

CRACK RESISTANCE OF HIGH-NITROGEN Cr-Mn AUSTENITIC STEELS WELDED JOINTS

ТРИЩИНОСТІЙКІСТЬ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ ВИСОКОАЗОТНИХ Cr-Mn АУСТЕНИТНИХ СТАЛЕЙ

A. Balitskii¹, M. Diener³, M. Harzenmoser⁴, I. Kostyuk¹, P. Kochmanski²,
V. Kolesnikow⁴, V. Ostaf¹

¹Karpenko Physico-Mechanical Institute of the NASU, Lviv, Ukraine

²Institute for Materials Engineering Technical University Szczecin, Szczecin, Poland

³Institute of Metallurgy, Swiss Federal Institute of Technology, Zurich, Switzerland

⁴EMPA, Laboratory for Joining and Interface Technology, Duebendorf, Switzerland

⁵East Ukrainian National University, Lugansk, Ukraine

Austenitic Cr-Mn steels with nitrogen are used for manufacturing retaining rings for rotors in modern turbo generators. The high N-content is attained by electro-slag remelting. Welded joints produced by arc welding in a protective atmosphere using a special filler material are chemically more homogeneous than those welded joints obtained by using Sv-01Cr19N9 electrodes. They are characterized by a higher corrosion fatigue resistance in all investigated solutions, except 22% CuCl₂.

Characterizing corrosion-fatigue durability of welded joints as heterogeneous systems [1, 2] it is possible to develop experimental-analytical methods to evaluate localized corrosion and damage of welded joints. The diagrams of electrochemical resistance and resistance to stress corrosion cracking of multi-layer welded joints form the basis to analyze the remaining resource of these connections and develop engineering measures for the prevention of stress-corrosion cracking and mechanical damage in service conditions.

High nitrogen stainless steel welds using Ni-containing Sv-07Cr25Ni13 wire have a decreased crack resistance. Comparing at the base alloy the threshold ΔK_{th} decreases by a factor of 2 in the welded joints at considerable accelerating of crack propagation (in some ranges of a stress intensity factor (SIF) K_{max} – almost in an order of magnitude) (Fig. 1).

In a saturated copper chloride solution deep pitting occurs and the fatigue crack growth rate (V) accelerates more than 10 times, mostly in the welded area but also in the heat affected zone, the crack propagation being both parallel and perpendicular to the weld.

Different results are obtained on these welded specimens with a crack propagation perpendicular to the weld. At the beginning when the cyclic load is applied to such specimens the characteristic SIF- V curve reproduces the diagrams of the

base alloy. As the crack tip approaches the heat affected zone the crack accelerates with identical SIF. Reaching the weld zone the crack changes its direction by 90° and moves along the fusion line through non-welded microzones, non-metallic inclusions and other large defects [3–8].

