

$$c = \frac{n_1}{n_1 + 1} \left(\frac{D_1}{\alpha_1} \right)^2; d = \frac{1}{n_2 + 1} \frac{C_{21} - C_0}{C_{np1} - C_{12}} \left(\frac{D_1}{\alpha_1} + \frac{\xi_{ср}}{n_1} \right).$$

По данной методике были рассчитаны значения коэффициентов D_1 и α_1 и критерия K в условиях насыщения технического титана ВТ1-0 при температуре 1000°C и времени насыщения 4 ч в смеси состава: 60% Si + 30% Cu + 7% Al_2O_3 + 3% AlF_3 .

Коэффициент диффузии кремния в фазе TiSi_2 $D_1 = 2,1 \cdot 10^{-13} \text{ м}^2/\text{с}$. Коэффициент массообмена среды с поверхностью фазы TiSi_2 $\alpha_1 = 1,99 \cdot 10^{-8} \text{ м/с}$. Принимая $X = 40 \cdot 10^{-6} \text{ м}$, получаем $K = 4$, что соответствует третьему частному случаю, следовательно, лимитирующими являются процессы диффузии в теле.

Л и т е р а т у р а

1. Попов А.А. Теоретические основы химико-термической обработки стали. - М.: ГНТИ литературы по черной и цветной металлургии, 1962. - 120 с.
2. Термическая обработка в машиностроении. Справочник / Под ред. Ю.М.Лахтина, А.Г.Рахштадта. - М.: Машиностроение, 1980. - 788 с.
3. Вейник А.И. Приближенный расчет процессов теплопроводности. - М.-Л.: Госэнергоиздат, 1959. - 184 с.

УДК 546.77.281

Л.С.Ляхович, докт.техн.наук,
Э.Д.Шербаков, канд.техн.наук,
В.Г.Борисов, ассистент (БПИ)

ОПТИМИЗАЦИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЖАРОСТОЙКИХ Cr—Al—Si ДИФфуЗИОННЫХ ПОКРЫТИЙ НА СТАЛЯХ 20X13 И 08X18N10T*

Получение диффузионных слоев максимальной жаростойкости для данных конкретных условий испытаний является экстремальной задачей, которую можно решать с помощью методов математического планирования экспериментов.

На рис. 1 приведены результаты испытаний на жаростойкость диффузионных слоев системы Cr—Al—Si на сталях 20X13 и 08X18N10T, представленные в виде диаграмм "Состав насыщающей смеси - уровень жаростойкости". Для однокомпонентного насыщения использовали порошковые смеси на основе ферро-

* В работе принимали участие С.С.Алисейко и С.В.Вишневская.

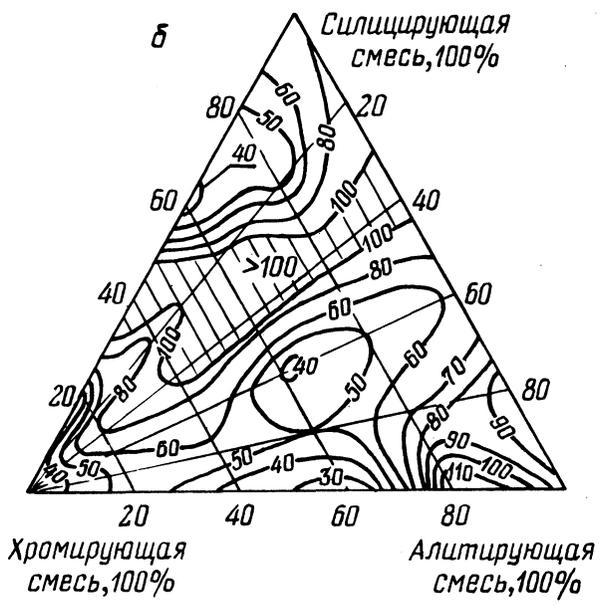
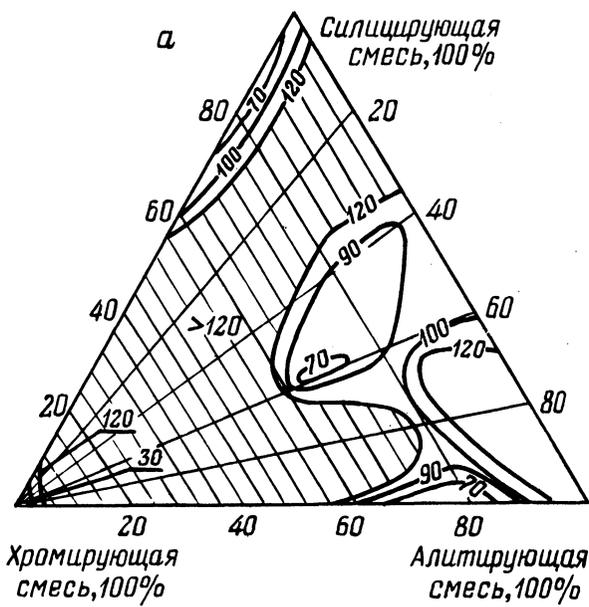


