свойств. Состав и свойства порошковых наплавочных материалов зависят от способа их нанесения на поверхность обрабатываемой детали [1].

Среди существующих методов нанесения покрытий перспективным является газотермическое напыление [2, 3], в частности газопламенная наплавка [4]. Основными преимуществами метода являются низкое тепловложение в упрочня-

емую деталь, возможность получения покрытия практически из любого материала, простота и универсальность [5].

Для газопламенного нанесения покрытий на стальные детали используются специальные порошковые износостойкие сплавы. Для придания наплавочной поверхности различной твердости разработаны сплавы с заданной твердостью от 35 HRC до 55 HRC типа ПСР-2, ПСР-3, ПСР-4 и др. (ГОСТ 21.448-75) на основе кобальта, никеля, меди с различными карбидообразующими добавками, обеспечивающими необходимые физико-механические свойства наплавочного (нанесенного) покрытия. Твердость покрытия обеспечивается непосредственно после наплавки без последующей термообработки.

Оптимальным для использования при этом методе обработки поверхностей сталей является наплавочный сплав на основе железа марки ПГ-Ж14 (ТУ 19-4206-139-86), для восстановления деталей методом газопламенного напыления с твердостью нанесенного покрытия 40,8 HV, со следующим химическим составом, %: Ni – 36,0-39,0; Fe – 27,9-39,7; Cr – 13,0-16,0; Cu – 3,0-5,0; V – 3,0-5,0; C – 1,3-1,6; B – 2,0-2,5; Si – 2,0-3,0. Этот сплав получают металлургическим способом: расплавляют шихту в индукционной печи и затем распыляют жидкий металл через сопло с помощью инертного газа.

Описанный сплав отличается слабыми адгезионными свойствами, что обуславливает недостаточную прочность сцепления получаемых покрытий с основой. Металлургический способ, применяемый для получения сплава, характеризуется высокой энергозатратностью и имеет небольшой выход частиц порошка требуемой дисперсности 40-160 мкм [1].

В последнее время для получения композиционных порошков различного состава и назначения эффективное применение находит механохимическое легирование [6-9]. Основой методов механической обработки исходных твердых смесей (или шарового размола) является измельчение и пластическая деформация веществ, а также их перемешивание на атомарном уровне, когда активируется химическое взаимодействие и массоперенос твердых реагентов [10-13]. Механический размол – наиболее производительный способ получения мелкодисперсных порошков различных материалов: металлов, сплавов, интерметаллидов, керамик, композитов. В результате механического истирания и механического сплавления может быть достигнуто высокое растворение (механохимическое легирование) в твердом состоянии даже таких элементов, которые не имеют взаимной растворимости в равновесных условиях. Это объясняется тем, что механическая активация твердых материалов, вследствие создания дефектности структуры кристаллических фаз, обуславливает образование активных центров на поверхности частиц, что приводит к повышению их реакционной способности [14, 15].

Таким образом, в целях оптимизации технологических параметров получения порошкового материала для газопламенного покрытия методом механохимического легирования в настоящей работе исследовано влияние времени на процесс механоактивации системы Fe-Ni-Cr-Cu-Si-B-C.

Экспериментальная часть. Разрабатываемый наплавочный порошковый сплав на основе

железа содержит следующие химические элементы, мас. %: Fe – 36-40; Cr – 15-18; Ni – 30-35; B – 2,5-4; Cu – 3-5; C – 0,6-1,0; Si – 3-5.

Для проведения исследований использовали смесь порошков следующего состава: порошок железный ПЛ-Г4Д2МРВ; лигатура никель-бор NiB15; порошок никелевый А-2; хром металлический Х99Н2; порошок медный электролитический ПМС-1; кремний кристаллический КР-ОО; углерод технический. Химический состав исходных компонентов приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав исходных компонентов