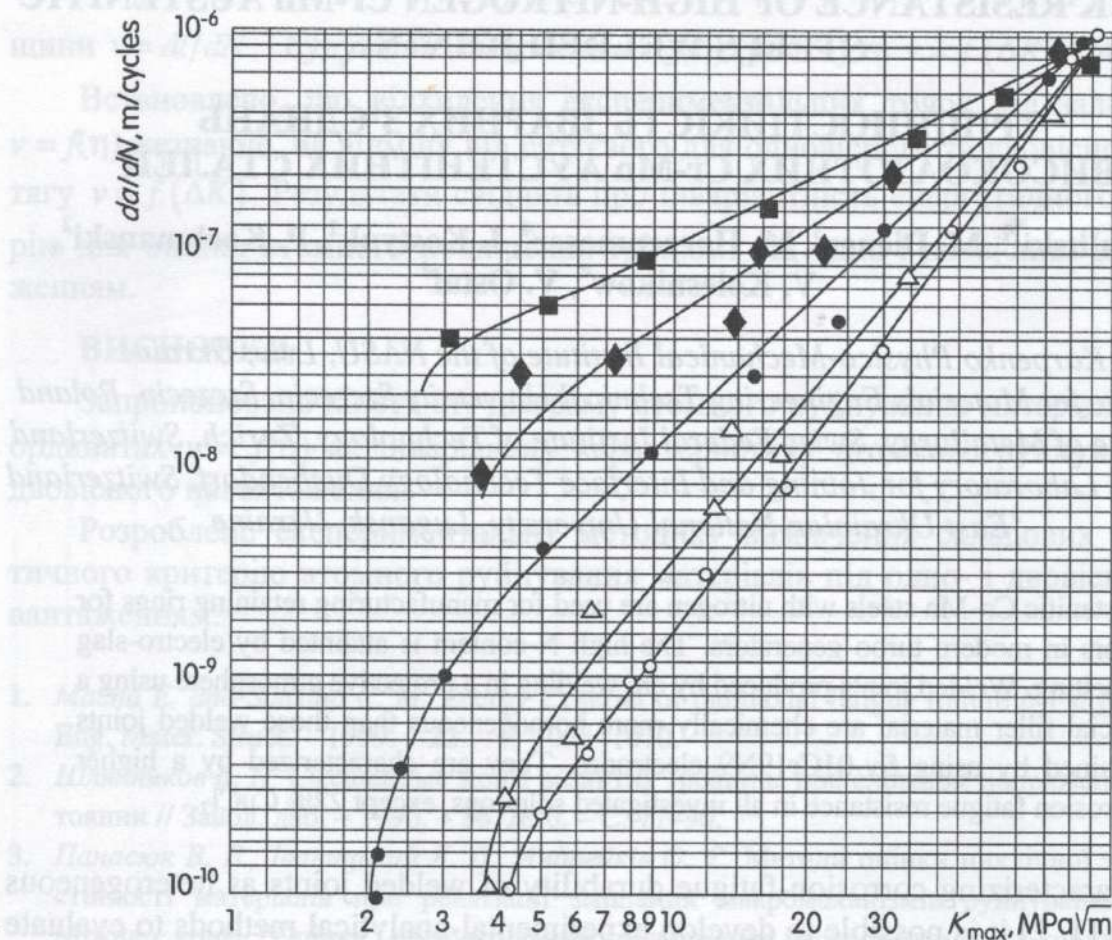


Fig. 1. Fatigue crack growth diagrams of 18Mn-18Cr steels with welded joints (made by Sv-07Cr25N13 wire under protective Ar gas) placed parallel to the crack orientation in the base alloy ($\circ$), in the welded joints ($\bullet$, $\blacksquare$) and perpendicular to the crack orientation (Δ , $\blacklozenge$) tested in air ($\circ$, $\bullet$), in a 22 % CuCl_2 solution ($\blacksquare$) and in a 22 % NaCl solution ($\blacklozenge$).

Fractographs taken from the surface of the welded joints after the fatigue tests present a crack propagation perpendicular to the weld. On segments between local destruction thin transversal tracks are visible, which are not the fatigue grooves, but a result of the spalling destruction of the material, when filler material and base alloy are interfusing (Fig. 2).

A detailed inspection of the micro cracks near the main crack along the welded joint shows pores and secondary micro cracks, mainly localized near large non-metallic inclusions. The fracture mechanism in this case combines micro void coalescence with the formation of fatigue striations. The passage of the main crack through the fusion line is accelerated by the formation of pits and takes place by micro void coalescence (Fig. 3). This fact is confirmed by the tendency of the material to form micro voids rather than other types of destruction. Non-metallic

inclusions on the fracture surface intensify the formation of micro voids at critical stresses during the crack propagation [9–14].



Fig. 2. Fractograms from the PM-WJ area (18Mn–18Cr steel specimen, N 2842) after fatigue tests on air and crack propagation perpendicular to the welded joint: *a* – $\times 20$; *b* – $\times 100$.



Fig. 3. Fracture character of the WJ specimen 2842 during the crack propagation perpendicular to WJ: *a* – $\times 1000$; *b* – $\times 2000$.

The combination of ductile fracture mechanisms in the base alloy with fatigue striations is observed when the crack length approaches the critical length for the final fracture.

Foremost, it is observed that the base alloy grains are destructed by the fatigue mechanism, and the grains in the area of the welded joints fail in shear, and, generally the destruction takes place after by the mechanism of breaking off. Such a process is accompanied by the branching off of second cracks as the main crack crosses the fusion line (Fig. 5). The cyclic loading assists the combination of intergranular fracture, which is accompanied by breaking off or micro void coalescence.

Obviously such a mechanism leads to the catastrophic failure of the material that is accompanied by the action of an aggressive environment with copper ca-

tions. The increase of the free surface as a result of micro void initiation is large enough, as its growth passes due to the plastic deformation and is accompanied by the serpentine sliding [15–18].

