

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ВОДОРОДА НА МЕХАНИЧЕСКИЕ
СВОЙСТВА НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ ПРИ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОМ НАСЫЩЕНИИ**

Ю.В. Ли¹, А.В. Бочкарёва^{2,3}, А.Г. Лунёв^{2,3}

Научный руководитель: д.ф.-м.н. Баранникова С.А.^{1,2}

¹Томский государственный университет

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 36, 634050

²Институт физики прочности и материаловедения СО РАН

Россия, г.Томск, пр. Академический, 2/4, 634055

³Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: jul2207@mail.ru

**STUDY OF HYDROGEN CONCENTRATION EFFECT ON MECHANICAL PROPERTIES OF
ELECTRICALLY SATURATED STAINLESS STEEL**

Yu.V. Li¹, A.V. Bochkareva^{2,3}, A.G. Lunev^{2,3}

Scientific Supervisor: Dr. S.A. Barannikova^{1,2}

¹Tomsk State University, Russia, Tomsk, Lenin str., 36, 634050

²Institute of Strength Physics and Materials Science, SB RAS, Russia, Tomsk, Akademicheskii pr., 2/4, 634055

³Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: jul2207@mail.ru

Abstract. *The effect of hydrogen on the mechanical properties of high chromium stainless steel was investigated. The experimental studies were performed for the test samples of stainless steel subjected to electrolytic hydrogenation in a three electrode electrochemical cell at a controlled constant cathode potential during 6, 12 and 24 hours. For each specimen a stress-strain curve was obtained and mechanical properties such as yield stress, tensile strength and rupture elongation were determined. It was found that the mechanical properties are effected adversely by hydrogen. In the case of counterpart hydrogenated for 24 h fracture occurs in the absence of necking.*

В настоящее время большое внимание уделяется вопросам изучения надежности и долговечности использования высоколегированных конструкционных сплавов на основе железа в присутствии агрессивных сред. Известно, что сплавы на основе железа являются в достаточной степени распространенными и относительно недорогими, при этом они обладают оптимальным соотношением прочностных и пластических свойств, необходимых при изготовлении ответственных конструкций. Вопросы изучения поведения металла в присутствии вредного влияния водорода наиболее актуальны в связи с использованием высоколегированных сталей для нужд ядерной и водородной энергетики с целью прогнозирования поведения материала в сложнапряженном состоянии, определения запаса пластичности и особенностей разрушения [1-3].

В работе исследована высокохромистая сталь мартенситного класса марки 40X13 (0,4 %С, 0,6 %Si, 0,55 %Mn, 12,5 %Cr), которая обладает высокой коррозионной стойкостью на воздухе. Для повышения прочностных характеристик поставляемого проката необходима дополнительная термообработка в виде закалки при $T=1320\text{K}$ и последующего отпуска при $T=900\text{K}$. В процессе закалки формируется мартенситная структура с полным растворением карбидов железа, а при последующей термообработке формируется сорбит отпуска [4].

Насыщение образцов ионами водорода осуществляли в трехэлектродной электрохимической ячейке из 1N раствора H_2SO_4 с добавлением тиомочевины в качестве катализатора при $T=323\text{K}$ и при постоянном контролируемом потенциале $U = -500\text{ мВ}$ в течение 6, 12 и 24 часов [3]. Определение концентрации водорода в образце осуществлялось с использованием анализатора водорода RHEN602. Механические испытания образцов в форме двойной лопатки с размерами рабочей части $50 \times 10 \times 2\text{ мм}$ проводились сразу же непосредственно после изъятия образца из электрохимической ячейки, при комнатной по схеме одноосного растяжения со скоростью $6,67 \times 10^{-5}\text{ с}^{-1}$ на испытательной машине LFM-125.

Кривые нагружения исследуемых образцов в исходном термообработанном состоянии и после насыщения образцов водородом представлены на рис. 1.