Наименование	Содержание основных элементов, мас. %							
	Fe	Ni	Cu	Mo	C			
Железный порошок ПЛ-Г4Д2МРВ	Осн.	4,0	1,5	0,5	0,17			
	Лигатура никель-бор NiB15	Ni	B	Fe	Si	Cu	Al	C
Никелевый порошок А-2	Осн.	15-18	0,75	0,6	0,05	0,15	0,15	0,10
	Осн.	0,024	0,004	0,0014	0,0025	0,0072		
Металлический хром Х99Н2	Осн.	Cr	Fe	N	Si	Cu	Al	C
	Осн.	0,2	0,012	0,09	0,002	0,05	0,01	
Медный электролитический порошок ПМС-1	Осн.	Cu	Fe					
	Осн.	0,0015						
Кристаллический кремний КР-ОО	Осн.	Si	Fe	Al	Ca			
	Осн.	0,4	0,2	0,09				
Графит	Осн.	C	H	O	S	Минеральные вещества		
	Осн.	0,3	0,1	0,1	0,5			

Механоактивацию исходной шихты, которая представляет собой смесь порошков с загрузкой 1 кг и дисперсностью не более 0,5 мм, проводили методом сухого помола в планетарной мельнице МПП-2-1К в атмосфере воздуха с установленной мощностью 11 кВт при следующих технологических режимах:

- скорость вращения мешалки 1500 об/мин;
- соотношение массы шаров к массе порошковой смеси 50:5;
- длительность процесса 1-17 мин;
- мелющие тела – стальные шары.

Исследование распределения частиц проводили на электронно-зондовом микроанализаторе JXA-8230 фирмы «JEOL» при ускоряющем напряжении 25 кВ и токе электронного пучка до 100 нА, позволяющем оценить распределение каждого из введенных элементов по сечению порошка. Образец для исследований приготовили путем нанесения пробы на электропроводящую углеродную двустороннюю клейкую ленту фирмы «НИССИН».

Согласно техническим возможностям прибора, детектирование примесей или компонентов вещества и расчет их концентраций проводили стандартными методами на основе собственной программы ЕРМА фирмы «JEOL». Размеры и ток пучка электронов подбирались опытным путем, чтобы обеспечить достаточную статистику набора импульсов характеристического рентгеновского излучения (ХРИ). Монтаж отвечал перпендикулярному положению пробы по отношению к пучку электронов [17, 18].

Проводили полуколичественный волно-дисперсионный спектроскопический (ВДС) анализ. Диаметр пучка при ВДС анализе составлял 200 мкм. Для такого анализа была проведена коррективировка по углероду, сигнал от которого регистрировался с примененной двусторонней углеродной электропроводящей ленты, на которую монтировалась проба.

Картирование проб по элементам проводили в режиме ВДС при увеличении $\times 250$. Выбор самых сильных линий ХРИ по каждому из элементов проводился на основе результатов полуколичественного анализа, а поиск их пиков – на одном или двух кристалл-анализаторах, наилучшим образом отвечающих условиям съемки.

Обсуждение результатов. Из полученных данных видно, что шихта после обработки в течение 1 мин представляет собой механическую смесь порошков элементов Fe, Ni, Cr, Cu, Si, B, C со средней дисперсностью ~ 78 мкм (рисунок 1), которые хаотично распределены по всему объему.

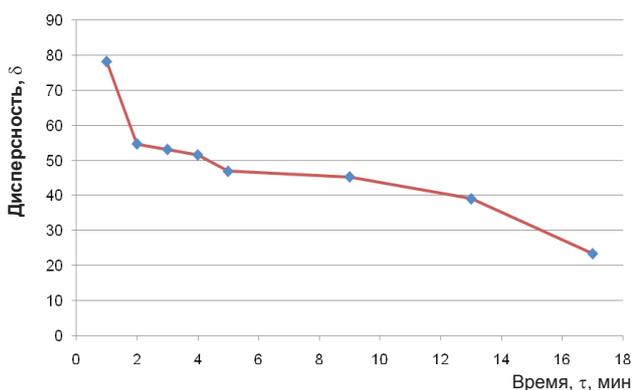
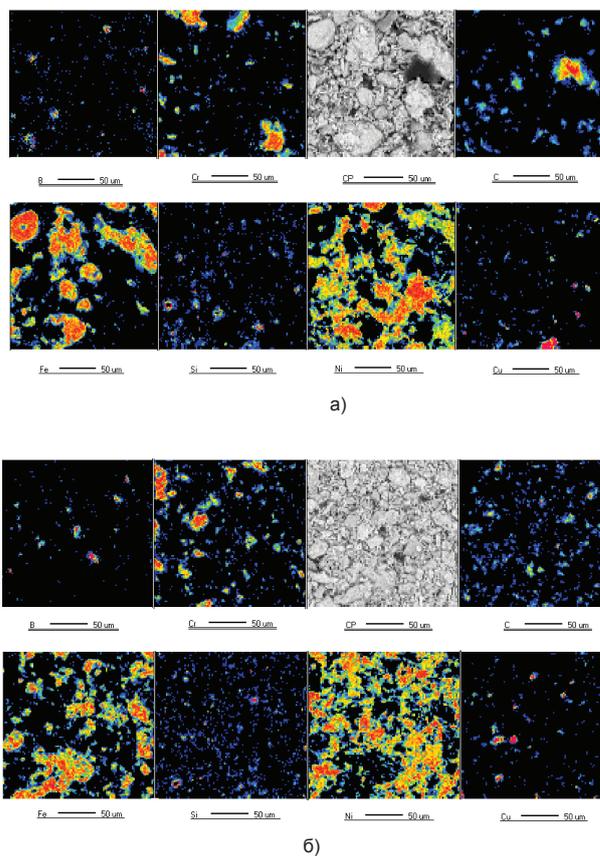


