

Л и т е р а т у р а

Г. Худокормов Д.Н., Талушко А.М., Ле-
каха С.Н. "Литейное производство", № 3, 1973.

ВЛИЯНИЕ СУРЬМЫ, ФОСФОРА, ХРОМА И СЕРЫ НА
ИЗНОСОУСТОЙЧИВОСТЬ ЛИТОГО СИНТЕТИЧЕСКОГО
СПЛАВА Fe-C-Si

Развитие современной техники в направлении интенсификации рабочих режимов машин и механизмов, увеличение скоростей скольжения, удельных давлений в узлах трения создало потребность в конструкционных материалах с лучшими свойствами и особенно с более высокой износостойкостью.

Известно (1-4), что незначительные добавки к промышленному чугуна P, Sb, Cr, S повышают его износостойкость. Поэтому к чистому Fe-C-Si сплаву добавлялись именно эти элементы.

Исходными материалами для получения чистого сплава Fe-C-Si служили: особо чистое карбонильное железо с общей суммой примесей 0,0102%, спектрально чистый реакторный графит и полупроводниковый кремний КДБ-0,045. Смесь шихтовых материалов в виде порошка фракции до 0,08 мм превосовалась под давлением 7 т/см². Полученные прессовки подвергались спеканию в вакуумной печи МПВ-3М при разряжении 10⁻³ мм рт. ст. и температуре 980°C в течение трех часов, что способствовало получению более стабильного состава сплава и дополнительно снижало концентрацию примесей.

Спеченные образцы з кварцевых пробирках, предварительно продутых аргоном, загружались в силитовую печь, разогретую до температуры 1400°C. После расположения и выдержки в течение 8 минут, необходимых для растворения графита, температура металла снижалась до 1350°C и вводились присадки. Образцы охлаждались со скоростью 12°/мин.

Испытания на износостойкость производились в режиме сухого трения пары твердосплавная пластинка - образец. Износостойчивость оценивалась весовым методом.

При раздельном введении в сплав S, P, Sb и Cr получены зависимости, предоставленные на рис.1. Как видно, добавка Sb в количестве до 0,1% увеличивает износ, что, вероятно, связано с ликвидацией кремния к центру эвтектического зерна, приво-

дящей к образованию феррита. Дальнейшее увеличение добавки сурьмы способствует перлитизации сплава и соответственно уменьшает его износ.

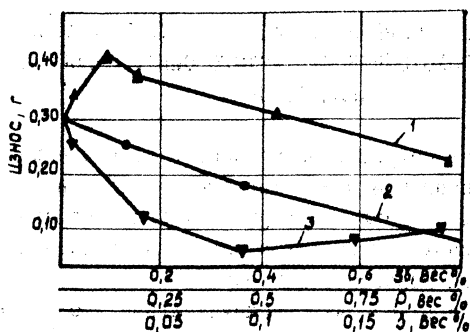


Рис. 1. Влияние серы, фосфора и сурьмы на износ сплава Fe-C-Si

Во всем исследованном интервале добавок фосфор уменьшает износ за счет образования фосфидной эвтектики, обладающей повышенной твердостью и высоким сопротивлением износу.

В пределе до 0,08% сера интенсивно снижает износ ввиду резкого уменьшения количества междендритного графита. Увеличение добавки свыше 0,08% вызывает появление сульфидов, укрупняет графитные включения и приводит к незначительному увеличению износа.

Известно, что эффект повышения эксплуатационных свойств значительно увеличивается при комплексном введении добавок. Решение задачи по отысканию оптимальных соотношений элементов связано с выполнением большого объема экспериментальных работ. Поставленную задачу можно рассматривать как экстремальную и решать ее с помощью методов математического планирования экстремальных экспериментов, что значительно сокращает объем необходимых работ (5-6).

В качестве независимых факторов, выбраны: X_1 , X_2 , X_3 и X_4 , соответствующие процентному содержанию сурьмы, фосфора, хрома, серы.

Критерием оценки (параметром оптимизации) служил износ сплава (Y). Параллельно проводились измерения твердости и ме-

таллографический анализ.

На первом этапе исследования строилась линейная модель типа

$$y = b_0 + \sum b_i x_i \quad 1 \leq i \leq k,$$

где

b_0 и b_i - выборочные коэффициенты;

k - число факторов.

Для этого был выбран дробный факторный план типа 2^{4-1} , включающий 8 опытов. Уровень варьирования факторов и планы экспериментов приведены в табл. I.

Т а б л и ц а I

Исследуемые факторы	Фиктивная переменная	Sb , %	ρ , %	Cr , %	S , %	Износ, Г	Твердость, НВ
I	2	3	4	5	6	7	8
Код	X_0	X_1	X_2	X_3	X_4	Y	Y_2
Основной (0) уровень		0,2	0,2	0,25	0,10		
Интервал варьирования (J)		0,15	0,15	0,15	0,05		
Верхний уровень (+I)		0,35	0,35	0,40	0,15		
Нижний уровень (-I)		0,05	0,05	0,10	0,05		
Опыт	I	+	-	-	-	-	0,0580 207
	2	+	+	-	-	+	0,0520 229
	3	+	-	+	-	+	0,0360 2
	4	+	+	+	-	-	0,0730 24I
	5	+	-	-	+	-	0,1620 217
	6	+	+	-	+	+	0,0400 229
	7	+	-	+	+	+	0,0740 217
	8	+	+	+	-	-	0,0720 2
Опыт на основном уровне	9	+	0,2	0,2	0,25		0,0650 229

