

УДК: 669.14:669.788:621.791

Э.В.Приходько, В.Ф.Мороз, О.В.Кукса, Н.Е.Ходотова

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА НА РАСТВОРИМОСТЬ ВОДОРОДА И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТАЛЕЙ И СВАРНЫХ ШВОВ

Исследована растворимость водорода в сварных швах и его влияние на их механические свойства с использованием физико-химической модели металлических расплавов с ОЦК-подобной структурой. Установлена связь интегральных параметров с растворимостью водорода и свойствами сварных швов в виде полу-эмпирических моделей.

Постановка задачи. Хрупкое разрушение сталей и сварных соединений связано с охрупчивающим действием растворенных в металле и сварных швах примесей и прежде всего водорода [1]. С использованием физико-химической модели металлических расплавов с ОЦК-подобной структурой [2] изучено влияние состава сталей и сварных швов на растворимость водорода и механические свойства металла и сварных швов.

Интегральные параметры межатомного взаимодействия d , Z^Y и $\text{tg}\alpha$ этой модели по сути являются сверткой состава, при этом d – есть среднее межатомное расстояние; Z^Y – средний заряд является химическим эквивалентом состава и $\text{tg}\alpha$ – характеризует индивидуальность взаимодействующих атомов. Расчет параметров реализован на ПЭВМ в виде программы «Металл».

Мерой водородного охрупчивания сталей является отношение R_{mce}^H / R_{mce} [1], где R_{mce} – отражает уровень прочности в широком интервале температур с учетом пластической деформации, которая предшествует разрушению при этих температурах; R_{mce}^H – тоже для наводороженных образцов сталей различного состава.

Изложение основных материалов исследования. Анализ данных по изменению R_{mce}^H / R_{mce} для сталей Ст.3, 09Г2С, Ст.45 и У-8, отличающихся различным содержанием углерода и легирующих элементов, позволил установить их связь с интегральными параметрами межатомного взаимодействия с этих сталях (табл.1) и температурой испытаний (в интервале 82–280 К) в виде уравнения:

$$R_{mce}^H / R_{mce} = 246,14 - 0,002T - 1986d - 8,97Z^Y - 2025.31\text{tg}\alpha \quad (r=0,79) \quad (1)$$

Таблица 1. Параметры межзатомного взаимодействия в сталях и значения их водородного охрупчивания при комнатной температуре

Марка стали	T, K	$d \cdot 10^{-1}, \text{нм}$	Z^Y, e	$\text{tg}\alpha$	R_{mce}^H / R_{mce}	$R_{mce}^H / R_{mce \text{ расч.}}$
Ст.3	279	2,7945	1,1857	0,0883	0,601	0,608
09Г2С	280	2,7468	1,2137	0,0887	0,446	0,492
Ст.45	238	2,7907	1,2293	0,0882	0,549	0,576
У-8	278	2,6949	1,2239	0,0891	0,957	0,627

Сравнение экспериментальных и рассчитанных по уравнению (1) значений приведено на рис.1.

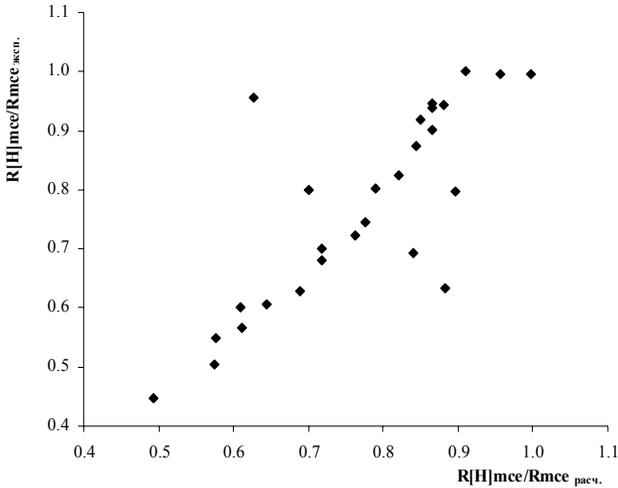


Рис.1. Сопоставительное сравнение экспериментальных и рассчитанных по уравнению (1) значений R_{mce}^H / R_{mce} для сталей Ст.3, 09Г2С, Ст.45 и У-8 в интервале температур 80–280 К

Анализ параметров межзатомного взаимодействия в сварных швах, состав которых приведен в табл.2, позволил установить их влияние на (табл.3) содержание в швах диффузионного водорода и механические свойства металла швов в виде уравнений:

$$[H]_{\text{диф.}} = 917,34 - 283,17d - 25,11Z^Y - 962,76\text{tg}\alpha \quad (r=0,65) \quad (2)$$

$$\sigma_{0,2} = -15258,8 - 1790,54d + 5920,33Z^Y + 154881,5\text{tg}\alpha \quad (r=0,91) \quad (3)$$

$$\delta = -835,074 - 206,40d - 251,38Z^Y + 19784,11\text{tg}\alpha \quad (r=0,89) \quad (4)$$

