

*Alexander BALITSKII¹, Lubomyr IVASKEVICH¹, Igor KOSTYUK²,
Pawel KOCHMANSKI³, Valeriy KOLESNIKOW⁴, Volodymyr OSTAF⁵*

HYDROGEN EMBRITTLEMENT OF WELDED JOINTS OF Cr-Mn AUSTENITIC STEELS

¹*Karpenko Physico-Mechanical Institute, Lviv, Ukraine,*

²*Zachidenergo, Lviv, Ukraine,*

³*Technical University of Szczecin, Szczecin, Poland,*

⁴*East Ukrainian National University, Lugansk, Ukraine,*

⁵*Ternopil National Pedagogical University, Ternopil, Ukraine*

**О. БАЛИЦЬКИЙ, Л. ІВАСЬКЕВИЧ, І. КОСТЮК, П. КОХМАНСЬКИЙ,
В. КОЛЕСНИКОВ, В. ОСТАФ**

ВОДНЕВЕ ОКРИХЧЕННЯ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ ВИСОКОМІЦНИХ Cr-Mn АУСТЕНІТНИХ СТАЛЕЙ

ABSTRACT. Розглянуто схильність високоазотних аустенітних сталей до водневого окрихчення. Проведено аналіз механізму руйнування цих високоміцних матеріалів під впливом водню. Досліджено вплив газоподібного водню на експлуатаційні характеристики зварних з'єднань високоазотних сталей.

KEY WORDS: *austenitic high nitrogen stainless steel, hydrogen embrittlement, mechanical properties.*

FOREWORD

Austenitic stainless steels are well suited for structural application in hydrogen-containing environment, since these alloys are highly resistant to hydrogen-assisted fracture. Although hydrogen-assisted fracture of austenitic steels has been extensively studied, few efforts have focused on welds. Fusion welds in austenitic steels are generally designed to solidify as primary ferrite, which results in retention of a small amount of δ -ferrite following the solid-state transformations that occur during cooling. Hydrogen-assisted fracture in the weld fusion zone could be more severe compared to that in the base metal due to the presence of retained δ -ferrite [1-4].

MATERIALS AND EXPERIMENTAL PROCEDURE

The objective of this study was to quantify the hydrogen-assisted fracture susceptibility of gas-tungsten arc (GTA) welds in the nitrogen-strengthened, austenitic stainless steels 19Cr10Mn (Table 1) using traditional (Fig.1) and fracture mechanics [5] methods. In addition, mechanism of hydrogen-assisted fracture in the welds were identified using electron microscopy of fracture surfaces and sub-surface regions.

Table 1. Chemical composition of tested welds

	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	N
Base metal	< 0,08	< 0,5	10,0	19,0	< 1,0	< 0,5	0,50
Filler material	0,04	0,70	5,5	25,0	21,0	3,6	0,38

It is well established that nitrogen in austenitic stainless steels causes a remarkable high strengthening by solid solution as well as an increasing in corrosion resistance. For these reasons nitrogen as an alloying element has been successfully used to develop a number of commercial steels in which it stabilizes the austenitic phase.

Nitrogen in solid solution was found to have profound influence on the temperature of dynamic recrystallization and hence on the thermo-mechanical processes such as hot rolling, where an improved hot workability of the austenite becomes the first target to be achieved [3].

RESULTS AND DISCUSSION

In contrast to the uncharged welds, fracture initiation in the hydrogen-charged welds did not involve extensive plasticity, particularly for the welds. In addition, the fracture surfaces for hydrogen-charged welds reveal features that are oriented parallel to the crack propagation direction [5, 6]. This suggests that fracture was associated with the aligned dendritic structure of the welds. Hydrogen plays an additional role by facilitating localized deformation in the ligament between parallel microcracks. The proposed mechanism for fracture in the ligament between microcracks is nucleation of voids at small particles (e.g., CrN) (Fig.2) in the band of intense deformation.

Hydrogen promotes the formation of microcracks in δ -ferrite and σ as well as at γ/δ -ferrite and γ/σ interfaces ahead of the precrack tip.

