

В.Ф.Мороз, Э.В.Приходько, О.В.Кукса

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ МЕЖАТОМНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НА ФЛОКЕНОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ СТАЛЕЙ И СПЛАВОВ

Целью настоящей работы явилось изучение влияния параметров межатомного взаимодействия на флокеночувствительность сталей с использованием физико–химической модели металлических расплавов с ОЦК–подобной структурой. Изучена связь флокеночувствительности сталей различного состава с интегральными параметрами межатомного взаимодействия. Установлено, что стали с химическим эквивалентом составов $Z^Y < 1,3$ е склонны, а с $Z^Y > 1,5$ е не склонны к образованию флокенов.

металлические расплавы, физико–химическая модель, параметры межатомного взаимодействия, флокеночувствительность

Введение. Обычно выделяют два вида воздействия водорода на металлы: физическое и физико–химическое [1]. Первое осуществляется при отрицательных и невысоких положительных температурах, когда не происходит видимых химических реакций.

Физико–химическое воздействие осуществляется в условиях, когда происходит химическое взаимодействие водорода с различными фазами и компонентами сплавов как на поверхности, так и в их объёме.

Анализ приведенных в научно–технической литературе данных однозначно свидетельствует о том, что присутствие водорода в различных металлах и сплавах приводит к увеличению их хрупкости. Поэтому присутствие в решетке металлов или вне её других элементов, так же как и наличие дефектов и несовершенств в кристаллах, может усилить или ослабить влияние водорода, но не может быть основной причиной этого влияния [2], т.е. особенности межатомного взаимодействия водорода с атомами матрицы, карбидными, карбонитридными и другими видами включений, дефектами кристаллической решетки и микроструктуры в большей степени влияют на физико–механические свойства металлов и сплавов и определяют их склонность к водородному охрупчиванию (ВО), по сравнению с другими факторами.

Постановка задача. Большое влияние на прочностные свойства сталей и их поведение в процессе охлаждения и дальнейшей эксплуатации оказывают флокены, представляющие собой внутренние трещины в металле. Они образуются при температурах ниже 150–300⁰С, чаще всего при комнатной температуре.

Целью настоящей работы явилось изучение влияния параметров межатомного взаимодействия на флокеночувствительность сталей с использованием физико–химической модели металлических расплавов с ОЦК–подобной структурой [3].

Изложение основных материалов исследования. Обычно флокеночувствительность пытаются объяснить структурными изменениями в сталях. Так в [4], флокеночувствительность сталей (табл.1) связывается с температурным гистерезисом $(A_{c_3} - A_{r_3})$, °C при этом флокеночувствительность повышается с ростом гистерезиса. Однако, численной оценки такой связи не приводится, т.е. только качественная оценка. Изучение межатомного взаимодействия в этих сталях показало наличие тесной связи величины температурного гистерезиса $A_{c_3} - A_{r_3}$ с интегральными параметрами межатомного взаимодействия (d , Z^Y и $\text{tg}\alpha$) при использовании для их определения физико-химической модели металлических расплавов [3] в виде уравнения:

$$A_{c_3} - A_{r_3} = -5394,7 + 62,29d + 1027,29Z^Y + 27973,1 r=0,974 \quad (1)$$

Таблица 1. Химический состав, температурный гистерезис и интегральные параметры сталей

Сталь	C	Si	Mn	Ni	Cr	V	$d \cdot 10^{-1}$, нм	Z^Y , е	$\text{tg}\alpha$	$A_{c_3} - A_{r_3}$ эксп.	$A_{c_3} - A_{r_3}$ расч.
1	0,15	0,27	0,85	0	0	0	2,7951	1,179	0,0882	18	21
2	0,67	0,27	1,05	0	0	0	2,7153	1,219	0,0889	29	33
3	0,45	0,27	0,75	0	0,95	0,15	2,7494	1,231	0,0883	43	49
4	1,05	0,27	0,35	0	1,35	0	2,6651	1,268	0,0891	57	57
5	0,45	0,27	1,75	0	0	0	2,7503	1,221	0,0885	61	45
6	0,58	2,00	0,75	0	0	0	2,6879	1,272	0,0888	67	68
7	0,40	0,27	0,75	3,5	0	0	2,7577	1,251	0,0892	100	10
8	0,35	0,27	0,45	3	0,78	0	2,7649	1,256	0,0889	100	102