Рисунок 1 – Дисперсность (δ , мкм) порошка в зависимости от времени

При детальном изучении частицы порошка видно, что она представляет собой «слоеный пирог», т.е. распределение элементов по частице не равномерное, например, существуют зоны, кото-

рые обогащены хромом, а в других его содержание очень низкое (рисунок 2 а).

В ходе изучения порошков установлено, что уже после 4 мин механоактивации все элементы практически равномерно распределены по объему порошка, нет областей, в которых преобладает тот или иной элемент (рисунок 2 б). Размер частиц порошка достигает требуемой дисперсности, которая в среднем составляет ~ 50 мкм.



Продолжительность легирования: а) 1 мин; б) 4 мин.

Рисунок 2 – Распределение элементов в объеме порошка системы Fe-Ni-Cr-Cu-Si-B-C после механохимического легирования

Данные, полученные в ходе полуколичественного волно-дисперсионного спектроскопического (ВДС) анализа, приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Химический состав порошка после механоактивации

Время, мин	Fe	Ni	Cr	Cu	Si	B	C	Итого
	мас. %							
1	20.80	40.76	1.55	0.97	1.76	5.99	28.17	100.00
2	21.28	39.37	4.29	1.38	1.13	9.22	23.33	100.00
3	13.57	45.22	5.86	1.42	1.16	7.16	25.61	100.00
4	24.16	35.34	4.68	1.94	1.18	12.97	19.73	100.00
5	22.16	39.20	11.75	1.90	0.54	12.50	11.95	100.00
9	23.22	40.95	8.98	2.73	1.52	5.42	17.18	100.00
13	33.98	35.45	10.85	1.49	0.87	7.31	10.05	100.00
17	32.93	31.83	10.06	1.44	0.37	12.24	11.13	100.00

Судя по изменениям содержания железа, происходит увеличение количества железа на поверхности частиц за счет «набивки» стальными мелющими шарами. При разрушении частиц других металлов происходит обволакивание ими поверхности, что и выглядит как увеличение содержания Cr, Cu, В. Углерод в шихту смесей при механохимической активации вводится, как правило, для образования с кислородом СО, т.е., восстановительной атмосферы, защищающей металлы от окисления. Именно поэтому количество углерода в составе порошка уменьшается по мере увеличения времени обработки.

Для объяснения механизмов распределения элементов в объеме частицы порошка в процессе механоактивации предложен ряд моделей, описывающих процессы образования метастабильных твердых растворов и соединений. Примерами исследований механохимических превращений в многокомпонентных системах могут служить работы Suryanarayana С. [9] и Елсукова Е.П. [16]. Согласно предложенным ими моделям, образование соединений в таких системах происходит в несколько этапов. Сначала за счет интенсивной пластической деформации частицы исходного порошка сплющиваются и свариваются между собой, образуя композит. Композитные частицы на данном этапе имеют характерную слоистую структуру, состоящую из различных комбинаций исходных компонентов. С увеличением времени процесса механоактивации реакционная смесь превращается в мелкодисперсный композит. Затем за счет диффузии легирующих элементов от границы вглубь зерна образуются перемешанные твердые растворы, смесь становится гомогенной.

