

ОПТИМИЗИРАНЕ ТВЪРДОСТТА И РАЗМЕРНИТЕ ПРОМЕНИ СЛЕД СПИЧАНЕ НА ПРАХОВИ МАТЕРИАЛИ ОТ СИСТЕМАТА Fe-C-P

Иван Н. Митев

Ивелина Т. Тодорова

Технически университет
гр.Габрово, Р.БългарияТехнически университет
гр.Габрово, Р.България

РЕЗЮМЕ — Настоящото изследване има за цел да се оптимизира количеството на фосфор и въглерод в праховометалургични конструкционни материали от системата Fe-C-P с цел получаване на висока твърдост по Викерс при минимална относителна промяна в размерите на заготовките след синтероване. Оптимизацията е направена по метода на привидените симплексни решеткови плановете. Доказано е, че максимална твърдост $180 \div 200\text{HV}$ се постига след синтероване на образци съдържащи $0,70 \div 0,77\% \text{C}$ и $0,45 \div 0,50\% \text{P}$, а при концентрация $0,77\% \text{C}$ и $0,49\% \text{P}$ практически не настъпват промени в размерите на спечените заготовки.

Ключови думи: железен прах ASC 100.29; симплексни плановете; прахова металургия; фосфор.

OPTIMIZE HARDNESS AND SIZE CHENGE AFTER SINTERING OF POWDER MATERIALS SYSTEM Fe-C-P

Ivan N. Mitev

Ivelina T.Todorova

Gabrovo, Bulgaria

Gabrovo, Bulgaria

ABSTRACT—The present study is designed to optimize the amount of phosphorus and carbon in the powder-metallurgical construction materials in the system Fe-C-P in order to obtain a high Vickers hardness with a minimum relative change in the dimensions of the workpieces after sintering. Optimization is made by the method of seemingly simplex grate plans. It has been shown that the maximum hardness $180 \div 200\text{HV}$ is achieved after sintering of samples containing $0,70 \div 0,77\% \text{C}$ and $0,45 \div 0,50\% \text{P}$, and at a concentration of $0,77\% \text{C}$ and $0,49\% \text{P}$ not practical changes occur in the size of sintered workpieces.

Keywords: iron powder ASC 100.29; simplex plans; powder metallurgy; phosphorus.

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Аналогично на летите материали и праховите конструктивни изделия се изработват, като правило от сплави. Метали в чисто състояние се употребяват само, ако от изделията се изискват специални физични свойства. Получаването на определени физико-механични свойства налага използването на легирани железни прахове. Голяма част от легиращите елементи, които се използват в черната металургия за подобряване свойствата на желязото, се употребяват по аналогия и в праховата металургия. Съществуват обаче и някои съществени особености (Mitev, 2002; Randal, 2007):

- прилагането на някои широко употребявани в черната металургия легиращи елементи – хром, манган, силиций, титан и ванадий – е затруднено поради силния им афинитет към кислорода;
- в праховата металургия намират широко приложение за легиране някои елементи, които се използват ограничено в черната металургия – например мед, фосфор и др.;
- при стичане невинаги се достига пълна хомогенизация на сплавите;
- в сравнение с класическата металургия тук са необходими по-големи количества от сплавящите добавки, за да се получат желаните свойства;
- много важен фактор при подбор на вида и количеството на легиращия елемент е влиянието му върху точността на размерите на спечените изделия (Mitev, 2014).

Поради тези причини химичният състав на голяма част от спечените стомани се различава значително от състава на обикновените стомани със същата област на приложение.

Напоследък в практиката на праховата металургия все по-широко приложение намира легирането на желязната матрица с фосфор. За разлика от летите желязо-въглеродни сплави, където фосфорът е нежелан елемент, използването му в праховата металургия е особено привлекателно, както от икономическа, така и от техническа гледна точка. Фосфорът притежава ценното качество, че при добавянето му в малки количества в желязната матрица води до чувствително повишаване на якостните свойства на крайното изделие без да влошава пластичността, както при другите легиращи елементи.

