

5. Моисеенко, В.П. Материалы и их поведение при сварке: учебное пособие / В.П. Моисеенко. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2009. – 300 с.

6. Румшинский, Л.З. Математическая обработка результатов экспериментов: справ. руководство / Л.З. Румшинский. – М.: Наука, 1971. – 192 с.

УДК 669.15+621.791.75

Е.С. ГОЛУБЦОВА, д-р техн. наук (БНТУ),
Н.Б. КАЛЕДИНА (БГТУ)

ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА КОНСТРУКЦИОННЫХ ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ ПРИ АРГОННО-ДУГОВОЙ СВАРКЕ. СООБЩЕНИЕ 2. ОПРЕДЕНИЕ ОБОБЩЕННОГО ПАРАМЕТРА ОПТИМИЗАЦИИ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ

Ввиду того, что температура отпуска по-разному влияет на исследуемые механические свойства, имеет смысл найти обобщенный параметр $D = \sqrt[6]{d_1 \cdot d_2 \cdot d_3 \cdot d_4 \cdot d_5 \cdot d_6}$, где $d_i = e^{-y'_i}$, а y'_i – кодированное значение i -го параметра [1]. Для этого составим таблицу частных функций желательности d_i и y'_i для рассматриваемых шести пар (таблица 1).

Таблица 1 – Частные функции желательности для HV, σ_T , σ_B , δ , φ и KCV

d_1	y'_i	$y_1 = HV$	$y_2 = \sigma_T$	$y_3 = \sigma_B$	$y_4 = \delta$	$y_5 = \varphi$	$y_6 = KCV$
1,00–0,80	3,00	600	1750	2000	15	60	130
0,80–0,63	1,50	525	1525	1750	12	50	100
0,63–0,37	0,15	450	1300	1500	9	40	70
0,37–0,20	0,00	375	1075	1250	6	30	40
0,20–0,00	–0,50	300	850	1000	3	20	10

Для нахождения y'_i построим график частных функций желательности d_i (рисунок 1). Пользуясь данными таблицы 1 и графиком на рисунке 1, найдем y'_i , d_i и D . Результаты расчетов приведены в таблице 2. Из таблицы видно, что оптимальной температурой отпуска является температура 200 °С, т.к. обобщенный параметр D , в этом случае равен 0,663 (хороший результат). Действительно, $HV = 500$, $\sigma_T = 1670$ МПа, $\sigma_B = 1983$ МПа, $\delta = 7,1$ %, $\phi = 35,7$ % и $KCV = 53$ Дж/см². Попытка выразить зависимость $y_i = D$ от температуры отпуска (x) линейным уравнением окончилась неудачей, т.к. линейная модель неадекватна. Поэтому эту зависимость описываем параболическим уравнением $y = ax^2 + bx + c$. Для этого воспользовались указанной методикой [2] для $N = 7$.