Рис. 1. Диаграммы "Состав насыщающей смеси – уровень жаростойкости" (удельное изменение массы $\Delta m/S$, $г/м^2$ за 20 циклов испытаний при $1000^{\circ}C$) на сталях 20X13 (а) и 08X18H10T (б).

хрома марки Х75, алюминия марки АПС-1, кремния Кр1 составов:

(50% Х75 + 50% Al_2O_3) + 1,5% NH_4Cl - для хромирования;

(20% АПС-1 + 80% Al_2O_3) + 1,5% NH_4Cl - для алитирования;

(10% Кр1 + 90% Al_2O_3) + 0,5% NH_4Cl - для силицирования.

Для двух- и трехкомпонентного насыщения использовали взятые в необходимых соотношениях смеси для однокомпонентного насыщения. Насыщение проводили в контейнерах с плавкими затворами при температуре $1100^{\circ}C$ в течение 5 ч.

Циклические испытания на жаростойкость проводили в воздушной атмосфере электропечи по схеме: нагрев до $1000^{\circ}C$ в течение 2-2,5 ч, выдержка при этой температуре 5 ч, охлаждение до $200-300^{\circ}C$ вместе с печью, затем - на воздухе.

Как видно из рис. 1, при совместном насыщении хромом, алюминием и кремнием максимальная жаростойкость получена после обработки в смеси состава: 40% хромирующей смеси + 36% алитирующей смеси + 24% силицирующей смеси, т. е. (20% Х75 + 7,2% Al + 2,4% Кр1 + 70,4% Al_2O_3) + 1,26% NH_4Cl . Этот состав выбран в качестве основного уровня для матриц планирования. Параметром оптимизации являлось увеличение массы образца, отнесенное к единице поверхности ($Y = \Delta m/S$, $г/м^2$) за 100 ч испытаний при $1000^{\circ}C$. В качестве факторов, влияющих на жаростойкость диффузионных слоев, принимались содержание компонентов насыщающих смесей, температура и время насыщения.

Интервал варьирования составов смесей был принят равным $\pm 10\%$ для хромирующей, алитирующей и силицирующей составляющих смеси по отношению к опыту основного уровня.

Округленные значения основных, верхних и нижних уровней, интервалов варьирования факторов даны в матрице планирования, представляющей дробную реплику 2^{6-3} с определяющим контрастом: $1 = X_1 \cdot X_3 \cdot X_6 = X_1 \cdot X_4 \cdot X_6 = X_2 \cdot X_3 \cdot X_6 = X_2 \cdot X_4 \cdot X_5 = X_1 \cdot X_2 \cdot X_3 \cdot X_4 = X_1 \cdot X_2 \cdot X_5 \cdot X_6 = X_3 \cdot X_4 \cdot X_5 \cdot X_6$ (табл. 1).

В матрице для каждого опыта приведена средняя жаростойкость, полученная по результатам испытаний трех образцов.

Для оценки дисперсии был продублирован 5 раз опыт в центре плана. Насыщение проводили по описанной методике.

Резко отличающиеся значения жаростойкости в параллельных опытах в центре плана были проверены по критерию Стьюдента на наличие грубых ошибок (брака).