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

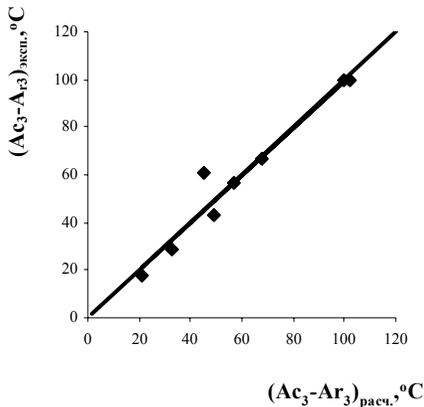


Рис. 1. Соотношение рассчитанных по уравнению (1) и экспериментальных значений температурного гистерезиса сталей

В работе [5] сопоставлена флокеночувствительность конструкционных и инструментальных сталей с температурой мартенситного превращения. В табл.2 стали расположены в порядке

возрастания степени флокеночувствительности. Температура мартенситного превращения связана с интегральными параметрами межатомного взаимодействия соотношением:

$$T_M = 4455,87 + 1210,37d - 1101,54Z^Y - 68874,1\text{tg}\alpha \quad r=0,87 \quad (2)$$

Соотношение рассчитанных по уравнению (2) и экспериментальных значений T_M приведено на рис. 2.

В монографиях [4–6], обзорной статье [7] приведена классификация сталей по степени их флокеночувствительности и даны предельно допустимые температуры применения сталей в водородсодержащих средах.

Таблица 2. Интегральные параметры межатомного взаимодействия и температуры мартенситного превращения сталей

Сталь	$d \cdot 10^{-1}$, мм	Z^Y , е	$\text{tg}\alpha$	$T_{\text{м.пр.экс}}$, $^{\circ}\text{C}$	$T_{\text{м.пр.расч}}$, $^{\circ}\text{C}$
12Х2Н	2,7981	1,2455	0,0881	440	403
40ХН	2,7563	1,2292	0,0886	340	336
12ХН3М	2,8028	1,2409	0,0886	355	379
30ХГСА	2,7537	1,2577	0,0882	320	329
30Х2Н2М	2,7748	1,2681	0,0884	350	329
35ХН2М	2,7631	1,2637	0,0888	320	292
35Х2НМ	2,7679	1,2597	0,0883	295	337
34ХН3МФ	2,7733	1,2891	0,0886	290	290
35ХН3МФ	2,7702	1,2982	0,0886	290	277
25ХН3МФ	2,7869	1,2810	0,0885	330	323
35Х2Н3М	2,7752	1,2837	0,0887	270	292
35Х2Н2М	2,7723	1,2846	0,0883	305	315
18Х2Н4ВА	2,7970	1,2803	0,0887	310	322
35ХН4М	2,7695	1,2916	0,0889	210	262

Анализ интегральных параметров межатомного взаимодействия в этих сталях (выборка 307 сталей) показал, что имеется расслоение данных на графике $Z^Y=f(d)$ на две области со значениями $Z^Y < 1,3$ и $Z^Y > 1,5$, которые соответствуют флокеночувствительным и нефлокеночувствительным сталям (рис. 3) соответственно.

Предельно допустимые температуры применения сталей в водородсодержащих средах связаны с параметрами межатомного взаимодействия и давлением водорода следующим соотношением:

$$T_{\text{рек.}} = 17487,98 - 549,99d + 153,69Z^Y - 176282\text{tg}\alpha - 2,18\text{PН}_2 \quad r=0,9 \quad (3)$$

где T – рекомендуемая температура для эксплуатации стали в водородной среде, К, PН_2 – давление водорода, МПа. Сравнение рассчитанных и рекомендуемых допустимых значений $T_{\text{рек.}}$ приведено на рис. 4.