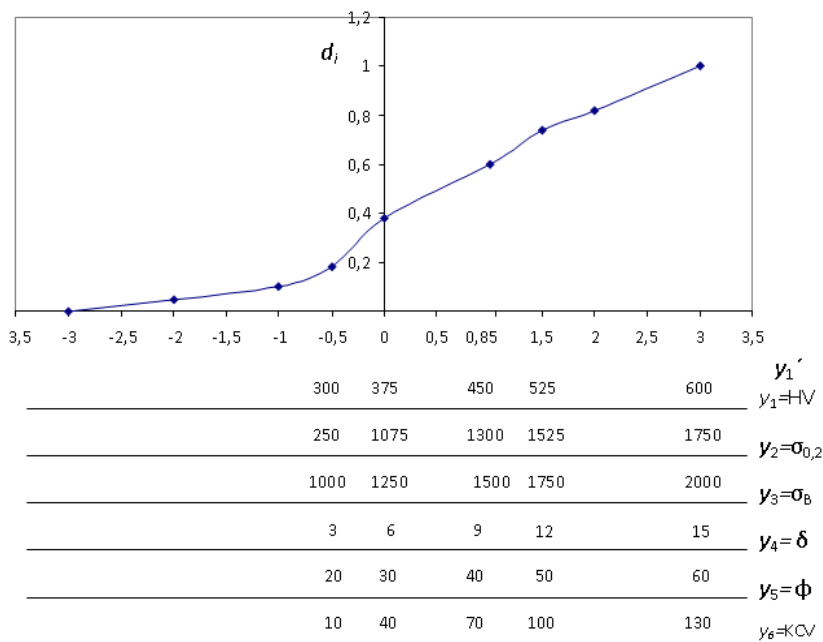


Рисунок 1 – График функции желательности

Таблица 2 – Натуральные и кодированные уровни параметров и d_i

N	y_1	y'_1	d_1	y_2	y'_2	d_2	y_3	y'_3	d_3
1	600	3,00	1,00	1700	2,667	0,933	2000	3,00	1,00
2	500	1,283	0,754	1670	2,467	0,919	1983	2,898	0,946
3	425	0,567	0,567	1280	0,774	0,631	1409	0,541	0,559
4	310	-0,433	0,214	870	-0,456	0,206	1010	-0,48	0,199

N	y_4	y'_4	d_4	y_5	y'_5	d_5	y_6	y'_6	d_6	D
1	4,1	-0,317	0,253	15	3,00	1,00	10	-0,5	0,20	0,602
2	7,1	0,312	0,481	35,7	0,485	0,54	53	0,368	0,501	0,663
3	9,3	0,915	0,670	39	0,765	0,628	85	1,175	0,734	0,629
4	13,5	2,25	0,900	56	2,40	0,913	130	3,00	1,00	0,440

N	d_1	d_2	d_3	d_4	d_5	d_6	$\prod d_i$	$D = \sqrt[6]{d_1 \cdot d_2 \dots d_6}$
1	1	0,943	1	0,253	1	0,2	0,0417	0,602
2	0,754	0,919	0,946	0,481	0,54	0,501	0,085301	0,663
3	0,567	0,631	0,559	0,67	0,628	0,734	0,618	0,629
4	0,214	0,206	0,199	0,9	0,913	1,00	0,00721	0,440

x	0	200	400	600
D	0,602	0,663	0,629	0,440

Для определения семи значений D построили график (рисунок 2), результаты сведены в таблицу 3.

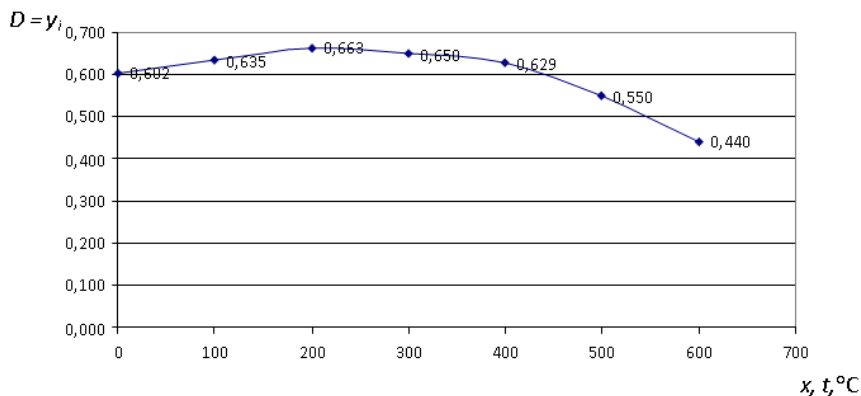


Рисунок 2 – Зависимость D от $t, ^\circ\text{C}$

Таблица 3 – Данные для расчета квадратичной функции по 7 точкам

k	$y = 0$	$l = k - 4$	$y \cdot l$	$y \cdot l^2$
1	0,602	-3	-1,806	5,418
2	0,635	-2	-1,270	2,540
3	0,663	-1	-0,663	0,663
4	0,650	0	0	0
5	0,629	+1	+0,629	0,629
6	0,550	+2	+1,100	2,200
7	0,440	+3	+1,320	3,960
Σ	4,169	-	-0,69	15,410

$$H_1 = N(N^2 - 1)/12; \quad H_2 = N(N^2 - 1)(N^2 - 4)/180.$$

$$\bar{y} = 4,169/7 = 0,596, \quad \bar{x} = \frac{1200}{4} = 300 ^\circ\text{C}.$$

Попробуем зависимость $y_7 = D$ от $t(^{\circ}\text{C})$ выразить в виде квадратичной функции $y = ax^2 + bx + c$. При равноотстоящих значениях