Таблица 1. Матрица планирования и результаты эксперимента

Уровень	Температура, °С	Содержание компонентов в смеси, %				Время насыщения,	Увеличение массы, г/м ²	Толщина слоя, мкм		
		X75	АПС-1	Кр-1	NH ₄ Cl					
Основной уровень (X _i)	1100	20	7,5	2,5	1,5	5				
Интервалы варьирования (ΔX)	50	5	1	1	0,5	1	20X13 08X18H10T	20X13 08X18H10T		
Верхний уровень (X _i = +1)	1150	25	8,5	3,5	2,0	6				
Нижний уровень	1050	15	6,5	1,5	1,0	4				
Код	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆			y ₁	y ₂
Номера опыта										
1	-	-	-	-	-	-	54	32	270	165
2	+	-	+	-	-	+	410	46	750	655
3	+	-	-	+	+	-	63	57	600	110
4	-	+	+	-	+	-	50	35	340	210
5	-	+	-	+	-	+	38	39	410	305
6	+	+	+	+	-	-	49	43	520	320
7	+	+	-	-	+	+	483	40	660	585
8	-	-	+	+	+	+	51	41	510	370
Опыты в центре плана										
1	0	0	0	0	0	0	46	36	460	400
2	0	0	0	0	0	0	53	37	490	440
3	0	0	0	0	0	0	41	37	550	430
4	0	0	0	0	0	0	43	34	520	460
5	0	0	0	0	0	0	42	33	510	450

В результате статистической обработки экспериментальных данных по жаростойкости получены следующие математические модели уровня жаростойкости (уравнения регрессии):

$Y = 150 + 101X_1 + 5X_2 - 10X_3 - 99X_4 + 12X_5 + 96X_6$ для стали 20X13;

$Y = 41,6 + 4,9X_1 - 2,4X_4 + 3,4X_4 + 1,6X_5$ для стали 08X18H10T.

Проверка полученных математических моделей на адекватность по F-критерию при уровне значимости $\alpha = 0,05$ показала, что линейные модели неадекватны. Так как область оптимума в наших исследованиях близка, то принято решение окончить исследования. Условия лучших опытов 1 и 4 и основного уровня в матрице можно рекомендовать для получения диффузионных слоев высокой жаростойкости для стали 08X18H10T. Для стали 20X13 лучшие результаты, как видно из матрицы, находятся в центре плана.

Для производственных условий при приготовлении насыщающих смесей вместо хромирующей смеси, содержащей дефицитный и дорогой порошок X75, можно применять такое же количество хромирующей смеси, полученной методом алюмотермии.

По параметрам опыта основного уровня была проведена обработка горелок конвертора метана и сатуратора Вентури в условиях ПО "Азот", которые в настоящее время находятся на производственных испытаниях.

УДК 669.14.017.3 + 669.14:620.17

С.Э.Розенберг, канд.техн.наук
(МТЗ), В.В.Сурков, канд.техн.
наук (БПИ), В.В.Новик* (МТЗ)

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ВЫСОКОПРОЧНОЙ СТАЛИ 40X2АФЕ

Для исследования была использована плавка стали 40X2АФЕ состава (% по массе): С - 0,37; N - 0,03; Cr - 2,29; V - 0,12; Se - 0,06; Mn - 0,31; Si - 0,37; S - 0,03; P - 0,02. Определение критических точек, построение термокинетической и изотермической (С-образной) диаграмм распада переохлажденного аустенита проводилось на dilatометре ДКМ с вертикальным расположением образца и эталона. Дополнительно исследовалась микроструктура и определялась твердость образцов. Критические точки определялись дифференциальным методом с использованием пиросного эталона (скорость нагрева и охлаждения - 2°/мин - задавалась программным устройством РУ5-01). Сталь 40X2АФЕ обладает своеобразием значений критических точек. В то время как при нагреве гистерезис $A_{C_3} - A_{C_1}$ составляет 55°, при охлаждении $A_{C_3} - A_{C_1}$ - всего лишь 20°:

Сталь	A_{C_1}	A_{C_3}	A_{C_1}	A_{C_3}	M_H
40X2АФЕ	805	860	760	780	315
40X	743	782	693	730	325

Такая особенность - весьма ценное свойство, так как позволяет даже при значительном подстуживании с закалочных температур

* В работе принимал участие В.А.Воробьев.