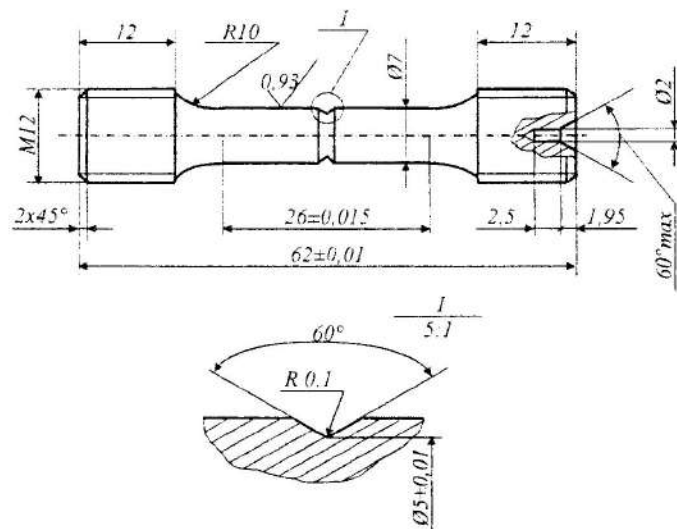


Fig. 1. Specimens for testing of gaseous hydrogen influence on materials with notch.

Microstructures in the fusion zone and in the heat-affected zone can be completely different from that in the base metal. Grain coarsening can occur in metastable alloys. The temperature excursion results in lamellar microstructures. Welding can influence FCG rates as well as on other mechanical properties. Rapid cooling rates from elevated temperatures cause residual stresses and superposed on applied stresses can have a great influence on FRG rates.

Experimental determination in FRG rates in various weldments of HNS using compact-type specimens have shown that FCG in the fusion zone heat-affected zone is always much lower than in the untreated base metal, whether welding was done by gas - tungsten arc. An example is shown in [5] for crack orientations parallel and perpendicular to the welding direction. While a change in microstructure from millannealed or duplex to fine lamellar could qualitatively rationalise the improved FCG resistance when FCG is parallel to the weld, FCG in weldments is in fact more strongly dependent on residual stresses than on microstructure.

The threshold ΔK values obtained between 2 and 5 $\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$, which is significantly lower than the values of base metal [5]. The measurement or elimination of residual stresses by a postweld heat treatment, as well as the testing of FCG in weldments for cracks normal to the weld, unambiguously demonstrate the importance of residual stresses [7, 8]. Fatigue crack growth data for the base metal is so insensitive to microstructure. The knowledge of such microstructures is mandatory in order to properly estimate the resistance of the material [9, 10].

During stress corrosion cracking (SCC) or corrosion fatigue (CF) on stainless steels in boiling chloride media, the pH of the solution remaining inside a crack is low enough to make the reduction of

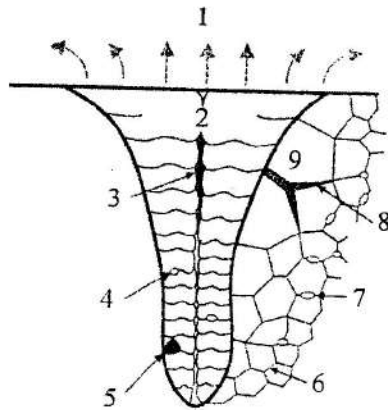


Fig. 2. Schem of welding joining of high nitrogen steel: 1 – nitrogen losses from welds; 2 – welds metal; 3 – crack initiation; 4 – chromium nitrides in welds; 5 – pore initiation; 6 – grain boundary; 7 – chromium nitride in heat affected zone of weldments; 8 – lievation crack initiation; 9 – heat affected zone.

between electrochemical reactions and bubble emergence is due to the transport process of gaseous hydrogen from inside the crack to the crack mouth [3].

CONCLUSIONS

Microscopy results suggested that hydrogen served two roles in the fracture of welds: hydrogen promoted the nucleation of microcracks along the dendritic and nitride structures, and hydrogen accelerated the link-up of microcracks by facilitation localized deformation.