It is known, that each fatigue striation is the result of one load cycle. The size and spacing of fatigue striations are determined by the environment, the relative plasticity of the metal, the stress levels or the orientation of the cracks, as well as the strength of the material (Fig. 4).

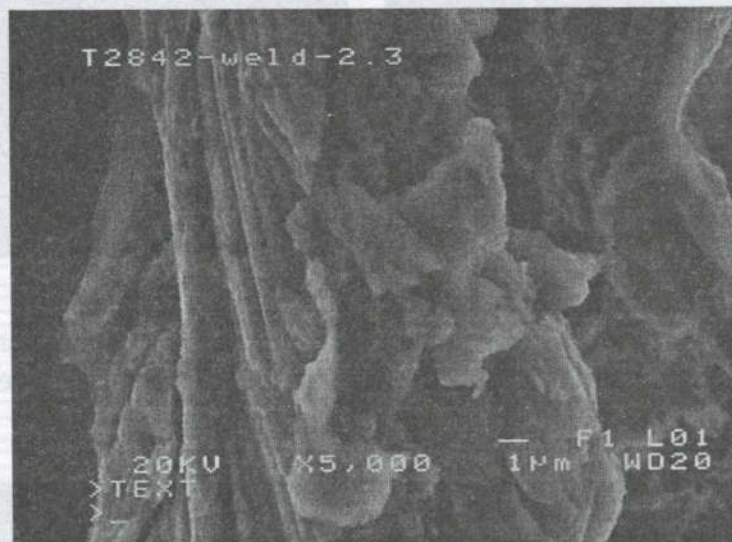


Fig. 4. Character of WJ fracture after the 2842 specimen fatigue tests during the crack propagation perpendicular to the WJ (at crack tip), $\times 5000$.



Fig. 5. Character of cracks branching during the passing of main crack Through the WJ-PM border in the 2842 specimen.

Contrary to high-cycle fatigue, low-cycle fatigue striations are wide enough, often overlapping and are found at large distances one from the other. In high strength materials the striations cannot arise up. In this case only tracks are obser-

ved. They are conditioned by brittle particles, which wedged, compressed and turned out between the fracture surfaces. Exactly after such mechanism, in our opinion, there is realized the fatigue fracture in the area of the welded joining.

Obviously materials with yield strengths of about 1100 MPa show striations that are difficult to discern and interpret. The appearance of brittle areas is enhanced by environmental influences operating at the crack front.

If in the base alloy a crack grows intergranularly, i.e. accompanied by micro voids growing and coalescing, in the area of the weld, even at the low levels of stress intensity coefficient, intergranular fracture constituent predominates in the character of the fracture.

Since under the influence of an aggressive environment the crack initiation and its propagation takes place as a result of the superposition of the applied and residual stresses, design features and details counted on work at the high levels of stresses can turn out unreliable, as under extreme operating conditions a sub-critical crack initiated at low stresses can grow up to the critical size (Fig. 5).

1. *Panasyuk V. V. and Dmytrakh I. M.* Evaluation of corrosion-fatigue strength of welded joints as heterogeneous systems // *Automatic Welding*. – 2003. – № 10–11. – P. 105–111.
2. *Dmytrakh I. M. and Panasyuk V. V.* Influence of corrosion environments on the metals local fracture near the stress concentrators. – Lviv: National Academy of Sciences of Ukraine, Karpenko Physico-Mechanical Institute, 1999. – 344 c.
3. *Balitsky O. I., Krokhmalny O. O., and Kostiuk I. F.* Corrosion-mechanical strength of welded joints of high-nitrogen steels // Abstracts of International conference “Welded structures” (October, 2000, Kyiv, Ukraine). – P. 37.
4. *Balitskii A. I., Kostiuk I. F., and Krokhmalnyj O. O.* Evaluation of susceptibility to corrosion of welding joints of 18Mn–18Cr type of steels // *Physicochemical mechanics of materials*. – Special issue. – 2000. – № 1. – P. 252–254.
5. *Corrosion-Mechanical Resistance of High-Nitrogen Austenitic Steels Welded Joints* / A. I. Balitskii, M. Diener, M. Harzenmoser, I. F. Kostiuk, P. Kochmanski, V. Yu. Ostaf // *Advances in Corrosion Science and Application*. – Proc. of Michal Smialowski International Symposium on Corrosion and Hydrogen Degradation.-Institute of Physical Chemistry of the Polish Academy of Sciences. – 2003. – P. 163–168.
6. *Increasing of corrosion-mechanical resistance of high nitrogen steel welding joining* / A. I. Balitskii, I. F. Kostuk, W. O. Kolesnikow, P. Kochmanski // *Visnik EUNU named after V Dal*. – 2003. – № 11 (68). – P. 41–46.
7. *Balitsky A. I., Kostuk I. F., and Krokhmalny O. A.* Physical-mechanical non-homogeneity of welded joints of the high-nitrogen Cr–Mn steels and their corrosion resistance // *The Paton Welding Journal*. – 2003. – № 2. – P. 26–29.
8. *Balitskii A. I.* Today and future welding // *Physicochemical mechanics of materials*. – 2003. – 39, № 6. – P. 118–120.
9. *Coetzee M. and Pistorius P. G. H.* Elevated temperature phase transformations and weldability of experimental Cr–Mn–Ni stainless steels // *Duplex Stainless Steels* (Glasgow, Scotland, 13–16 Nov., 1994). – Paper 48. – 11 p.
10. *Harzenmoser M. and Diener M.* Suitable filler material for welding high nitrogen stainless steels // *Proc. 18th Int. SAMPE Europe Conf. of the Society for the Advancement of Material and Process Engineering* (Paris, La Defense, 23–25 Apr., 1997). – P. 123–133.