I	2	3	4	5	6	7	8
Параллельные опыты	I0(I) +	-	-	-	-	520	207
	II(2) +	+	-	-	+	590	229
	I2(7) +	-	+	+	+	0,0640	2I7
	I3(8) +	+	+	+	-	0,0620	24I

Выбранная полуреплика 2^{4-1} имеет определяющий контраст: $I=X_1 \cdot X_2 \cdot X_3 \cdot X_4$ и позволяет получить следующую систему оценок:

$$X_1; X_2; X_3; X_4; X_1X_2 = X_3X_4; X_1X_3 = X_2X_4; X_1X_4 = X_2X_3.$$

В соответствии с выбранным планом было реализовано I-8 опытов, опыт на основном уровне (9) и четыре параллельных опыта (I0-I3), для расчета дисперсии, которая в нашем случае оказалась равной 0,000036 при четырех степенях свободы (f_1). Среднеквадратичная ошибка опыта равна 0,006. Результаты экспериментальных данных приведены в таблице I. По ним были рассчитаны линейные коэффициенты регрессии по формуле

$$b_i = \frac{\sum_{j=1}^N x_{ij} y_j}{N},$$

где

i - номер фактора;

j - номер опыта;

N - число опытов.

Результаты статической обработки экспериментальных данных приведены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

b_0	b_1	b_2	b_3	b_4	Δb_i	$S\bar{y}$	f_1	$t_{0,05;4}^{рас}$	$t_{0,05;4}^{табл.}$
0,0700	-0,0116	-0,0071		-0,0204		0,006	4	2,36	
			+0,0161		$\pm 0,005$				2,78

$$Y_i = 0,700 - 0,0116X_1 - 0,0071X_2 + 0,0161X_3 - 0,0204X_4$$

Адекватность представления результатов экспериментов линейной моделью проверяли по нуль-гипотезе. Так как расчетное значение t - критерия (критерий Стьюдента) меньше его табличных значений, гипотеза об адекватности не отвергается. Пользуясь линейной моделью, можно произвести оценку влияния добавки Sb , P , Cr и S на износ синтетического $Fe-C-Si$ сплава, графическая интерпретация которой представлена на рис.2.

В выбранных интервалах изменения независимых переменных сера, сурьма и фосфор уменьшают, а хром увеличивает износ сплава.

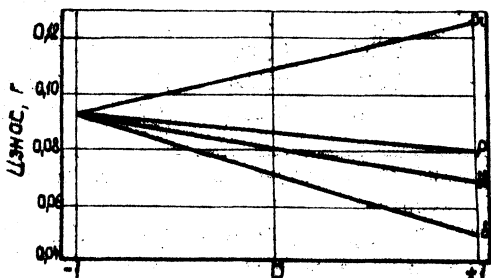


Рис.2. Влияние серы, фосфора, сурьмы и хрома на износ сплава $Fe-C-Si$ при комплексном введении. Содержание элементов дано в кодированном виде

На следующем этапе в направлении градиента полученной линейной модели была осуществлена серия опытов крутого восхождения в область оптимального сочетания исследуемых факторов, обеспечивающего минимальный износ.

Условия опытов этапа крутого восхождения приведены в табл.3.

Т а б л и ц а 3

Код.	X_0	X_1	X_2	X_3	X_4	y_1	y_2
I	2	3	4	5	6	7	8
b_1	0,0700	-0,0116	-0,0071	+0,0161	-0,0204		
$b_{1 \times 7}$	-	0,00174	0,00106	0,00241	0,00102		

1	2	3	4	5	6	7	8
Шар	-	0,02	0,012	0,03	0,012		
О.У.	-	0,2	0,2	0,25	0,10	0,160	229
Опыт 1	-	0,22	0,212	0,22	0,112	0,147	217
"- 2	-	0,24	0,224	0,19	0,124	0,112	217
"- 3	-	0,26	0,236	0,16	0,136	0,110	241
"- 4	-	0,28	0,248	0,13	0,148	0,102	255
"- 5	-	0,30	0,260	0,10	0,160	0,124	229
"- 6	-	0,32	0,272	0,07	0,172	0,186	217
"- 7	-	0,34	0,284	0,04	0,184	-	-
"- 8	-	0,36	0,296	0,01	0,196	0,202	229

Наименьший износ получен в четвертом опыте при следующем сочетании элементов:

$Sb = 0,28\%$; $P = 0,248\%$; $Cu = 0,13\%$; $S = 0,148\%$.

Таким образом, в результате выполненных работ изучено влияние P , Cr , S и Sb на износоустойчивость синтетического $Fe-C-Si$ сплава и найдено оптимальное их соотношение и количество при комплексном легировании.

Л и т е р а т у р а

1. Ушаков А.Д. "Литейное производство", № 10, 1960.
2. Смирнов А.И., Челпанов Б.В. "Литейное производство", № 5, 1961.
3. Лядский В.Б. "Литейное производство", 1959. № 8.
4. Кононова Т.А., Дядюшко В.П. В сб. "Повышение долговечности тракторных двигателей. "Машиностроение", 1962.
5. Налимов В.В., Чернова И.А. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов. "Наука", 1965.
6. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. "Наука". 1971.