

РЕГРЕССИОННЫЙ АНАЛИЗ И ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА НАПЛАВЛЕННОГО МЕТАЛЛА НА ОСНОВЕ Fe-Cr-Mn-C ПРИ РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ УДАРНО-АБРАЗИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

В настоящее время наиболее широко используемые для повышения ударно-абразивной износостойкости наплавочные материалы содержат в больших количествах дорогие и дефицитные легирующие элементы. В связи с этим весьма актуальной является проблема разработки экономнолегированных наплавочных материалов. Она должна решаться на основании системных исследований влияния химического, фазового состава и структуры на свойства наплавленного металла и, прежде всего на его сопротивление абразивному изнашиванию и ударам.

В данной работе ставилась цель разработать экономнолегированные наплавочные материалы на основе системы легирования Fe-Cr-Mn-C, износостойкие в различных условиях ударно-абразивного воздействия. Поскольку, оптимальное соотношение структурных составляющих меняется в зависимости от вида нагружения, то важно установить численные зависимости соотношения структурных составляющих в сплаве и его износостойкости, в широком диапазоне интенсивности ударно-абразивного нагружения.

Авторами [1] предложено для оценки интенсивности ударно-абразивного воздействия использовать, в качестве критерия, коэффициент динамичности, определяемый как отношение твердости образца из стали марки 110Г13Л, подвергнутого испытанию, к его твердости до испытания. В данной работе коэффициент динамичности при 5 различных схемах испытания на созданных лабораторных установках составлял: $K_d = 1,2; 1,4; 1,7; 2,0; 3,5$. Лабораторные испытания в этом диапазоне динамичности ударно-абразивного воздействия охватывают большинство из встречающихся в практике случаев.

Для получения наплавленного металла системы легирования Fe-Cr-Mn-C использовались порошковые ленты. Исследование влияния химического состава наплавленного металла на его структуру, твердость и ударно-абразивную износостойкость при различном коэффициенте динамичности проведены методом регрессионного анализа [2]. Содержание легирующих элементов в наплавленном металле варьировалось в пределах: C = 1-3 %, Mn = 2-6 %, Cr = 6-12 %. Для описания влияния легирующих элементов на износостойкость выбрана математическая модель второго порядка - симметричный ортогональный композиционный план 2^3 .

По полученным экспериментальным данным рассчитаны регрессионные зависимости для относительной износостойкости, твердости и количества остаточного аустенита в структуре. Относительная износостойкость обозначена, соответственно для каждой из 5-ти схем испытания - E1, E2, E3, E4, E5. Эталоном сравнения служила сталь 110Г13Л. Уравнения регрессии представляли в виде полинома второго порядка: $y = b_0 + \sum b_{1i} \cdot x_i + \sum b_{2ij} \cdot x_{ij} + \sum b_{3ii} \cdot x_i^2$.

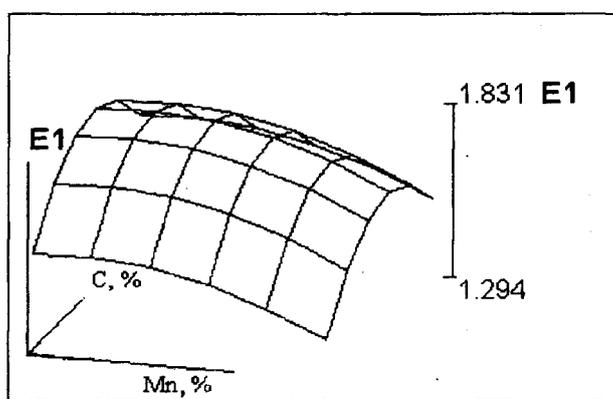
Значения коэффициентов в уравнениях регрессии приведены в табл. 1. Расчетным путем по полученным уравнениям регрессионных зависимостей построены графики, показывающие влияние содержания легирующих элементов в кодированном масштабе на твердость, относительную износостойкость, и количество остаточного аустенита.