11. *Recent developments on the weldability of a new high nitrogen stainless steel* / M. Harzenmoser, C. Rennhard, M. Hereth, M. Diener // High Nitrogen Steels, HNS-98, Proc. of the 5th Int. Conf. on High Nitrogen Steels (Finland, Espoo, 24–26 May, Sweden, Stockholm, 27–28 May, 1998), Helsinki University of Technology Swedish Institute for Materials Research. – P. 591–596.
12. *Corrosion-mechanical fracture of welded constructions* / V. I. Pokhmurskii, R. K. Melekhov, G. M. Krytsan, and V. G. Zdanovskii. – Kiev, Naukova dumka, 1995. – 260 p.
13. *Rashev T.* High nitrogen steels. Metallurgy under pressure. – Sofia: Publishing house of the Bulgarian Academy of Sciences, 1995. – 253 p.
14. *Balitskii A. I.* Increasing of Exploitation Characteristic of High-Nitrogen Cr–Mn Steels / High Nitrogen Steels. – Institute of Metallurgy, Swiss Federal Institute of Technology, ETH. – 2003. – VDF Hochschulverlag AG an der ETH Zurich. – P. 323–331.
15. *Harzenmoser M.* Review “Welding of High Nitrogen Steels” // Materials and Manufacturing Processes. – 2004. – 19, № 1. – P. 75–86.
16. *Holmberg B.* Progress on welding of high nitrogen alloyed of austenitic stainless steels (2001) IIW dokument IX-2004-01. – 11 p.
17. *Vaiciulis D. and Brazenas A.* Strength and low cycle fatigue of mechanically heterogeneous welded joints with ring cross-section and real V-single butt weld subjected to tension (compression) // Strength, durability and stability of materials and structures, Proc. of the 3rd Int. Conf. (Lithuania, Klaipeda University, 17–19 September, 2003). – Kaunas: Technologija. – P. 306–316.
18. *Balitskii A. I.* Modern Materials for Powerful Turbogenerators. – Lviv: National Academy of Sciences of Ukraine, Karpenko Physico-Mechanical Institute. – 1999. – 284 p.

**МЕХАНІКА
РУЙНУВАННЯ МАТЕРІАЛІВ
І МІЦНІСТЬ КОНСТРУКЦІЙ**

**FRACTURE MECHANICS
OF MATERIALS AND
STRUCTURAL INTEGRITY**

МЕХАНІКА РУЙНУВАННЯ МАТЕРІАЛІВ І МІЦНІСТЬ КОНСТРУКЦІЙ

FRACTURE MECHANICS OF MATERIALS AND STRUCTURAL INTEGRITY

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ім. Г. В. КАРПЕНКА

МЕХАНІКА РУЙНУВАННЯ МАТЕРІАЛІВ І МІЦНІСТЬ КОНСТРУКЦІЙ

Під загальною редакцією
академіка НАН України В. В. Панасюка

Львів-2004

ББК 30 121

М 55

УДК 539.43:620

Механіка руйнування матеріалів і міцність конструкцій / Під заг. ред. В. В. Панасюка – Львів: Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України, 2004. – 912 с.