REFERENCES

1. Fukuyama S., Zhang L. and Yokogawa K. Hydrogen environment embrittlement of metals in high-pressure hydrogen storage. – Proc. ICF-11. – 20–25 March 2005. – Turin, Italy.
2. Chuan-Ming Tseng, Wen-Ta Tsai. Environmentally assisted cracking behavior of single and dual phase stainless steels in hot chloride solutions. Science Direct 12 November 2003, p.162-170.
3. Robinson S.I., Somerday B.P., Moody N.R. Hydrogen embrittlement of stainless steels. Proc. ICF-11. – 20–25 March 2005. – Turin, Italy. /Paper N 5638.
4. Chuan-Ming Tseng, Horng-Yih Liou, Wen-Ta Tsai. The influence of nitrogen content on corrosion fatigue crack growth behavior of duplex stainless steel. Materials Science 28 May 2002, p.190-200.
5. Balitskii A., Diener M., Harzenmoser M., Kostyuk I., Kochmanski P., Kolesnikow V., Ostaf V. Crack resistance of high-nitrogen Cr-Mn austenitic steel welded joints / Fracture Mechanics of Materials and Structural Integrity. – Issue 3. – 2004. – p.647-652.
6. Balitskii A. I., Kostyuk I., Kolesnikow V., Kubicki J., Medvid A.G., Ostaf V. Yu. Hydrogen induced changes of physical and mechanical properties of materials for power generation and transport equipment // Hydrogen Treatment of Materials (Proceedings of the Fourth International Conference "HTM-2004", Donetsk-Svyatogorsk, May 17-21, 2004). – Council of Interparliamentary Assembly of States-Participants of Concord of Independent States. – Donetsk. – 2004. – p.508-512.
7. Krzysztof Dudzinski, Włodzimierz Dudzinski, Lidia Pekalska, Grzegorz Pekalski. Spawanie i regeneracyjna obróbka cieplna korpusów turbin parowych. Inżynieria Materialowa 6/2003, p.712-715.
8. Anna Rehmus-Forc, Roman Wielgosz. Zastosowanie zaroodpornych stopów niklowych w turbinach parowych. Inżynieria Materialowa 6/2003, p.361-364.
9. Maria Sozanska, Katarzyna Klyk-Spyra, Joanna Lasota. Korelacja pomiędzy ilościowym opisem mikrostruktury, a właściwościami mechanicznymi w stali duplex w obecności wodoru. Inżynieria Materialowa 6/2003, p.369-372.
10. Valenty Jasinski. Analiza fazowa materiału rur katalitycznych reformerów amoniaku. Inżynieria Materialowa ROK XXIV, p.306-309.

ISSN 0430-6252



ФІЗИКО
ХІМІЧНА
МЕХАНІКА
МАТЕРІАЛІВ

спеціальний випуск

№5

PHYSICO
CHEMICAL
MECHANICS
of MATERIALS

special issue

№5

Львів

2006

**ПРОБЛЕМИ КОРОЗІЇ
та ПРОТИКОРОЗІЙНОГО
ЗАХИСТУ МАТЕРІАЛІВ**

**PROBLEMS of CORROSION
and CORROSION PROTECTION
of MATERIALS**

Національна академія наук України
Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка

ФІЗИКО-
ХІМІЧНА
МЕХАНІКА
МАТЕРІАЛІВ

Спеціальний випуск № 5

**ПРОБЛЕМИ КОРОЗІЇ
ТА ПРОТИКОРОЗІЙНОГО
ЗАХИСТУ МАТЕРІАЛІВ**

**PROBLEMS OF CORROSION
AND CORROSION
PROTECTION OF MATERIALS**



PHYSICO-
CHEMICAL
MECHANICS
OF MATERIALS

Special Issue № 5

ЛЬВІВ – 2006 – LVIV

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ ЖУРНАЛУ "ФІЗИКО-ХІМІЧНА МЕХАНІКА МАТЕРІАЛІВ"

В.В.ПАНАСЮК (головний редактор), С.Я.Ярема (заст.головного редактора), В.М.ФЕДІРКО (заст.головного редактора), Р.Р.КОКОТ (відповідальний секретар), О.Є.АНДРЕЙКІВ, І.М.ДМИТРАХ, Г.С.КИТ, І.М.КУШНІР, А.О.ЛЕБЕДЄВ, Л.М.ЛОБАНОВ, З.Т.НАЗАРЧУК, Г.М.НИКИФОРЧИН, В.А.ОСАДЧУК, О.П.ОСТАШ, В.С. ПАВЛИНА, В.І.ПОХМУРСЬКИЙ, І.К.ПОХОДНЯ, М.П.САВРУК, Г.Т.СУЛІМ, В.І.ТКАЧОВ, В.В.ФЕДОРОВ, С.О.ФІРСТОВ