С помощью программы "Mathcad 5+" были построены поверхности отклика, а также их проекции, дающие наглядное пространственное изображение регрессионных зависимостей. При этом можно рассматривать совместное влияние 2-х любых легирующих элементов при фиксированном значении третьего. На основании такого графического представления сделаны выводы о совместном влиянии легирующих элементов.

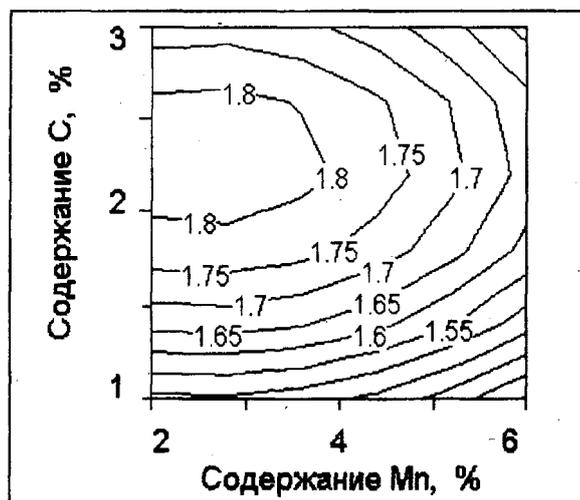
Таблица 1 - Значения коэффициентов в уравнениях регрессионных зависимостей

Параметр	b_0	b_1	b_2	b_3	b_{12}	b_{13}	b_{23}	b_{11}	b_{22}	b_{33}	$F_{расч}$
HRC	44,4	7,5	-3,3	-	1,2	1,7	-	-1,8	-1,8	1,5	3,1
A	52,5	-11,7	18,7	7,9	4,0	-	-	9,5	2,7	-7,5	2,4
E1	1,74	0,06	-0,10	0,04	-	0,06	-	-0,20	-0,07	-	2,9
E2	1,71	0,05	-0,08	0,04	-	0,05	-	-0,18	-0,07	-	2,3
E3	1,59	-	-0,06	0,04	0,05	0,05	-	-0,18	-0,07	-	2,6
E4	1,52	-0,08	-	0,05	0,07	0,05	-	-0,18	-0,05	-	2,5
E5	1,39	-0,36	0,05	0,08	0,06	0,06	-	-0,34	-0,07	-	3,2

На рис. 1а и 2а изображены поверхности отклика совместного влияния углерода и марганца (содержание хрома 12 %) на относительную ударно-абразивную износостойкость при коэффициентах динамичности $K_d = 1.2$ и $K_d = 3.5$; а на рис. 1б и 2б проекции этих поверхностей на плоскость.



а)



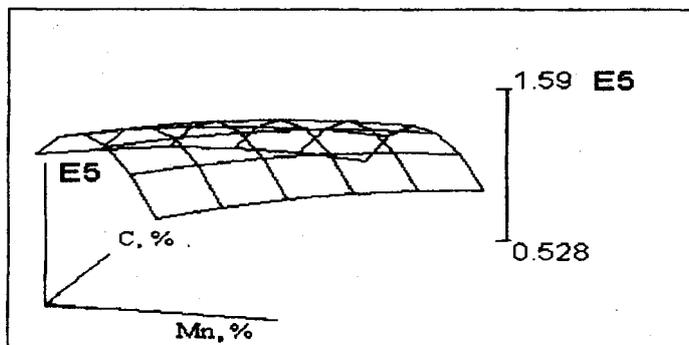
б)

Рис. 1. Совместное влияние углерода и марганца ($C_{г} = 12\%$) на относительную износостойкость наплавленного металла при испытании с коэффициентом динамичности $K_d=1,2$.