У збірнику вміщено вибрані праці, присвячені таким проблемам: механіці і механізмам процесів руйнування матеріалів, зокрема зародженню і росту тріщини; впливу виду навантаження, температури, середовища, мікроструктури, технології зварювання на руйнування матеріалу та його довговічність; методам експериментальних досліджень та неруйнівним методам контролю; числовим методам і статистичному аналізу в механіці руйнування; методам діагностики та регенерації конструкцій тривалої експлуатації.

Збірник розрахований на спеціалістів з проблем механіки та фізики міцності матеріалів і конструкцій, інженерно-технічних працівників, що зайняті експлуатацією машин і споруд енергетики, транспорту, авіаційної та космічної техніки, нафто- та газопроводів тощо. Він буде корисним також викладачам вузів, аспірантам, студентам, які спеціалізуються в галузі матеріалознавства, механіки деформівного твердого тіла, будівництва інженерних споруд і машин.

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

Головний редактор академік НАН України **В. В. Панасюк**

Заступники головного редактора: академік НАН України **Л. М. Лобанов**,

чл.-кор. НАН України **І. М. Дмитрах**

Відповідальний секретар д.т.н. **О. З. Студент**

Члени колегії: академіки НАН України **М. В. Новіков**, **І. К. Походня**, **В. Т. Троценко**; чл.-кореспонденти НАН України: **Г. С. Кім**, **З. Т. Назарчук**, **В. І. Похмурський**, **С. О. Фірстов**; чл.-кореспондент РАН **М. А. Махутов**; професори: **Р. Акід** (Великобританія), **В. В. Божидарнік**, **В. Каспиак** (Польща), **В. А. Осадчук**, **О. П. Остап**, **Г. Плювінаж** (Франція), **Ю. К. Рудавський**, **М. П. Саврук**, **З. А. Стоцько**, **Г. Т. Сулим**, **Л. Тот** (Угорщина) **М. Шапер** (Німеччина) **П. В. Ясній**; доктори наук: **Р. М. Кушнір**, **М. Шата** (Польща); кандидати технічних наук: **О. Д. Зинюк**, **Б. І. Кіндрацький**, **С. Я. Ярема**.

Затверджено до друку вченою радою Фізико-механічного інституту
ім. Г. В. Карпенка НАН України

NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF UKRAINE

KARPENKO PHYSICO-MECHANICAL INSTITUTE

FRACTURE MECHANICS OF MATERIALS AND STRUCTURAL INTEGRITY

Editor

Academician of NASU V. V. Panasyuk

Lviv-2004

Fracture Mechanics of Materials and Structural Integrity / Editor V. V. Panasyuk. – Lviv: Karpenko Physico-mechanical institute, 2004. – 912 p.

The selected papers on the problems of mechanics and mechanisms of materials fracture processes, in particular crack initiation and growth; influence of loading type, temperature, environment, microstructure, welding technology on the processes of materials fracture and durability; methods of experimental investigations and non-destructive testing; numerical methods and statistical analysis in fracture mechanics; methods of diagnosis and regeneration of ageing structures used for long-term operation, are proposed in this book.

This book is intended for the specialists in the field of fracture mechanics and physics of materials and structural integrity, engineers and technicians, maintaining the work of transport, power generating equipment, aviation and space technique, oil and gas pipelines, etc. It will be useful as well for lecturers of high schools, post-graduate students, who's speciality are materials science mechanics of deformable solid, engineering structures construction.

EDITORIAL BOARD

Editor-in-Chief Academician of NASU **V. V. Panasyuk**,

Deputy-editors: Academician of NASU **L. M. Lobanov**,

Corresponding Member of NASU **I. M. Dmytrakh**

Executive Secretary Dr.Sci. **O. Z. Student**

Co-editors: Academicians of NASU **M. V. Novikov**, **I. K. Pokhodnya**, **V. T. Troshchenko**; Corresponding Members of NASU **H. S. Kit**, **Z. T. Nazarchuk**, **V. I. Pokhmurskyi**, **O. S. Firstov**; Corresponding Member of RAS **H. A. Makhutov**; Professors: **Z. Akid** (Great Britain), **V. V. Bozhydarnik**, **W. Kasprzak** (Poland), **V. A. Osadchuk**, **O. P. Ostash**, **G. Pluvimage** (France), **Yu. K. Rudavskiy**, **M. P. Savruk**, **Z. A. Stotsko**, **H. T. Sulym**, **M. Schaper** (Germany), **L. Tóth** (Hungary), **P. V. Yasnij**; Dr.Sci.: **R. M. Kushnir**, **M. Szata** (Poland); Ph.D.: **B. I. Kindratskyi**, **O. D. Zynyuk**, **S. Ya. Yarema**.