Таблица 2. Химический состав металла сварных швов

Содержание компонентов, %							
C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	V	Cu
0,078	0,45	1,20	0,35	0,35	0,11	0,010	0,30
0,071	0,31	1,40	0,34	1,60	0,34	0,010	0,31
0,070	0,18	1,30	0,82	1,75	0,32	0,015	0,30
0,078	0,25	1,30	0,50	1,85	0,46	0,045	0,33
0,082	0,22	0,85	0,75	2,65	0,45	0,020	0,56
0,082	0,30	0,87	0,37	0,28	0,28	0,010	0,22
0,065	0,22	0,82	0,60	2,40	0,45	0,040	0,20
0,078	0,29	0,95	0,65	2,10	0,49	0,030	0,21
0,076	0,17	0,82	0,75	2,20	0,55	0,010	0,20
0,066	0,28	1,05	0,70	2,20	0,50	0,010	0,20
0,070	0,34	1,30	0,80	2,20	0,55	0,060	0,45

Таблица 3. Интегральные параметры межзатомного взаимодействия, экспериментальные и расчетные значения $[H]$, $\sigma_{0,2}$ и δ . [1]

$d \cdot 10^{-1}$, нм	Z^y , e	$\text{tg}\alpha$	$[H]_{\text{диф.}}$, см ³ /100г	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	$[H]_{\text{расч.}}$, см ³ /100г	$\sigma_{0,2\text{расч.}}$, МПа	$\delta_{\text{расч.}}$, %
2,8036	1,2138	0,0881	9	500	25	8,16	552	24,1
2,8104	1,2376	0,0883	9	620	20	5,45	712	20,7
2,8142	1,2468	0,0882	4	650	16	4,24	744	15,6
2,8113	1,2461	0,883	3	820	19	4,98	761	18,4
2,8107	1,2576	0,0885	3	850	20	4,67	861	19,6
2,8070	1,2020	0,0880	6	520	24	7,59	461	24,4
2,8132	1,2427	0,0883	5	730	22	4,52	737	18,8
2,8094	1,2468	0,0883	5	800	17	5,50	768	18,6
2,8130	1,2440	0,0883	5	800	15	4,55	745	18,6
2,8118	1,2506	0,0883	5	830	18	4,72	787	17,1
2,8106	1,2679	0,0883	5	900	13	4,63	891	13,0

Относительная трещиностойкость сварных швов ($\sigma_{кр}/\sigma_{0,2}$), выполненных ручной и механизированной сваркой в различных атмосферах, в зависимости от интегральных параметров описывается уравнением:

$$\sigma_{кр.}/\sigma_{0,2} = 87,85 - 15,85d - 13,38Z^y - 290,38\text{tg}\alpha - 0,08[H]_{\text{диф.}} \quad (r=0,66) \quad (5)$$

Соотношение экспериментальных и рассчитанных значений $\sigma_{кр.}/\sigma_{0,2}$ по уравнению (5) приведены на рис.2.

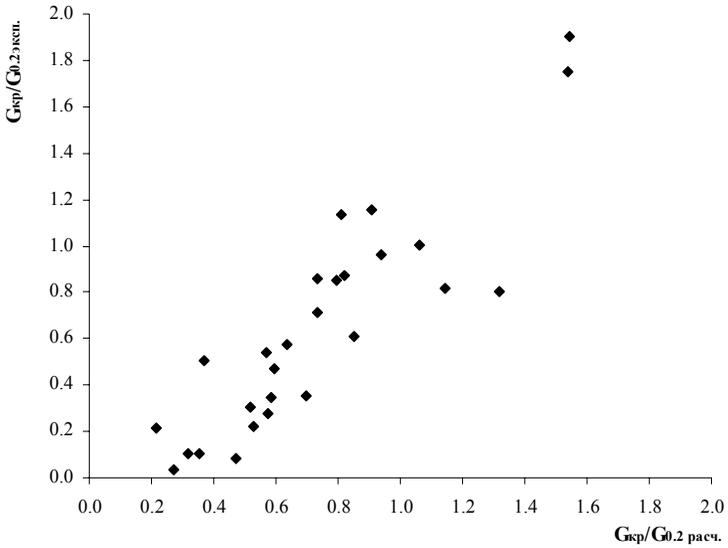


Рис.2. Сопоставительное сравнение экспериментальных и рассчитанных по уравнению (5) значений $\sigma_{кр}/\sigma_{0,2}$ сварных швов

Таким образом, использование интегральных параметров физико-химической модели металлических расплавов и полученных полуэмпирических уравнений полезно для прогнозных оценок изменения свойств сталей и сварных швов в зависимости от их состава и наличия в них водорода.

1. *Походня И.К.* Проблемы сварки высокопрочных легированных сталей // В кн. Сучасне матеріалознавство ХХІ сторіччя. – К.: Наукова думка, 1998. –С.61–69.
2. *Приходько Э.В.* Металлохимия многокомпонентных систем – М.: Металлургия. –1995. –320 с.

Статья рекомендована к печати докт.техн.наук, проф. Д.Н.Тогобицкой