

621.18
С 50



О. Д. Сміян

ВОДЕНЬ І РУЙНУВАННЯ МЕТАЛУ ОБ'ЄКТІВ ТРИВАЛОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ



НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ЕЛЕКТРОЗВАРЮВАННЯ ім. Є. О. ПАТОНА

О. Д. СМІЯН

**ВОДЕНЬ
І РУЙНУВАННЯ МЕТАЛУ
ОБ'ЄКТІВ ТРИВАЛОЇ
ЕКСПЛУАТАЦІЇ**

За загальною редакцією академіка НАН України
В. В. ПАНАСЮКА

*ПРОЕКТ
«НАУКОВА КНИГА»*

КИЇВ НАУКОВА ДУМКА 2018

УДК 621. 181: 620. 193. 2:669.788.538

У монографії наведено результати теоретичних і експериментальних досліджень взаємодії водню із металами та особливості його поведінки в твердому тілі. Описується структурно-деформаційний ефект взаємодії водню з металом, що деформується, під час його тривалої експлуатації, що зумовлює зміни локальної концентрації та перерозподіл водню у металі виробу та конструкції. Встановлено вплив цих процесів на тріщиностійкість і працездатність металевих конструкцій. Наведено результати досліджень і прямих експериментальних вимірювань локальної концентрації та розподілу водню біля вершин тріщин, їх берегами та в зоні передруйнування, біля меж зерен, структури металу тощо. На підставі аналізу таких даних сформульовано механізм зародження й росту холодних тріщин. Розглянуто закономірності впливу квазііонів водню різної зарядності, квантових властивостей і міграційної здатності на пошкоджуваність металу, зокрема його окрихчення, утворення флокенів тощо. Проаналізовано водневе пошкодження металу корпусів та труб пароводяного тракту котлів ТЕС, транспортних засобів (авіа-, залізничного та трубогінного) тощо.

Для науковців та інженерів, які працюють над вирішенням проблем надійної експлуатації устаткування у водневмісному середовищі, проектування та розрахунків міцності машин, для співробітників теплових електростанцій, авіаційного, хімічного і транспортного машинобудування, а також для аспірантів і студентів профільних галузей механіки матеріалів, міцності конструкцій, машинознавства та фізичного матеріалознавства.

Рецензенти:

член-кореспондент Національної академії наук України,
доктор фізико-математичних наук, професор А. Я. КРАСОВСЬКИЙ
доктор фізико-математичних наук, професор С. О. КОТРЕЧКО

*Рекомендовано до друку вченою радою
Інституту електрозварювання ім. Є. О. Патона
(протокол № 8 від 06.09.2017 р.)*

*Оригінал-макет виготовлено за кошти Цільової комплексної програми
«Створення та розвиток науково-видавничого комплексу
НАН України»*

Науково-видавничий відділ
фізико-математичної та технічної літератури

Редактор *О. А. Микитенко*

ISBN 978-966-00-1659-0

© О. Д. Сміян, 2018
© НВП «Видавництво “Наукова думка” НАН
України», дизайн, 2018

CONTENT

FROM THE EDITOR	3
FROM THE AUTHOR	5
INTRODUCTION	9
S E C T I O N 1 GENERAL REVIEW OF THE STATE OF RESEARCH ON THE INFLUENCE OF hydrogen ON METAL DEFORMATION	1.1. Actuality of problems in hydrogen materials science 13 1.2. Methods for controlling the content and distribution of hydrogen in a metal. 16 1.3. Instruments for determining the local concentration of hydrogen and other impurity elements in metals and alloys without destroying them 21 1.4. Special means for conducting targeted research 30 1.5. Some methodological remarks 32
S E C T I O N 2 SOME PHYSICAL CONCEPTS OF METAL FAILURE	2.1. The main mechanisms of formation of deformation cracks 39 2.2. Dislocation-shear theories of crack initiation 41 2.3. Thermofluctuation (dilatation) model of destruction 44 2.4. Auto-oscillatory model of pre-destruction state 45 2.5. Dislocation-decohesive model of microcrack formation in hydrogenated and deformed metal 45 2.6. Mechanisms of hydrogen-stimulated crack growth 47 2.7. Quantum-mechanical concept of the surface state of solids 50
S E C T I O N 3 HYDROGEN IN METALS	3.1. Hydrogen sorption by metal surface 59 3.2. Properties of gaseous hydrogen 63 3.3. Molecule of water and its interaction with the surface 67 3.4. Features of the behavior of hydrogen in metals 70 3.5. Charge state of hydrogen in iron alloys 80 3.6. Some anomalies in the behavior of hydrogen in metals 89 3.7. Iron hydrides in steels 96
S E C T I O N 4 FEATURES OF THE JOINT EFFECT OF TEMPERATURE AND STRESSES IN THE METAL ON ITS INTERACTION WITH HYDROGEN	4.1. Introductory remarks 102 4.2. Sorption and redistribution of hydrogen in a metal under tensile load in a hydrogen-containing medium 103 4.3. Deforming as a result of phase transformations 109 4.4. Influence of the duration of the action of hydrogen on the deformation of metals 110 4.5. Amorphization of crystalline compounds by an ultrahigh concentration of hydrogen 117 4.6. Increasing the hydrogen stability of steel 118 4.7. Mechanism of interaction of a medium with a deformed solid 124

Content

SECTION 5 HYDROGEN AND METAL DEFORMATION FOR CUMATIC AND ELEVATED TEMPERATURES	5.1. Introductory remarks 134 5.2. Desorption of hydrogen from the metal of the welded joint during the riping without external load 138 5.3. Behavior of hydrogen in conditions of riping hydrogenated metal under the influence of external static load 145 5.4. Welding of metals by pressure at low and medium speeds of their deformation 157 5.5. Formation of segregation of impurity elements during impulse processing and welding of metal 165
SECTION 6 DISTRIBUTION OF HYDROGEN IN METALS DURING THEIR THERMAL AND CYCLIC DEFORMATION IN A HYDROGEN- CONTAINING MEDIUM	6.1.1 ntroductory remarks 177 6.2. Changing the chemical composition of grain boundaries as a result of heat treatment of metals 178 6.3. Behavior of hydrogen during deformation of metal caused by temperature fluctuations 181 6.4. The influence of the medium on the sorption and distribution of hydrogen in the metal in low-cycle tests 191 6.5. Some issues of fatigue failure of metals in hydrogen-containing media 209
SECTION 7 HYDROGEN DAMAGE TO METALS	7.1. General characteristic of the problem 214 7.2. Hydrogen embrittlement of metals 221 7.3. Destruction of hydrogenated metal elements of boilers of thermal power plants 228 7.4. Hydrogen in the metal of trunk pipelines 242 7.5. Hydrogen porosity in cast metal and in welded seams 248
SECTION 8 INFLUENCE OF HYDROGEN ON NUCLEATION AND PROPAGATION OF CRACKS IN DEFORMED METALS	8.1. Concentration of hydrogen in the pre-destruction zone and the strength of the metal 254 8.2. Establishment of conditions for the growth of cracks in hydrogen-rich metal 271 8.3. Some comments on the origin and growth of cracks 281 8.4. Appearance and development of cold cracks in hydrogenated metal 288 8.5. Basic processes of nucleation and growth of cracks in hydrogenated metals 295 8.6. Recommended measures to increase the resistance of metals and alloys to hydrogen embrittlement and to the appearance of cold cracks 305
LIST OF ABBROVIATIONS	307
REFERENCES	310