

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

По данной методике были рассчитаны значения коэффициентов  $D_1$  и  $\alpha_1$  и критерия  $K$  в условиях насыщения технического титана ВТ1-0 при температуре  $1000^\circ\text{C}$  и времени насыщения 4 ч в смеси состава: 60% Si + 30% Cu + 7%  $\text{Al}_2\text{O}_3$  + 3%  $\text{AlF}_3$ .

Коэффициент диффузии кремния в фазе  $\text{TiSi}_2$   $D_1 = 2,1 \cdot 10^{-13} \text{ м}^2/\text{с}$ . Коэффициент массообмена среды с поверхностью фазы  $\text{TiSi}_2$   $\alpha_1 = 1,99 \cdot 10^{-8} \text{ м/с}$ . 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.

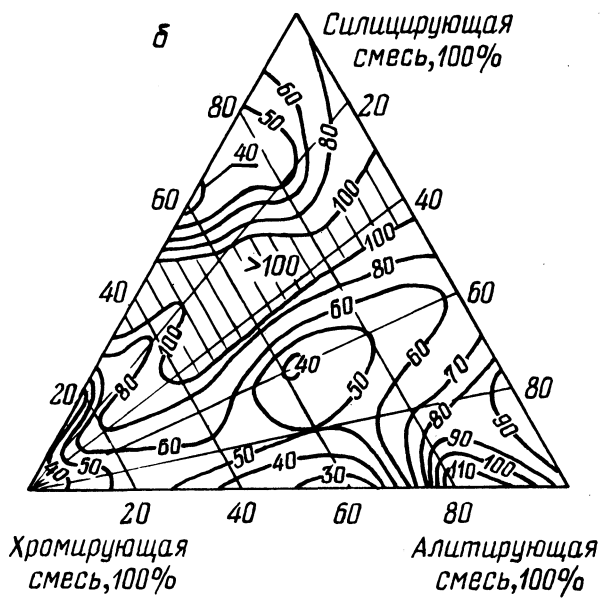
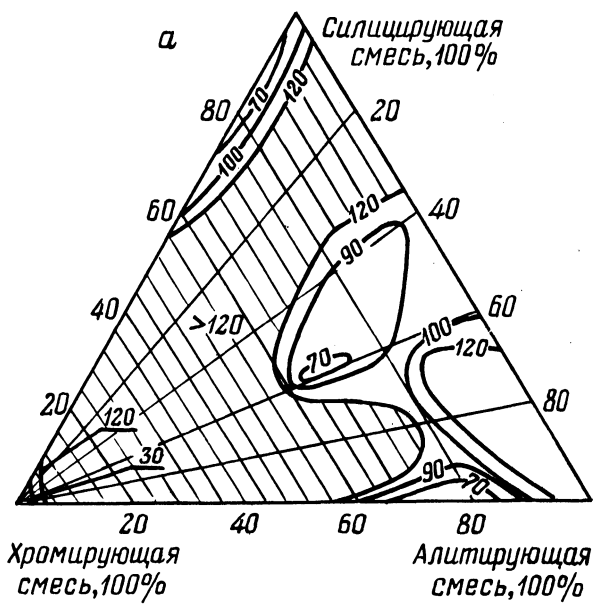


Рис. 1. Диаграммы "Состав насыщающей смеси – уровень жаростойкости" (удельное изменение массы  $\Delta m/S$ ,  $г/м^2$  за 20 циклов испытаний при  $1000^{\circ}C$ ) на сталях 20X13 (а) и 08X18H10T (б).

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 <sup>2</sup>	Толщина слоя, мкм		
		X75	АПС-1	Кр-1	NH <sub>4</sub> Cl					
Основной уровень (X <sub>i</sub> )	1100	20	7,5	2,5	1,5	5	20X13 08X18H10T	20X13 08X18H10T		
Интервалы варьирования (ΔX)	50	5	1	1	0,5	1				
Верхний уровень (X <sub>i</sub> = +1)	1150	25	8,5	3,5	2,0	6				
Нижний уровень	1050	15	6,5	1,5	1,0	4				
Код	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	у <sub>1</sub>	у <sub>2</sub>		
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 40X2AФЕ

Для исследования была использована плавка стали 40X2AФЕ 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 40X2AФЕ 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	$A_{C_1}$	$A_{C_3}$	$A_{C_1}$	$A_{C_3}$	$M_H$
40X2AФЕ	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.