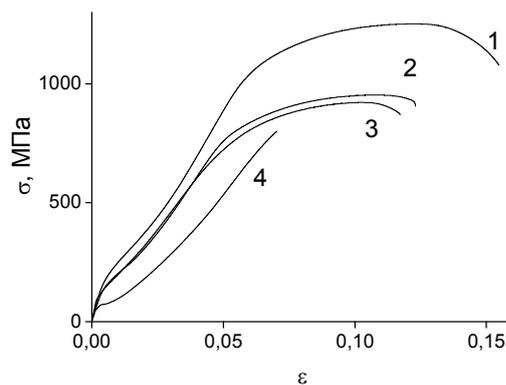


Рис.1. Кривые нагружения стали 40X13 в исходном состоянии после термообработки (1) и после электролитического насыщения водородом в течение 6 часов (2), 12 часов (3) и 24 часов (4).

Из рисунка видно, что насыщение водородом образца в электрохимической ячейке привело к значительному изменению прочности и пластичности исследуемого сплава. Предел текучести σ_T , временное сопротивление разрыву σ_B и общее удлинение до разрыва δ уменьшились по сравнению с исходным термообработанным состоянием на 17%, 24% и 20% соответственно, см. Таблицу 1. Увеличение времени насыщения водородом приводит к тому, что характер разрушения изменился от вязкого к хрупкому. На диаграмме нагружения образца макроскопическая шейка разрушения отсутствует.

Таблица 1

Механические свойства стали 40X13 при различной обработке

	Время воздействия водорода, ч.	C_H , ppm	σ_T , МПа	σ_B , МПа	δ , %
1	0	0	209	1252	12,7
2	6	17	171	952	9,6
3	12	30,9	135	920	10,1
4	24	35,1	71,6	797	4,8

Зависимость механических свойств исследуемой стали от концентрации водорода в образце представлены на рис. 2.

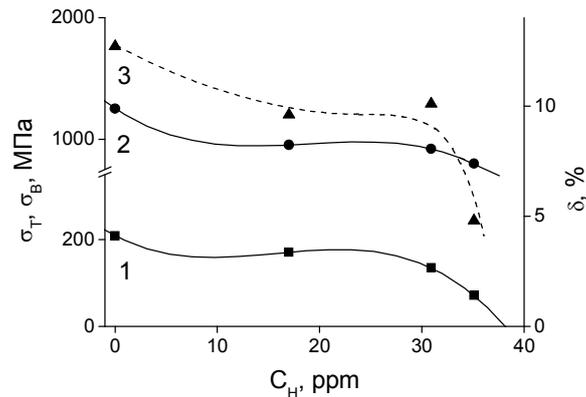


Рис.2. Зависимость механических свойств стали 40X13 от концентрации водорода: 1 – предел текучести (σ_T , МПа), 2 – временное сопротивление разрушению (σ_B , МПа), 3 – общее удлинение образца до разрыва (δ , %).

В настоящей работе показано влияние времени насыщения водородом высокохромистой нержавеющей стали мартенситного класса электролитическим методом на механические характеристики, такие как предел текучести, предел прочности и относительное удлинение до разрыва. Показано, что насыщение водородом в течение 6 часов уже в значительной степени влияет на свойства стали по сравнению с исходным термообработанным состоянием. Дальнейшее увеличение концентрации водорода в материале приводит не только к снижению его прочностных и пластических свойств, но также меняет характер разрушения от вязкого к хрупкому.

Работа выполнена в рамках Программы фундаментальных исследований Государственной академии наук в 2015-2020 гг. и гранта РФФИ №16-08-00385-а

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агеев В.Н., Бекман И.Н., Бурмистрова О.Н. и др. Взаимодействие водорода с металлами. – М.: Наука, 1987. – 296 с.
2. Семенова И.В., Флорианович Г.М., Хорошилов А.В. Коррозия и защита от коррозии. – М.: Физматлит, 2002. – 335 с.
3. Баранникова С.А., Надежкин М.В., Мельничук В.А., Зуев Л.Б. О локализации пластической деформации растяжения монокристаллов аустенитной стали, электролитически насыщенных водородом // Письма в ЖТФ. – 2011. – Т. 37. – №. 17. – С. 9–17.
4. Данилов В.И., Орлова Д.В., Зуев Л.Б., Шляхова Г.В. Характер локализации пластической деформации и разрушение высокохромистой стали мартенситного класса // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2009. – Т. 52. – № 5. – С. 78–84.