МІЖНАРОДНА РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

Р.АКІД (Великобританія), А.БАККЕР (Нідерланди), В.ДЦЕЛЬ (Німеччина), І.-Р.ГАРРІС (Великобританія), О.М.ЛОКОШЕНКО (Росія), Е.ЛУНАРСЬКА (Польща), М.А.МАХУТОВ (Росія), І.МІЛЬН (Великобританія), М.Ф.МОРОЗОВ (Росія), О.НАКОНЕЧНИЙ (Польща), А.НЕЙМІЦ (Польща), ДЖ.-Ф.НОТТ (Великобританія), Г.ПЛЮВІНАЖ (Франція), Р.-О.РІЧІ (США), С.СЕДМАК (Югославія), Й.-Л.СПОРМАКЕР (Нідерланди), Д.-М.-Р.ТЕПЛІН (Великобританія), Л.ТОТ (Угорщина), Д.ФРАНСУА (Франція), М.ШАПЕР (Німеччина), М.-О.ШПІЙДЕЛЬ (Швейцарія), С.Д.ШУКІН (Росія)

EDITORIAL BOARD OF "PHYSICO-CHEMICAL MECHANICS OF MATERIALS" JOURNAL

V. V. PANASYUK (Editor-in-Chief), S. Ya. YAREMA (Associate Editor), V. M. FEDIRKO (Associate Editor), R. R. KOKOT (Secretary), O. Ye. ANDREIKIV, I. M. DMYTRAKH, V. V. FEDOROV, S. O. FIRSTOV, H. S. KIT, R. M. KUSHNIR, A. O. LEBEDIEV, L. M. LOBANOV, R. K. MELEKHOV, Z. T. NAZARCHUK, H.M. NYKYFORCHYN, V. A. OSADCHUK, O. P. OSTASH, V. S. PAVLYNA, V.I. POKHMURSKYI, I. K. POKHODNIA, M.P. SAVRUK, H. T. SULYM, V. I. TKACHOV

INTERNATIONAL EDITORIAL BOARD

R. AKID (Great Britain), A. BAKKER (The Netherlands), W. DITZEL (Germany), D.FRANZOIS (France), I. R. HARRIS (Great Britain), J. P. KNOTT (Great Britain), A.M.LOKOSHENKO (Russia), E. LUNARSKA (Poland), N.A.MAKHUTOV (Russia), I.MILNE (Great Britain), N. F.MOROZOV (Russia), A. NAKONECHNY (Poland), A.NEIMITZ (Poland), G. PLUVINAGE (France), R. O. RITCHIE (USA), M.SCHAPER (Germany), Ye. D. SHCHUKIN (Russia), S. SEDMAK (Yugoslavia), M. O. SPEIDEL (Switzerland), J. L. SPOORMAKER (The Netherlands), D. M. R. TAPLIN (Great Britain), L.TOTH (Hungary)

Адреса редакції журналу
"Фізико-хімічна механіка матеріалів":

79601, Львів, МСП, Наукова, 5. Фізико-механічний інститут
ім. Г.В.Карпенка НАН України.
Тел.: 8 (0322) 63-73-74, 8 (032) 22-96-230.
Факс 8(0322) 64-94-27.

Наша WWW-адреса:
Editorial office address of Journal
"Physico-Chemical Mechanics of
Materials":

E-mail: pemm@ipm.lviv.ua
<http://www.ipm.lviv.ua/journal/Journal.htm>
Karpenko Physico-Mechanical Institute, 5, Naukova St.,
Lviv 79601, Ukraine,
Tel.: (380) 322 63 73 74, (380) 32 22 96 230.
Fax. (380) 322 64 94 27.

Our WWW-address:

E-mail: pemm@ipm.lviv.ua
<http://www.ipm.lviv.ua/journal/Journal.htm>

Відповідальний секретар редакції **Р.Р.Кокот**

Редактори *Д.С.Бриняк, Л.Є.Слейко*

Технічний редактор *О.Й.Пінак*

Комп'ютерний набір *Н.Р.Червінська*

Реєстраційне свідоцтво серія КВ № 203 від 10.11.93

© Фізико-механічний інститут ім. Г.В.Карпенка НАН України
"ФІЗИКО-ХІМІЧНА МЕХАНІКА МАТЕРІАЛІВ", 2006

УДК 539.3, 620.193, 620.194, 620.179, 620.197, 621.181:669.018, 621.785, 678.539

Проблеми корозії та протикорозійного захисту матеріалів: В 2-х т. / Спецвипуск журналу "Фізико-хімічна механіка матеріалів". – № 5. – Львів: Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України, 2006 – Т. 1. – 456 с.