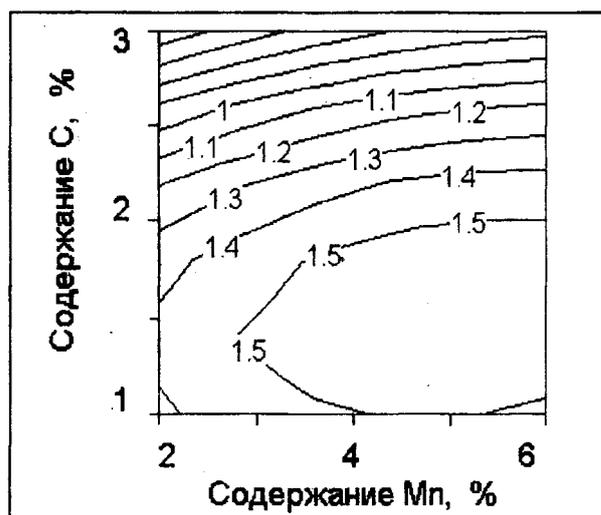
а - поверхность отклика относительной износостойкости;

б - проекция поверхности отклика, где уровни равной относительной износостойкости обозначены цифрами.

Оптимальные составы сплавов и величина их износостойкости для каждого вида испытания показаны в табл. 2. В ней так же приведены твердость и количество остаточного аустенита в структуре наплавленного металла.



а)



б)

Рис. 2. Совместное влияние углерода и марганца ($C_{г} = 12\%$) на относительную износостойкость наплавленного металла при испытании с коэффициентом динамичности $K_d = 3,5$.

а - поверхность отклика относительной износостойкости;

б - проекция поверхности отклика, где уровни равной относительной износостойкости обозначены цифрами.

Таблица 2 - Координаты составов с наибольшей относительной износостойкостью

Схема испыт.	Относит. износостойкость		Кэф. динам.	Элемент, %			HRC	Аост, %
	$E_{пл-АН-101}$	E_{max}		С	Мп	Сг		
1	1,8	1,83	1,2	2,2	2,4	12,0	49,0	37,4
2	1,7	1,78	1,4	2,2	2,8	12,0	48,8	40,6
3	1,6	1,65	1,7	2,0	3,2	12,0	46,9	46,3
4	1,5	1,58	2,0	1,8	3,6	12,0	44,6	52,5
5	1,4	1,59	3,5	1,6	5,2	12,0	39,0	70,8

Показано что, при ударно-абразивном воздействии с малым коэффициентом динамичности (Кд - 1,2; 1,4) следует при выбранном режиме наплавки иметь следующее содержание элементов в наплавленном металле: С = 2,2 %, Мп = 2,4-2,8 %, Сг = 12 %. Это обеспечивает преимущественно мартенситную структуру наплавленного металла. Содержание остаточного аустенита составляет ~ 37-40 %. Твердость 47 - 49 НRC. При увеличении коэффициента динамичности для обеспечения наибольшей износостойкости следует снижать содержание углерода, увеличивать количество марганца в наплавленном металле и, соответственно, повышать количество аустенита в структуре, снижая твердость. В случае Кд = 3,5 следует иметь: С = 1,6 %, Мп = 5,2 %, Сг = 12 %. Структура наплавленного металла в этом случае является преимущественно аустенитной (> 70 %), а твердость не превышает 39 НRC (табл. 2). Для каждого коэффициента динамичности определен оптимальный состав наплавленного металла, который по износостойкости не уступает таковой при наплавке более дорогим широко применяемым наплавочным материалом ПЛ-АН-101 (300Х28Н3С3). На основании проведенных исследований разработаны новые экономнолегированные наплавочные материалы, обеспечивающие получение оптимального химического состава для ударно-абразивного воздействия различной интенсивности.

Перечень ссылок

1. *Петров И.В.* Испытание износостойких наплавленных сплавов // Сварочное производство, - 1968. - №11 - С. 21-24.
2. *Новик Ф.С., Арсов Я.Б.* Оптимизация процессов технологии металлов методами планирования экспериментов. М.: Машиностроение, София: Техника, 1980, - 304 с.