Към настоящият момент легирането на праховите конструкционни изделия с фосфор варира в сравнително широки граници от 0,1÷1,0%, (Mitev, 2002), което оказва съществено влияние, както върху механичните свойства на изделията – якост на опън, твърдост, относително удължение и др., така и върху размерите на спечените заготовки. В тази връзка целта на настоящото изследване е да се оптимизира количеството фосфор в тройната система Fe-C-P с оглед постигане оптимални стойности на твърдостта по Викерс при запазване или минимални промени в размерите на детайлите след синтероване.

2. МАТЕРИАЛИ И МЕТОДИ

На изследване са подложени пробни тела с цилиндрична форма, с диаметър 10mm и дължина 50mm. Изработени са от железен прах ASC 100.29 производство на фирмата „Höganäs”- Швеция, към които е добавено въглерод и фосфор.

Оптимизиране на количеството на компонентите от изследваната тройна система е направено по метода на приведените симплексни решеткови планове, при които оптимизацията се осъществява в ограничена подобласт на симплекса. Пресмятанията са извършени съгласно разработени методики (Mitev, Maimarev 2013; Djonov, 1995).

Влиянието на количеството железен прах върху изследваните характеристики е означено с X_1 , на въглерода с X_2 , а на фосфора с X_3 . Като основни характеристики подлежащи на изследване са подбрани твърдостта по Викерс на образците след синтероване – Y_1 , и относителната промяна в диаметралните размери на заготовките – Y_2 .

Базирайки се на предварително проведени експерименти (Mitev, Todorova 2016), на диаграмите на състояние Fe-C; Fe-P и Fe-C-P, както и на технологичните параметри на процеса синтероване (Mitev, Todorova 2017), определяме концентрацията на компонентите от изследваната система да варират в граници съгласно 1.

Посочените в 1 ограничения формират област на изследване описана със симплекс с върхове съгласно 2.

$$\begin{aligned} 0,986 &\leq X_1 \leq 0,992 \\ 0,002 &\leq X_2 \leq 0,008 \\ 0,000 &\leq X_3 \leq 0,006 \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} S_1 &= (0,992; 0,002; 0,006) \\ S_2 &= (0,992; 0,008; 0,000) \\ S_3 &= (0,986; 0,008; 0,006) \end{aligned} \quad (2)$$

Приемаме, че изследваните от нас свойства могат да се опишат с приведен полином от втора степен, който има вида 3.

$$Y = b_1.X_1 + b_2.X_2 + b_3.X_3 + b_{12}.X_1.X_2 + b_{13}.X_1.X_3 + b_{23}.X_2.X_3 \quad (3)$$

Плана на Шафе в псевдокомпоненти за разглежданата област се състои от 6 основни точки – таблица №1.

В случай, че първоначално избраният модел се окаже неадекватен, контролна точка 7 е подбрана така, че по-лесно да се премине към непълен полином от трета степен. За да се изпълни планът, е необходимо да се изчислят началните компоненти на матрицата 4.

$$\begin{aligned} \begin{pmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \end{pmatrix} &= \begin{pmatrix} 0,992 & 0,992 & 0,986 \\ 0,002 & 0,008 & 0,008 \\ 0,006 & 0,000 & 0,006 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} Z_1 \\ Z_2 \\ Z_3 \end{pmatrix} \end{aligned} \quad (4)$$

След като извършим матричното умножение получаваме системата уравнения 5.

$$\begin{aligned} X_1 &= 0,992 \cdot Z_1 + 0,992 \cdot Z_2 + 0,986 \cdot Z_3 \\ X_2 &= 0,002 \cdot Z_1 + 0,008 \cdot Z_2 + 0,008 \cdot Z_3 \\ X_3 &= 0,006 \cdot Z_1 + 0,000 \cdot Z_2 + 0,006 \cdot Z_3 \end{aligned} \quad (5)$$

Стойностите на началните променливи се получават, като заместим в системата Z_1 , Z_2 и Z_3 за всяка точка от плана, като получените резултати нанасяме в колони 5, 6 и 7 от таблица №1. Към количествените съотношения пресметнати за компонентите в плана на експеримента – колони 5, 6 и 7 е добавено 0,8% мазилно вещество „Kenolube“ и са изработени образци при следните технологични характеристики: пресово усилие 600MPa; температура на синтероване 1150°C и продължителност на спичане 60min в защитна атмосфера от дисоцииран амоняк,

Измерената плътност на образците след синтероване е 7,20g/cm³.