Выводы. Таким образом, проведенными исследованиями выявлено, что реакционное механохимическое легирование, основанное на обработке шихты в энергонапряженных мельницах, при котором получают композиции, имеющие однородное распределение исходных компонентов, является эффективным способом получения композиционных порошков для газопламенного нанесения покрытий. Экспериментальными исследованиями установлена оптимальная продолжительность процесса механохимического легирования – 4 мин, обеспечивающая получение композиционных порошков со средней дисперсностью 40-160 мкм, которые могут с успехом применяться для газопламенного нанесения покрытий.

ЛИТЕРАТУРА

1 Пат. 27499 РК. Наплавочный сплав для газотермического нанесения и способ его получения / Бейсембетов И.К.,

Кенжалиев Б.К., Сулейменов Э.Н., Миронов В.Г., Шилов Г.Т.; опубл. 15.10.2013, Бюл. № 10.

2 Mellor B.G. Surface coatings for protection against wear – UK: CRC Press. 2006. – P. 79-98.

3 Pawlowski L. The Science and Engineering of Thermal Spray Coatings. Second Edition. – England: John Wiley & Sons, Ltd, 2008. – 625 p.

4 Кудинов В.В. Плазменные покрытия. – М.: Наука, 1977. – 192 с.

5 Ловшенко Ф.Г., Ловшенко Г.Ф. Влияние механического легирования на фазовый состав и теплосодержание терморреагирующих порошковых композиций на основе железа и никеля для газотермических покрытий // Литье и металлургия. – 2014. – № 4 (77). – С. 99-108.

6 Ловшенко Г.Ф., Ловшенко Ф.Г. Теоретические и технологические аспекты создания наноструктурных механически легированных материалов на основе металлов. – Могилев: Бел.Рос. ун-т, 2005. – 264 с.

7 Ловшенко Г.Ф., Ловшенко Ф.Г., Хина Б.Б. Наноструктурные механически легированные материалы на основе металлов. – Могилев: Бел.Рос. ун-т, 2008. – 49 с.

8 Ловшенко Г.Ф., Ловшенко Ф.Г. Композиционные наноструктурные механически легированные порошки для газотермических покрытий. – Могилев: Бел.Рос. ун-т, 2012. – 214 с.

9 Suryanarayana С. Mechanical Alloying and Milling // Progress in Material Science. – 2001. – N 46 – P. 1-184.

10 Колобов Ю.Р., Валиев Р.З., Грабовецкая Г.П., Жилиев А.П., Дударев Е.Ф., Иванов К.В., Иванов М.Б., Кашин О.А., Найденкин Е.В. Зернограничная диффузия и свойства наноструктурных материалов. – Новосибирск: Наука, 2001. – 232 с.

11 Валиев Р.З., Александров И.В. Наноструктурные материалы, полученные интенсивной пластической деформацией. – М.: Логос, 2000. – 272 с.

12 Валиев Р.З., Александров И.В. Объемные наноструктурные металлические материалы. М.: Академкнига, 2007. – 340 с.

13 Горелик С.С., Добаткин С.В., Капуткина Л.М. Рекристаллизация металлов и сплавов. – М.: МИСИС, 2005. – 432 с.

14 Болдырев В.В. Механохимия и механическая активация твердых веществ // Успехи химии. – 2006. – № 75. – С. 203-216.

15 Болдырев В.В. Фундаментальные основы механической активации, механосинтеза и механохимических технологий. – Новосибирск: СО РАН, 2009. – 343 с.

16 Елсуков Е.П., Дорофеев Г.А. Механическое сплавление бинарных систем Fe-M (M = C, Si, Ge, Sn): кинетика, термодинамика и механизм атомного перемешивания. // Химия в интересах устойчивого развития. – 2002. – № 10 – С. 59-68.

17 Рид С.Дж.Б. Электронно-зондовый микроанализ и растровая электронная микроскопия в геологии – М.: Техносфера, 2008. – 232 с.

18 Гоулдстейн Дж., Ньюбери Д., Эчлин П., Джой Д., Фиори Ч., Лифшин Э. Растровая электронная микроскопия и рентгеновский микроанализ: в 2-х книгах. – М.: Мир, 1984. – 348 с.

