

**Использование обобщенного (комплексного) показателя  $D$  для оптимизации свойств сварного шва, при сварке стали 32Х2Г2СНВМ**

Студент гр. 104816 Галаев К.О.

Научный руководитель – Голубцова Е.С.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Целью настоящей работы является исследование влияния присадок Si, Ni, Co на свойства сварных швов. С помощью двухфакторного плана второго порядка  $3 \times 3$ , где 3 – три вида присадки (Si, Ni, Co) и три уровня содержания этих присадок (0,5; 1,0 и 1,5%), а так же обобщенного (комплексного) параметра оптимизации  $D$ .

В результате этих исследований были получены показатели четырёх свойств ( $V_{кр}$ , мм/мин – стойкость против образования горячих трещин;  $\sigma_b$ , МПа – предел прочности шва; КСВ, Дж/м<sup>2</sup> – ударная вязкость с U-образным вырезом и КСВ, Дж/м<sup>2</sup> – ударная вязкость V-образным вырезом).

В таблице 1 приведены условия проведения опытов, и результаты испытаний.

Таблица 1 – Матрица плана  $3 \times 3$  и результаты эксперимента

N	$X_1$	$X_2$	$X_1 \cdot X_2$	$X_1^2$	$X_2^2$	$Y_1 = V_{кр}$	$Y_2 = \sigma_b$	$Y_3 = КСВ$	$Y_4 = КСВ$	$D$
1	–	–	+	+	+	3,68	1873	680	320	0,686
2	–	0	0	+	0	3,00	1880	480	315	0,496
3	–	+	–	+	+	2,5	1870	280	240	0,220
4	0	–	0	0	+	3,92	1710	800	400	0,594
5	0	0	0	0	0	3,70	1800	720	400	0,714
6	0	+	0	0	+	3,46	1872	674	340	0,529
7	+	–	–	+	+	3,27	1886	600	286	0,531
8	+	0	0	+	0	4,00	1880	590	286	0,643
9	+	+	+	+	+	5,00	1875	540	257	0,614

В этой таблице  $X_1$  и  $X_2$  – кодированные уровни факторов (виды присадок и уровни содержания этих присадок соответственно);  $D$  – обобщенный показатель, который был определен позже, после получения данных о  $V_{кр}$ ,  $\sigma_b$ , КСВ, КСВ; N – число опытов.

Ввиду некоторой противоречивости полученных данных (например, в опыте № 9 при  $X_1 = +1$ (Co) и  $X_2 = +1$ (1,5%) высокое значение  $V_{кр} = 5$ ,  $\sigma_b = 1875$ , но сравнительно низкие значения КСВ и КСВ, по сравнению с другими присадками, или в опыте № 3 при  $X_1 = -1$ (Si) и  $X_2 = +1$ (1,5%) получили числовое несоответствие), было принято решение рассчитать обобщенный (комплексный) параметр оптимизации  $D$ , используя формулу:

$$D = \sqrt[n]{d_1 \cdot d_2 \cdot \dots \cdot d_n}, \quad (1)$$

где  $d_1, d_2, \dots, d_n$  – частные функции желательности для  $i$ -го показателя ( $i=1, 2, \dots, n$ ), определяемых, в свою очередь, по формуле:

$$d_i = e^{-e^{-\hat{y}_i}} = \exp[-\exp(-\hat{y}_i)], \quad (2)$$

где  $\hat{y}_i$  – кодированное значение  $i$ -го показателя,  $e$  – основание натурального логарифма.

Результаты этих расчетов приведены в таблице 2.

Из таблиц 1 и 2 видно, что наибольшее значение  $D = 0,714$  получено в опыте № 5, т.е. при  $X_1 = 0$ (Ni)  $X_2 = 0$ (1,0%). Действительно, в этом случае  $Y_1 = V_{кр} = 3,7$  мм/мин,  $Y_2 = \sigma_b = 1800$  МПа,  $Y_3 = КСВ = 720$  Дж/м<sup>2</sup>,  $Y_4 = КСВ = 400$  Дж/м<sup>2</sup> (хороший результат).

В опыте № 1  $D = 0,686$  (также хороший результат)  $X_1 = -1$ (Si)  $X_2 = -1$ (0,5%).  $Y_1 = V_{кр} = 3,68$  мм/мин,  $Y_2 = \sigma_b = 1873$  МПа,  $Y_3 = КСВ = 680$  Дж/м<sup>2</sup>,  $Y_4 = КСВ = 320$  Дж/м<sup>2</sup>.

В опыте № 8  $D = 0,643$   $X_1 = +1$ (Co)  $X_2 = 0$ (1,0%).  $Y_1 = V_{кр} = 4$  мм/мин,  $Y_2 = \sigma_b = 1880$  МПа,  $Y_3 = КСВ = 590$  Дж/м<sup>2</sup>,  $Y_4 = КСВ = 280$  Дж/м<sup>2</sup>.

Пользуясь табл. 1. можно найти уравнение регрессии для D:

$$\hat{Y}_D = D = 0,672 + 0,064 X_1 - 0,075 X_2 + 0,137 X_1 X_2 - 0,081 X_1^2 - 0,089 X_2^2 \quad (3)$$

Таблица 2 – Значения  $Y_i, \hat{y}_i, d_i, D_n$

N	$Y_1$	$\hat{y}_1$	$d_1$	$Y_2$	$\hat{y}_2$	$d_2$	$Y_3$	$\hat{y}_3$	$d_3$	$Y_4$	$\hat{y}_4$	$d_4$	$D$
1	3,68	0,306	0,479	1873	2,19	0,894	680	1,615	0,820	320	0,850	0,630	0,686
2	3,00	-0,50	0,200	1880	2,40	0,913	480	0,458	0,531	315	0,744	0,622	0,496
3	2,50	-1,00	0,066	1870	2,10	0,885	280	-0,50	0,200	240	-0,50	0,200	0,220
4	3,92	0,714	0,613	1710	-0,4	0,225	800	3,00	0,951	400	3,00	0,951	0,594
5	3,70	0,34	0,491	1800	0,85	0,630	720	2,077	0,882	400	3,00	0,951	0,714
6	3,46	-0,04	0,353	1872	2,16	0,891	674	1,546	0,808	340	1,175	0,309	0,529
7	3,27	-0,23	0,284	1886	2,58	0,927	600	1,15	0,729	286	0,128	0,415	0,531
8	4,00	0,85	0,630	1880	2,40	0,913	590	1,10	0,717	286	0,128	0,415	0,643
9	5,00	3,00	0,951	1875	2,25	0,900	540	0,85	0,630	257	-0,288	0,264	0,614

Максимальное расчётное значение  $\hat{Y}_D = 0,672$  будет при  $X_1=0$  и  $X_2=0$ , т.е. по условиям опыта № 5. Подставляя в уравнение (3) кодированные уровни  $X_1$ , получим уравнения для каждой присадки:

где  $Y_D=0,653$ .

$$\text{при } X_1 = -1(\text{Si}) Y_D = 0,527 - 0,6212 X_2 - 0,089 X_2^2, \quad (4)$$

где  $Y_D=0,688$ .

$$\text{при } X_1 = 0(\text{Ni}) Y_D = 0,6672 - 0,6075 X_2 - 0,6089 X_2^2, \quad (5)$$

где  $Y_D = 0,666$ .

$$\text{при } X_1 = +1(\text{Co}) Y_D = 0,655 + 0,062 X_2 - 0,6089 X_2^2, \quad (6)$$

Таким образом, присадки Ni (0,79%) обеспечивают более высокий уровень комплексных свойств шва по сравнению с Si и Co.