3. РЕЗУЛТАТИ

На образците със състав съгласно т.2 след синтероване е измерена твърдостта по Викерс и са определени относителните промени в диаметралните размери на заготовките.

Получените резултати са представени в колони 8 и 9 на таблица №1.

Използвайки получените стойности за Y_1 и Y_2 с помощта на уравнения 6 и 7 пресмятаме коефициентите на приведения полином и записваме математичните модели на изследваните характеристики – 8 и 9.

$$b_i = y_i \tag{6}$$

$$b_{ij} = 4Y_{ij} - 2Y_i - 2Y_j \text{ при което } i < j \tag{7}$$

Таблица №1 План на експеримента

№ на опит	Псевдо компоненти			Начални компоненти			Изследвани характеристики	
	Z ₁	Z ₂	Z ₃	X ₁	X ₂	X ₃	Y ₁	Y ₂
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1	0	0	0,992	0,002	0,006	121	-0,27
2	0	1	0	0,992	0,008	0,000	150	0
3	0	0	1	0,986	0,008	0,006	217	-0,22
4	0,500	0,500	0	0,992	0,005	0,003	150	+0,10
5	0,500	0	0,500	0,989	0,005	0,006	194	-0,17
6	0	0,500	0,500	0,989	0,008	0,003	167	+0,20
7	0,333	0,333	0,333	0,989	0,0079	0,003 1	165	+0,19
6	0,250	0,500	0,250	0,9905	0,0065	0,0030	159	+0,15
9	0,500	0,250	0,250	0,9905	0,007	0,0025	153	+0,08
10	0,250	0,250	0,500	0,9890	0,0065	0,0045	175	+0,31

$$Y_1 = 121Z_1 + 150Z_2 + 217Z_3 + 58Z_{12} - 300Z_{13} - 66Z_{23} \tag{8}$$

$$Y_2 = -0,27Z_1 - 0,22Z_3 + 0,94Z_{12} + 0,30Z_{13} + 1,24Z_{23} \tag{9}$$

За проверка адекватността на моделите е пресметната оценката на остатъчната дисперсия в четири контролни точки – 7÷10 и е изчислена остатъчната сума на квадратите на тези точки – формула 10÷12. Получените резултати са представени в таблица №2.

$$S_{ост}^2 = \frac{Q_{ост}}{v_{ост}} \tag{10}$$

$$Q_{ост} = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_n)^2 \tag{11}$$

$$v_{ост} = N - K \tag{12}$$

Таблица №2 Остатъчна сума на квадратите

Y	S ² _{ост}				Q _{ост}	v _{ост}	S ² _{ост}
	т.7	т.8	т.9	т.10			
Y ₁	164,38	159,61	154,02	174,73	1,8798	4	0,4699
Y ₂	+0,192	+0,149	+0,110	+0,293	0,0012	4	0,0003

Чрез провеждане на опити с един и същ състав на образците – т.7 от таблица №1 определяме оценката на дисперсионната грешка по формула 13. Стойностите получени след провеждането на допълнителните опити с една и съща смес са представени в таблица №3, в която са представени и стойностите за математичното очакване пресметнати по формула 14.

$$S_{\epsilon}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_n - m_{\hat{y}})^2 \tag{13}$$