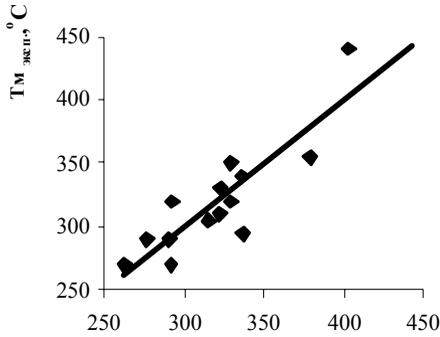


Рис. 2. Сравнение экспериментальных и расчетных по уравнению (2) значений T_M

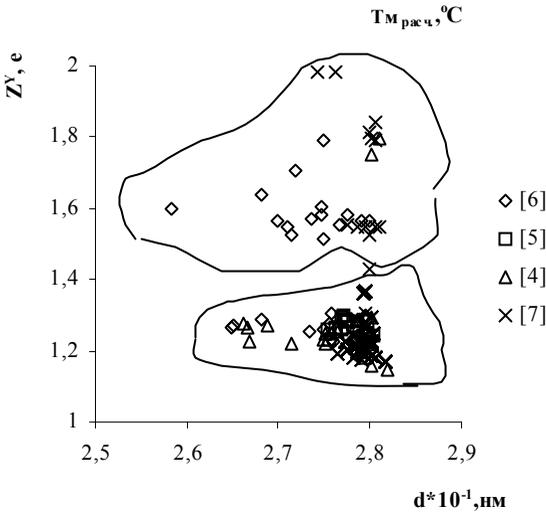


Рис. 3. Области расщепления сталей по их флокуночувствительности.

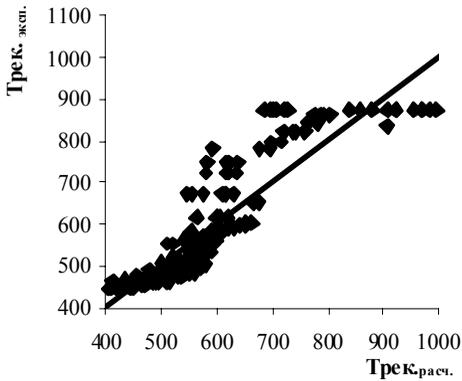


Рис. 4. Сравнение рассчитанных по уравнению (3) и рекомендуемых предельно допустимых значений температуры применения сталей в водородсодержащей среде

Выводы. Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о том, что интегральные параметры физико–химической модели металлических расплавов [3], являющиеся сверткой состава, дают возможность оценить их связь с флокеночувствительностью сталей.

1. *Арчаков Ю.И., Гребешкова И.Д.* О природе водородного охрупчивания стали // *Металловедение и термическая обработка стали.* –1985. – №8. – С.2–6.
2. *Галактинова Н.А.* Водород в металлах. – М.: *Металлургия*, 1967. –303 с.
3. *Приходько Э.В.* *Металлохимия многокомпонентных систем.* – М.: *Металлургия*, 1995. –320 с.
4. *Меськин В.С.* *Основы легирования стали.* – М.: *Металлургия*, 1964. – 684 с.
5. *Касаткин Г.Н.* Водород в конструкционных сталях. М.: *Интернет–Инжиниринг*, 2003. – 336 с.
6. *Дубовой В.Я.* Флокены в стали. –М.: *ГНТИЦЦМ*, 1950. – 332 с.
7. *Арчаков Ю.И.* *Современные проблемы надежности эксплуатации оборудования гидрогенизационных производств / /Физико–химическая механика материалов.* –2007. – №5. – С.85–90.

*Статья рекомендована к печати:
ответственный редактор
раздела «Металловедение и материаловедение»
докт.техн.наук, проф. Г.В.Левченко
рецензент докт.техн.наук, проф. Д.Н.Тогобицкая*

В.Ф.Мороз, Е.В.Приходько, О.В.Кукса

Вплив параметрів міжатомної взаємодії на флокеночутливість сталей та сплавів

Метою роботи є вивчення впливу параметрів міжатомної взаємодії на флокеночутливість сталей з використанням фізико–хімічної моделі металевих розплавів з ВЦК–подібною структурою. Вивчено зв'язок флокеночутливості сталей різного складу з інтегральними параметрами міжатомної взаємодії. Встановлено, що сталі з хімічним еквівалентом складів $Z^Y < 1,3$ є схильні, а з $Z^Y > 1,5$ є не схильні до утворення флокенів.