REFERENCES

1 Pat. 27499 RK. *Naplavochnyj splav dlya gazotermicheskogo naneseniya i sposob ego polucheniya* (Surfacing alloy for thermal application and process for its preparation) Bejsembetov I.K., Kenzhaliev B.K., Sulejmenov Je.N., Mironov V.G., Shilov G.T. Opubl. 15.10.2013, 10 (in Russ.).

2 Mellor B.G. Surface coatings for protection against wear. UK: CRC Press. 2006. 79-98 (in Eng.).

3 Pawlowski L. The Science and Engineering of Thermal Spray Coatings. Second Edition. England: John Wiley & Sons, Ltd, 2008. 625 (in Eng.).

4 Kudinov V.V. *Plazmennye pokrytiya* (Plasma coatings). Moscow: Nauka, 1977. 192 (in Russ.).

- 5 Lovshenko F.G., Lovshenko G.F. *Vliyanie mekhanicheskogo legirovaniya na fazovyy sostav i teplosoderzhanie termoreagiruyushchikh poroshkovykh kompozitsiy na osnove zheleza i nikelya dlya gazotermicheskikh pokrytij* (Effect of mechanical alloying on phase composition and heat content of thermo-reactive powder compositions based on iron and nickel for thermal coatings). // *Lit'e i metallurgiya= Casting and metallurgy*. **2014**. 4 (77), 99-108 (in Russ.).
- 6 Lovshenko G.F., Lovshenko F.G. *Teoreticheskie i tekhnologicheskie aspekty sozdaniya nanostrukturnykh mekhanicheskii legirovannykh materialov na osnove metallov* (Theoretical and technological aspects of nanostructured mechanically alloyed materials based on metals). Mogilev: Bel. Ros. un-t, **2005**. 264 (in Russ.).
- 7 Lovshenko G.F., Lovshenko F.G., Khina B.B. *Nanostrukturnye mekhanicheskii legirovannye materialy na osnove metallov* (Nanostructured mechanically alloyed materials based on metals). Mogilev: Bel. Ros. un-t, **2008**. 49 (in Russ.).
- 8 Lovshenko G.F., Lovshenko F.G. *Kompozitsionnye nanostrukturnye mekhanicheskii legirovannye poroshki dlya gazotermicheskikh pokrytij* (Composite nanostructured mechanically alloyed powders for thermal coatings). Mogilev: Bel. Ros. un-t, **2012**. 214 (in Russ.).
- 9 Suryanarayana C. Mechanical Alloying and Milling. *Progress in Material Science*. **2001**. 46. 1-184 (in Eng.).
- 10 Kolobov Ju.R., Valiev R.Z., Graboveckaya G.P., Zhilyaev A.P., Dudarev E.F., Ivanov K.V., Ivanov M.B., Kashin O.A., Najdenkin E.V. *Zernogranichnaya diffuziya i svoystva nanostrukturnykh materialov* (Grain-boundary diffusion and properties of nanostructured materials). Novosibirsk: Nauka, **2001**. 232 (in Russ.).
- 11 Valiev R.Z., Aleksandrov I.V. *Nanostrukturnye materialy, poluchennye intensivnoj plasticheskoy deformatsiej* (Nanostructured materials produced by severe plastic deformation). Moscow: Logos, **2000**. 272 (in Russ.).
- 12 Valiev R.Z. Aleksandrov I.V. *Ob'emnye nanostrukturnye metallicheskie materialy* (Bulk nanostructured metallic materials). Moscow: Akademkniga, **2007**. 340 (in Russ.).
- 13 Gorelik S.S., Dobatkin S.V., Kaputkina L.M. *Rekristallizatsiya metallov i splavov* (The recrystallization of metals and alloys). Moscow: MISIS, **2005**. 432 (in Russ.).
- 14 Boldyrev V.V. *Mekhanokhimiya i mekhanicheskaya aktivatsiya tverdykh veshchestv* (Mechanochemistry and mechanical activation of solids). *Uspekhi khimii= Russian Chemical Reviews*. **2006**. 75, 203-216 (in Russ.).
- 15 Boldyrev V.V. *Fundamental'nye osnovy mekhanicheskoy aktivatsii, mekhanosinteza i mekhanokhimicheskikh tekhnologij* (Fundamentals of mechanical activation and mechanochemical mechanical synthesis technology). Novosibirsk: SO RAMN, **2009**. 343 (in Russ.).
- 16 Elskov E.P., Dorofeev G.A. *Mekhanicheskoe splavlenie binarnykh sistem Fe-M (M = C, Si, Ge, Sn): kinetika, termodinamika i mekhanizm atomnogo peremeshvaniya* (Mechanical alloying binary systems Fe-M (M = C, Si, Ge, Sn): kinetics, thermodynamics, and atomic mixing mechanism). *Khimiya v interesakh ustojchivogo razvitiya= Chemistry for sustained development*. **2002**. 10, 59-68 (in Russ.).
- 17 Rid S.J.B. *Ehlektronno-zondovyy mikroanaliz i rastrovaya ehlektronnaya mikroskopiya v geologii* (Electron probe microanalysis and scanning electron microscopy in geology). Moscow: Tehnosfera, **2008**. 232 (in Russ.).
- 18 Gouldstejn Dzh., N'juberi D., Jechlin P., Dzhoy D., Fiori Ch., Lifshin Je. *Rastrovaya jelektronnaya mikroskopiya i rentgenovskij mikroanaliz: v 2-h knigah* (Scanning electron microscopy and X-ray microanalysis). Moscow: Mir, **1984**. 348 (in Russ.).