$$m_{\hat{y}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_n \tag{14}$$

$$F = \frac{S_{\text{ост}}^2}{S_{\varepsilon}^2} \tag{15}$$

Таблица №3. Оценка на дисперсионната грешка

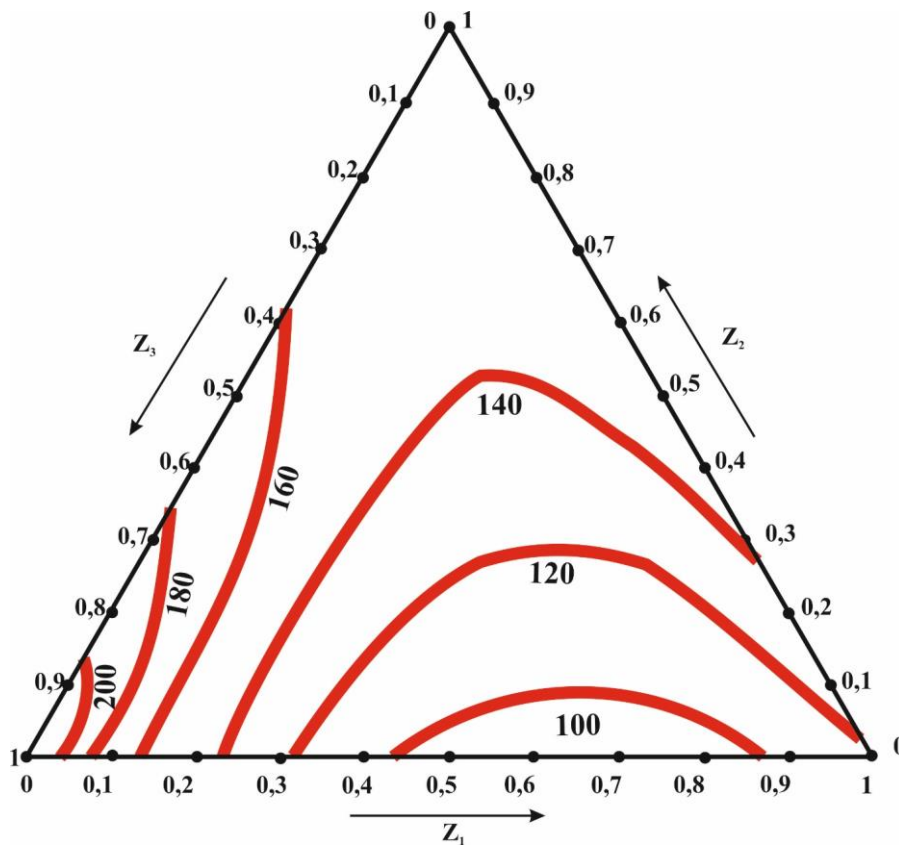
Y	S _ε ²						S _ε ²
	1	2	3	4	5	m _v	
Y ₁	164,2	166,5	165,4	163,8	162,5	164,48	2,347
Y ₂	0,187	0,198	0,175	0,191	0,189	0,188	0,00007

Използвайки получените резултати в таблици №2 и 3 чрез формула 15 са определени дисперсните съотношения за изследваните функции.

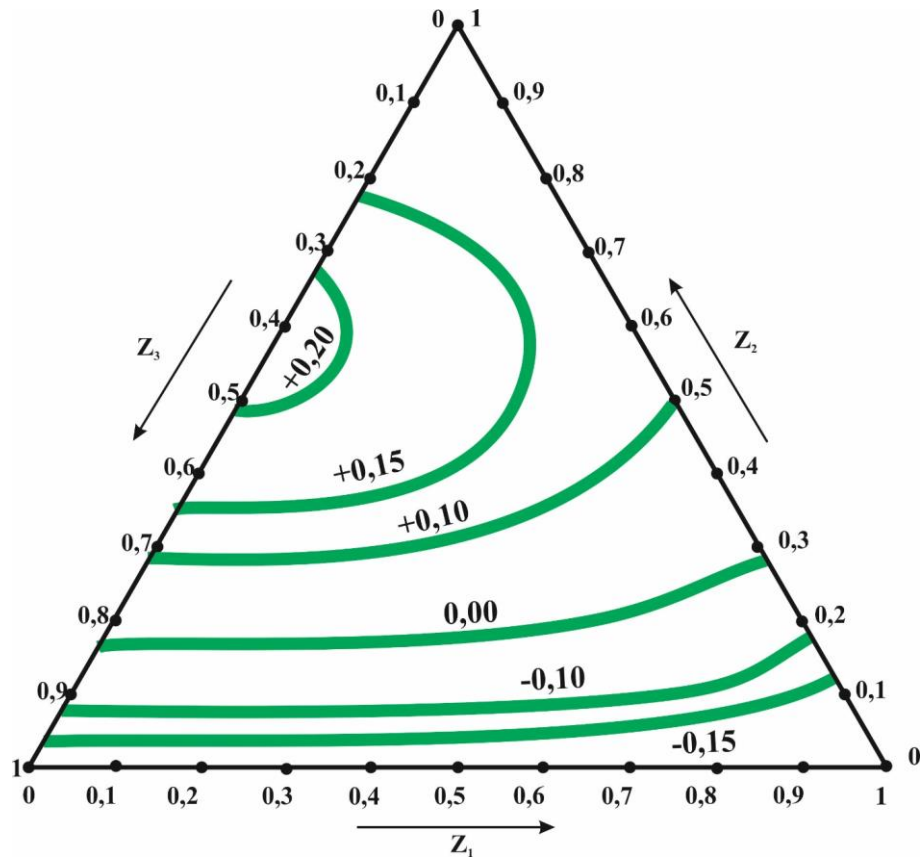
$$F_{Y1} = 0,2002 \qquad F_{Y2} = 4,2857$$