Approved for publication by the Scientific Council of Karpenko Physico-Mechanical Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine

- Khazin H.* 79
Khodan' I. 715
Kholomeiev G. 665
Khoma M. 623
Khvorost V. 113
Khyzhnyak V. 589
Kipnis L. 79
Kit H. 43, 225
Kit M. 521
Kochmanski P. 647
Kolasiński Z. 201
Kolesnikow V. 647
Konstantynova T. 825
Korol' V. 589
Kosa P. 839, 843
Kostiv R. 697
Kostyuk I. 647
Koval' P. 539
Kozak O. 557
Krasovskiy A. 377
Kravets' V. 181, 249
Krechkovska H. 813
Krynychnyi P. 499
Kryvyi O. 127
Kryzhanivskiy Ye. 419
Kulak L. 831
Kulyk V. 691
Kulynych Ya. 155
Kun' P. 653
Kunets Ya. 237
Kurzydłowski K. 477, 483
Kushnir R. 43, 281
Kuzio I. 879
Kyr'yan V. 351, 575
Kyrychenko V. 505
Kyrylenko S. 819
Lavreniuk M. 317
Lavreniuk V. 317
Lavrynenko S. 659
Lepikhin A. 433, 569
Levus A. 107
Lewandowski D. 83, 679
Lobanov L. 351
Lototskyi Yu. 527, 539
Luchko Yo. 755
Luzhetskyy V. 563
Lytvyn O. 133
Makhorkin I. 231
Makhutov N. 361
Makoviichuk M. 293
Manaj W. 477
Marchenko H. 107
Markov A. 813
Martyniak R. 139
Marukha V. 489
Maruschak P. 617
Matchynski M. 139
Matus V. 237
Matvisiv O. 255
Matysiak H. 477, 483
Mazurak L. 219
Mazyr V. 831
Mieczkowski G. 325
Mirsalimov V. 51
Mitiaiev O. 629
Moiseienok O. 143
Mol'kov Yu. 697
Molski K. 325
Moskvichev V. 433, 569
Mutwil K. 395
Myhalchuk V. 533
Mykhailyshyn V. 403
Nazarchuk Z. 403
Nekludov I. 665
Nikitiuk V. 557
Nowak W. 395
Nykolyshyn M. 149
Nykyforchyn H. 633, 771, 777
Okhota G. 733
Okrajni J. 395
Olczyk S. 201
Olesiak Z. 871
Onyshko L. 101, 271
Onystchak Ya. 515
Opanasovych V. 213
Orynyak I. 377
Osadchuk V. 439
Ostaf V. 647
Ostash O. 457, 691, 749, 831
Osyechko A. 261
Panasyuk V. 11, 861
Paustovskyi O. 819
Perepichka V. 293
Petel'guzov I. 659
Pidhurskyi M. 287
Pinyak I. 159
Pluvinage G. 65
Poberezhnyi L. 419
Podkhoretski A. 101
Pohreliuk I. 685
Pokhmurskyi V. 623
Pokmurska H. 807
Polianski Yu. 95, 793
Popov P. 187, 121, 133, 143
Porokhovskiy V. 237, 439
Prokopovych I. 167
Pylypenko A. 787
Raiter P. 499
Revenko V. 173
Riazanov S. 629
Ripey I. 515
Riumshina T. 825
Robak G. 305
Rostun M. 149
Rozgoniuk V. 377
Rudavskyi D. 95
Rybak T. 287
Sadivskyi V. 219
Saienko S. 665
Savchenko V. 659
Savruk M. 27, 249, 255, 261
Schaper M. 593
Sen'kiv L. 167
Senyuk M. 271, 219