$x(t, \text{ } ^\circ\text{C})$, т.е. $x_{k+1} - x_k = h = \text{const}$ ($k = 1, 2, 3 \dots N-1$) квадратичную функцию следует записать в виде

$$y = a_1 \left(\frac{x - \bar{x}}{h} \right)^2 + b_1 \left(\frac{x - \bar{x}}{h} \right) + c_1 \quad (1)$$

При нечетном числе данных $N = 2M - 1$, т.е. при $N = 7$, $M = 4$

$$\left. \begin{aligned} a_1 &= \frac{1}{3H_2} \left[3 \sum_{k=1}^N y_k (k - M)^2 - \frac{N^2 - 1}{4} \sum_{k=1}^N y_k \right] \\ b_1 &= \frac{1}{H_1} \sum_{k=1}^N y_k (k - M); c_1 = \bar{y} - \frac{H_1}{N} a_1 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где $H_1 = N(N^2 - 1)/12$; $H_2 = N(N^2 - 1)(N^2 - 4)/180$. В нашем случае $H_1 = 28$; $3H_2 = 252$.

Для расчета квадратичной зависимости имеем

$$\sum_{k=1}^7 y_k = 4,169; \quad \sum_{k=1}^7 y_k (k - 4) = -0,69; \quad \sum_{k=1}^7 y_k (k - 4)^2 = 15,410.$$

Вычислив $(N^2 - 1)/4 = 12$, получаем

$$a_1 = \frac{1}{252} (3 \cdot 15,41 - 12 \cdot 4,169) = -\frac{3,798}{252} = -0,0151;$$

$$b_1 = \frac{1}{28} (-0,69) = -0,0246 \approx -0,025;$$

$$c_1 = \frac{1}{7} \cdot 4,169 - \frac{28}{7} (-0,0151) = 0,656.$$

Следовательно,

$$y_7 = D = 0,656 - 0,0151u^2 - 0,025u, \quad (3)$$

где $u = \frac{x - \bar{x}}{h}$; $\bar{x} = \frac{x_1 + x_7}{2} = x_4 = 300$.

Проверим адекватность уравнения (3) при $S_y = 0,03$; $S_y^2 = 0,0009$.

	Вычисления по уравнению (3)	Δy	Δy^2
1	$0,656 - 0,0151 \cdot 9 - 0,625(-3) = 0,595 - 0,602 =$	0,007	0,000049
2	$0,656 - 0,0151 \cdot 4 - 0,025(-2) = 0,646 - 0,635 =$	0,0106	0,0001123
3	$0,656 - 0,0151 \cdot 1 - 0,025(-1) = 0,666 - 0,663 =$	0,003	0,00009
4	$0,656 - 0,0151 \cdot 0 - 0,025 \cdot 0 = 0,656 - 0,650 =$	0,006	0,000036
5	$0,656 - 0,0151 \cdot 1 - 0,025 \cdot 1 = 0,616 - 0,629 =$	0,013	0,000169
6	$0,656 - 0,0151 \cdot 4 - 0,025 \cdot 2 = 0,546 - 0,550 =$	0,004	0,000016
7	$0,656 - 0,0151 \cdot 9 - 0,025 \cdot 3 = 0,445 - 0,440 =$	0,005	0,000025
		Σ	0,0004163

$$S_{\text{аа}}^2 = \frac{0,0004163}{7-3} = 0,000104; \quad F_p = \frac{0,000104}{0,0009} < 1, \text{ т.е. уравнение}$$

(3) адекватно.

С помощью обобщенного параметра оптимизации найдено, что оптимальной температурой отпуска является 200 °С, т.к. обобщенный параметр D в этом случае равен 0,663 (хороший результат). По результатам построен график зависимости вычисленной квадратичной функции $y_7 = D$ от температуры отпуска, позволяющий оптимизировать механические свойства сварного соединения стали 42Х2ГСНМА для проведения термической обработки.

Литература

1. **Голубцова, Е.С.** Основы научных исследований в порошковой металлургии и сварке: учебное пособие / Е.С. Голубцова, Б.А. Каледин, Н.Б. Каледина. – Минск: БНТУ, 2008. – 240 с.
2. **Румшинский, Л.З.** Математическая обработка результатов экспериментов: справ. руководство / Л.З. Румшинский. – М.: Наука, 1971. – 192 с.