При брой на степените на свобода $\nu_{\text{ост}}=4$ и $\nu_{\varepsilon}=4$ и при ниво на значимост $\alpha=0,05$, от таблиците за разпределение на критерия на Фишер отчитаме $F_{\text{табл.}} = 6,39$ (Vuchkov, Stoianov 1986).

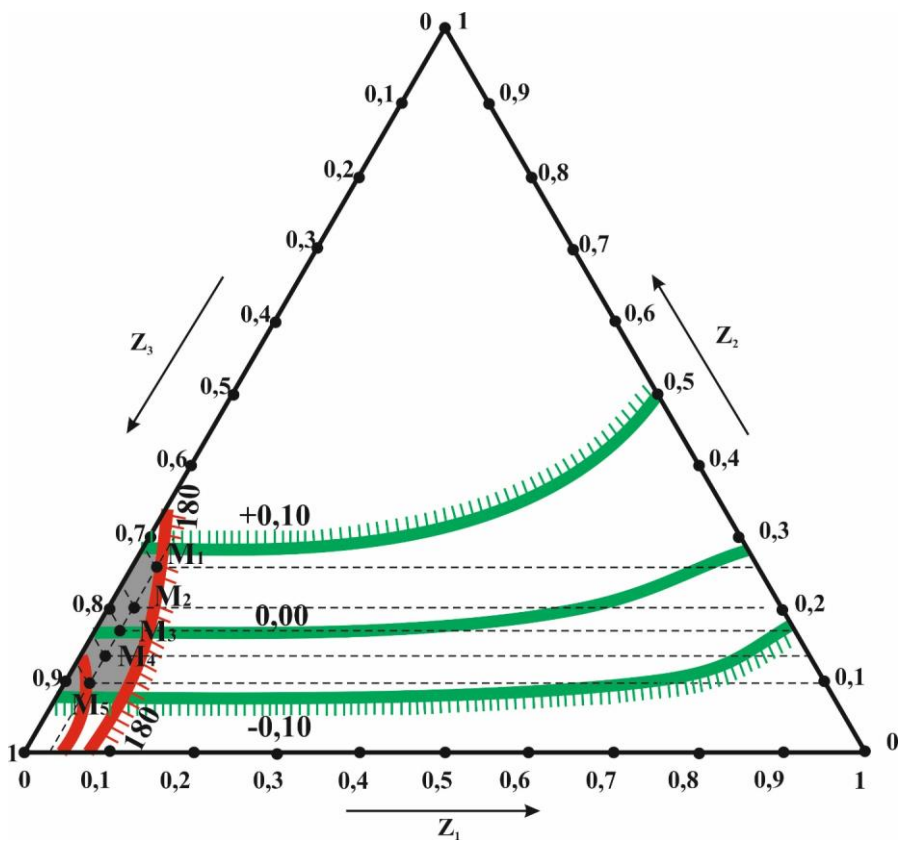
Съпоставяйки табличната стойност с експерименталните резултати за двете изследвани от нас функции се вижда, че те са по-малки от табличните стойности за критерия на Фишер. Това ни дава основание да заключим, че разработените от нас математични модели са адекватни. Използвайки математичните модели са пресметнати стойностите за изследваните функции в различни точки на симплекса, като графичната интерпретация на резултатите е представена на фиг.1 и 2. На фиг.3 е представен сумарният симплекс с двете изследвани функции. Линиите на еднаква значимост за твърдостта по Викерс и относителните промени в диаметралните размери на заготовките ограждат оптимална област, в която твърдостта е от порядъка 180÷200HV, а относителната промяна в диаметралните размери варира в границите -0,1 ÷ +0,1%. Това е комбинацията от оптимални стойности на твърдостта при минимални промени в диаметралните размери на заготовките.