ТҮЙІНДЕМЕ

Опа балқытылған қорытпалар термиялық бұрку технологияларды, атап айтқанда жалынды басу жабдықтарын пайдалана отырып, машина бөлшектері мен құралдарын қалпына келтіру және беріктендіру үшін күнделікті өмірде кеңінен қолданылады. Мұндай металдардың әр түрлі элементтер белгілі бір физикалық, химиялық, механикалық және өзін-өзі өзгертуге арналған қасиеттері бар. Бұл мақалада, механохимиялық қоспалау әдісі жалын жабыны үшін темір негізіндегі жаңа өзін-өзі өзгертетін ұнтақ толтырғыш материал алу үшін пайдаланылған. Өзірленген толтырғыш құймалар ұнтақтарының құрамы темір негізіндегі салмағы мынадай химиялық элементтерді қамтиды. %: Fe – 36-40; Cr – 15-18; Ni – 30-35; B – 2,5-4; Cu – 3-5; C – 0,6-1,0; Si – 3-5. Ұнтақ материалды өндіру технологиялық параметрлерін оңтайландыру мақсатында жалын жабыны үшін механика-химиялық қоспалау әдісін қолдана отырып, механикалық активтендіру жүйесінің Fe-Ni-Cr-Cu-Si-B-C процесіне өңдеу уақыт әсері зерттелген. Зерттеулер нәтижесінде энергия сыйымды диірмен жылы пакеттік өңдеу негізінде құрамына ұнтақты қажетті дисперсия алынатын, бастапқы компоненттерінің біртекті бөлуі бар, реакциялық механика-химиялық легирлену анықталды. Бұл алауды дәнекерлеуге арналған толтырғыш материал өндіру үшін тиімді әдісі болып табылады.

Түйінді сөздер: механика-химиялық қоспалау, қаптаушы қорытпа, газжалынды қаптау.

SUMMARY

Various alloying elements is introduced into initial composition of powder fused surfacing alloys for giving to alloy specific physical, chemical, mechanical and self-fluxing properties. Such alloys are widely used in the practice of restoration and hardening of machine parts and mechanisms by application of thermal coating technologies, in particular gas-flame surfacing of coatings. In the present work the technique of mechanochemical alloying is used to obtain of new self-fluxing welding powder material based on iron for gas-flame application of coatings. The composition of developed welding iron-based alloy contains the following chemical elements by weight in %: Fe – 36-40; Cr – 15-18; Ni – 30-35; B – 2,5-4; Cu – 3-5; C – 0,6-1,0; Si – 3-5. In the work the influence of processing time on the mechanical activation of system Fe-Ni-Cr-Cu-Si-B-C is investigated in order to optimize the technological parameters of process of obtaining powder material for gas-flame coating by technique of mechanochemical alloying. The reactionary mechanochemical doping is based on the processing of the charge in the energy-intensive mills, wherein the compositions with the required dispersion of powder and uniform distribution of the initial components are obtained. The studies revealed that this kind of alloying is an effective way to get welding material for gas-flame surfacing.

Keywords: mechanochemical alloying, energy-intensive mills, surfacing alloy, gas-flame welding.

Поступила 17.03.2016