Problems of Corrosion and Corrosion Protection of Materials: 2 Vol. / Special Issue of Journal "Physicochemical Mechanics of Materials". – № 5. – Lviv: Karpenko Physico-Mechanical Institute, 2006. – V.1. – 456 p.

У спецвипуску № 5 подані праці, які присвячені фундаментальним аспектам корозії та корозійно-механічного руйнування; водневій та газовій корозії; новим корозійно-трьовким матеріалам і захисним покриттям: газотермічним, гальванічним та іншим покриттям; неметалевим конструкційним матеріалам; інгібіторному, біоцидному та електрохімічному захистам; методам досліджень і корозійному контролю; екологічним проблемам, що пов'язані з корозією; підготовці фахівців-корозіоністів; новим розробкам у галузі протикорозійного захисту трубопроводів, резервуарів, енергетичного та хімічного обладнання, будівельних конструкцій та ін.

Papers, presented in the special issue N 5, are devoted to fundamentals of corrosion and corrosion assisted mechanical fracture; hydrogen and gas corrosion; new corrosion resistant materials and protective coatings; thermal spray, electroplated and other coatings; non-metallic constructional materials; inhibitor, biocidal and electrochemical protection; testing methods and corrosion control; environmental problems related to corrosion; education and training of corrosion specialists; new developments in the area of corrosion protection of pipe lines, vessels, power and chemical equipment, buildings constructions etc.

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ СПЕЦВИПУСКУ

Відповідальний редактор член-кор. НАН України, д.т.н., проф. В.Похмурський
Секретар Н.Червінська

Члени колегії: д.т.н. О.Балицький, д.т.н. Ю.Герасименко, д.х.н., проф. Ф.Данілов, член-кор. НАН України, д.т.н. І.Дмитрах, д.т.н. І.Зінь, д.т.н., проф. Г.Никифорчин, акад. НАН України, д.т.н., проф. В.Панасюк, акад. НАН України, д.т.н., проф. І.Походня, д.т.н., проф. В.Федірко, д.т.н. В.Федоров, д.т.н. М.Хома

EDITORIAL BOARD OF SPECIAL ISSUE

Prof. V.Pokhmurskii (*Editor-in-Chief*), N.Chervinska (*Secretary*), Dr. A.Balitskii, Prof. Yu.Gerasimenko, Prof. F.Danilov, Dr. I.Dmytrakh, Dr. M.Khoma, Prof. H.Nykyforchyn, Prof. V.Panasjuk, Prof. I.Pokhodnya, Prof. V.Fedirko, Dr. V.Fedorov, Dr. I.Zin

Статті друкуються в авторській редакції.

Підписано до друку 10.04.2006. Формат 60x84/8. Папір офсетний.
Ум.друк.арк. 26.4. Тираж 305 прим. Замовлення 04. Ціна договірна.
Виготовлено в Дослідно-видавничому центрі Наукового товариства ім.Т.Шевченка
Львів, вул.Винниченка, 24. Свідоцтво про внесення до Державного реєстру суб'єктів видавничої справи
ДК № 884 від 04.04.2002

CONCLUSIONS

Microscopy results suggested that hydrogen served two roles in the fracture of welds: hydrogen promoted the nucleation of microcracks along the dendritic and nitride structures, and hydrogen accelerated the link-up of microcracks by facilitation localized deformation.