Фиг.1. Разпределение на линиите с еднаква значимост за Y_1, HV_{10}



Фиг.2. Разпределение на линиите с еднаква значимост за Y_2 %



Фиг.3. Област на оптимални стойности за Y_1 и Y_2

С помощта на система уравнения 5 от сумарният симплекс определяме количествените съотношения на оптималните състави на компонентите от системата Fe-C-P, отговарящи на концентрациите на т. М – таблица №4.

Таблица №4. Превръщане на приведените координати в действителни

Точка от симплекса	Приведени координати			Действителни стойности, %		
	Z ₁	Z ₂	Z ₃	X ₁ /Fe	X ₂ /C	X ₃ /P
1	2	3	4	5	6	7
M ₁	0,05	0,25	0,70	0,9885	0,0070	0,0045
M ₂	0,05	0,20	0,75	0,9875	0,0077	0,0048
M ₃	0,05	0,18	0,77	0,9874	0,0077	0,0049
M ₄	0,05	0,14	0,81	0,9871	0,0077	0,0052
M ₅	0,05	0,10	0,85	0,9869	0,0077	0,0054

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

От проведените изследвания и получените при тях резултати могат да се формулират следните по-важни изводи:

- Максимални стойности за твърдостта по Викерс на изследваните праховометалургични образци - 180÷200HV, се постига при концентрация на въглерод и фосфор в тях съответно 0,70÷0,80% и 0,45÷0,55%.
- При концентрация на въглерод 0,77% и фосфор 0,49% в образците след синтероване при 1150°C в продължение на 60min в защитна атмосфера от дисоцииран амоняк не се регистрира промяна в размерите на изходните заготовки.

5. ЛИТЕРАТУРА

- Vuchkov, I., Stoianov S., (1986). Mathematical modeling and optimization of technological objects, Technology, Sofia, pp.156÷188
- Djonov, Zv, and other (1995). Mathematical modeling and optimization of mechanical properties of steels, University Press “V.Aprilov”, Gabrovo,
- Mitev, I., (2014). Dimensional Change During Sintering of Samples of the Fe-Cu System, International Journal of Emerging Technologies in Computational and Applied Sciences (IJETCAS), ISSUE 8, vol.5, 2014, p.433÷436, ISSN (online) 2279-0055, ISSN (print) 2279-0047.
- Mitev, I., Maimarev R. (2013)., Optimizing Strength Characteristics of Powder Workpieces of Fe-C-Cu System, International Journal of Emerging Technologies in Computational and Applied Sciences (IJETCAS), ISSUE 5, vol.1, 2013, pp.1÷6, ISSN (online) 2279-0055, ISSN (print) 2279-0047
- Mitev, I. (2006). Optimization of the Mn content in the powder structural material from Fe-C-Mn system, ИС ”Machines, Technologies and Innovations in the Industry”, March 27, 2006, Sofia.
- Mitev, I., (2002). Powder metallurgy - part I, University Press “V.Aprilov”, Gabrovo.
- Mitev, I., Todorova, I. (2016). Influence of protective atmosphere during sintering on the properties of alloyed with phosphorus iron powder materials, IJEAT, ISSN 2249-8958
- Mitev, I., Todorova I. (2016). Influence of phosphorus on the strength characteristics of powder structural material from the system Fe-C-P, ISC „UNITECH¹⁶“, vol.III, pp186-189, ISSN 1313-230X
- Mitev, I., Todorova I. (2017). Influence of sintering temperature on the strength properties of the powder structural material from the system Fe-C-P, Journal of the technical University of Gabrovo. V.54.
- Randal, M. (2007). Powder Metallurgy of Iron and Steel, Wiley, Michigam, ISBN 047-1157392