REFERENCE

1. Fukuyama S., Zhang L. and Yokogawa K. Hydrogen environment embrittlement of metals in high-pressure hydrogen storage. – Proc.ICF-11.-20-25 March 2005. – Turin, Italy.
2. Chuan-Ming Tseng, Wen-Ta Tsai. Environmentally assisted cracking behavior of single and dual phase stainless steels in hot chloride solutions. Science Direct 12 November 2003, p. 162 -170.
3. Robinson S.I., Somerday B.P., Moody N.R. Hydrogen embrittlement of stainless steels. Proc. ICF-11.- 20-25 March 2005. –Turin, Italy./ Paper № 5638.
4. Chuan-Ming Tseng, Horng-Yih Liou, Wen-Ta Tsai. The influence of nitrogen content on corrosion fatigue crack growth behavior of duplex stainless steel. Materials Science 28 May 2002, p. 190 – 200.
5. Balitskii A., Diener M., Harzenmoser M., Kostyuk I., Kochmanski P., Kolesnikow V., Ostaf V. Crack resistance of high-nitrogen Cr-Mn austenitic steel welded joints / Fracture Mechanics of Materials and Structural Integrity. –Issue 3. – 2004. – p. 647-652.
6. Balitskii A.I., Kostyuk I., Kolesnikow V.Kubicki J., Medvid A.G., Ostaf V.Yu. Hydrogen induced changes of physical and mechanical properties of materials for power generation and transport equipment // Hydrogen Treatment of Materials (Proceedings of the Fourth International Conference “HTM-2001”, Donetsk-Svyatogorsk, May 17-21, 2004). – Council of Interparliamentary Assembly of States-Participants of Concord of Independent States. – Donetsk. – 2004. – p. 508-512.
7. Krzysztof Dudziński, Włodzimierz Dudziński, Lidia Pękalska, Grzegorz Pękalski. Spawanie i regeneracyjna obróbka cieplna korpusów turbin parowych. Inzynieria Materialowa 6/2003. P. 712 -715.
8. Anna Rehmus-Forc. Roman Wielgosz. Zastosowanie żaroodpornych stopów niklowych w turbinach parowych. Inzynieria Materialowa 6/2003, p. 361 -634. // Rehmus-Forc A. ,Wielgosz R. // Use of heat-resisting nickel alloys in gas turbines // II Krajowa Konferencja "Nowe Materiały - Nowe Technologie w Przemysle Okrętowym i Maszynowym", Międzyzdroje 2003.

9. Maria Sozanska, Katarzyna Klyk-Spyra, Joanna Lasota Korelacja pomiędzy ilościowym opisem mikrostruktury, a właściwościami mechanicznymi w stali duplex w obecności wodoru. Inżynieria Materialowa 6/2003. P. 369 – 372.
(Sozańska M., Kłyk-Spyra K., Lasota J.). II Krajowa Konferencja "Nowe Materiały - Nowe Technologie w Przemysle Okrętowym i Maszynowym", Międzydroje 2003 // Correlation between structural and mechanical properties in the duplex steel in the presence of hydrogen.
10. Walenty Jasinski. Analiza fazowa materiału rur katalitycznych reformerów amoniaku. Phase analysis of material of centrifugal casted catalytic pipes. Inżynieria Materialowa ROR XXIV, p. 306 – 309.

Balitskii A., Ivaskevich L., Kostyuk I., Kochmanski P., Kolesnikow V., Ostaf V. // Hydrogen embrittlement of welded joints of Cr–Mn austenitic steels. Водневе окрихчення зварних з'єднань Cr–Mn аустенітних сталей // Проблеми корозії та протикорозійного захисту матеріалів. Problems of corrosion and protection of materials Physicochemical mechanics of materials.– Special issue. - N 5, vol.1, 2006. – P. 233-235.

Balitskii A., Ivaskevich L., Kostyuk I., Kochmanski P., Kolesnikov V., Ostaf V. // Hydrogen embrittlement of welded joints of Cr–Mn austenitic steels Водневе окрихчення зварних з'єднань Cr–Mn аустенітних сталей // Проблеми корозії та протикорозійного захисту матеріалів. Problems of corrosion and protection of materials Physicochemical mechanics of materials. – Special issue. - N 5, vol.1, 2006. – P. 233-235.

https://www.researchgate.net/publication/357084703_Balitskii_A_Ivaskevich_L_Kostyuk_I_Kochmanski_P_Kolesnikow_V_Ostaf_V_Hydrogen_embrittlement_of_welded_joints_of_Cr-Mn_austenitic_steels_Vodneve_okrihcenna_zvarnih_zednan_Cr-Mn_austenitnih_stalej_Probl

https://kolesnikov.ucoz.com/load/hydrogen_embrittlement_of_welded_joints_of_cr_mn_austenitic_steels/1-1-0-366