СПИСОК АВТОРІВ

- Адамашек К. 669, 673
 Адіб Х. 65
 Ажажа В. 659
 Ажажа Ж. 665
 Азарі З. 89
 Акід Р. 599
 Акімов І. 691
 Андрейків О. 95, 207, 521, 527, 533, 545, 793
 Андрейко І. 691
 Артим В. 557
 Архипенко К. 127
 Бабій Л. 813
 Бакай А. 659
 Балицький О. 515, 647
 Банахевич Ю. 439
 Баран С. 305
 Бассараб А. 745
 Безлюдько Г. 749
 Бергнер Ф. 593
 Бережницька М. 819
 Бережницький Л. 219
 Білий Л. 515
 Бобров Ю. 659
 Богданов В. 193
 Божидарнік В. 101, 213, 219
 Бойко В. 703, 715
 Боровецькі Б. 767
 Вайнман А. 445
 Варколі Л. 425
 Василів Б. 831
 Вахоніна Л. 121
 Вейжановські Т. 483
 Верещака С. 113
 Верне К. 201
 Витвицький В. 801
 Вісванатан Р. 515
 Волкова Г. 825
 Волошин В. 745
 Волчок І. 629, 691
 Вольдемаров О. 749
 Вухерер Т. 761
 Габелков С. 665
 Гаденин М. 361
 Галазюк В. 341
 Гаммер Р. 593
 Гасяк Г. 305
 Гвоздюк М. 207
 Гвоздюк М. 855
 Гембара О. 207, 545, 551, 855
 Генега Б. 489, 771
 Герасимчук П. 213
 Глазов А. 243
 Гліха В. 761
 Гонзалес Дж. 599
 Гончар Х. 139
 Горбачевський І. 275
 Горик О. 505
 Горинін І. 413
 Грабовський Р. 563
 Гудрамович В. 583
 Дарчук О. 311
 Дацишин О. 107, 243
 Делявський М. 101
 Дзіоба І. 509
 Дінер М. 647
 Дітзель В. 771
 Дмитрах І. 465
 Драгілев А. 439
 Дудик М. 79
 Дурагіна З. 739
 Енгель З. 885
 Загурські А. 477, 483
 Захарчук В. 777
 Зєнтек Г. 83
 Іваницький Я. 521, 641, 653, 697, 715, 723, 819, 855
 Івасишин А. 831
 Івасів В. 557
 Іваськевич Л. 801
 Івашко Т. 739
 Кав'як П. 515
 Кадиев Р. 51
 Калахан О. 733
 Калета Я. 83, 679
 Каліта В. 807
 Карзов Г. 413
 Карпаш О. 499
 Кир'ян В. 351, 575
 Кириленко С. 819
 Кириченко В. 505
 Кінніс Л. 79
 Кім Г. 43, 225
 Кім М. 521
 Коваль П. 539
 Козак О. 557
 Колесніков В. 647
 Колясінські З. 201
 Константинова Т. 825
 Король В. 589
 Коса П. 839, 843
 Костів Р. 697
 Костюк І. 647
 Кохманські П. 647
 Кравець В. 181, 249
 Красовський А. 377
 Кречковська Г. 813
 Кривий О. 127
 Крижанівський Є. 419
 Криничний П. 499
 Кузидловські К. 477, 483
 Кузьо І. 879
 Кулак Л. 831
 Кулик В. 691
 Кулинич Я. 155
 Кунець Я. 237
 Кунь П. 653
 Кушнір Р. 43, 281

<i>Firstov S.</i> New generation of titanium-based materials.....	609
<i>Yasnij P., Maruschak P.</i> The influence of endurance time on high-temperature fatigue crack growth resistance of bimaterial.....	617
<i>Pokhmurskyi V., Khoma M.</i> Development of the assessment methods for corrosion fatigue damage of stainless steels.....	623
<i>Volchok I., Mitiaiev O., Riazanov S.</i> Low-cycle fatigue of secondary aluminium alloys.....	629
<i>Nykyforchyn H., Student O.</i> Assessment of high-temperature hydrogen degradation of steels of power and petroleum-chemical equipment by the methods of fracture mechanics.....	633
<i>Ivanytskyi Ya.</i> Assessment of materials fatigue fracture at biaxial loading.....	641
<i>Balitskii A., Diener M., Harzenmoser M., Kostyuk I., Kochmanski P., Kolesnikow V., Ostaf V.</i> Crack resistance of high-nitrogen Cr-Mn austenitic steels welded joints.....	647
<i>Ivanytskyi Ya., Kun' P.</i> Fatigue crack growth under block loading.....	653
<i>Azhazha V., Bakai A., Bobrov Yu., Lavrynenko S., Petel'guzov I., Savchenko V.</i> Investigation of corrosion resistance and mechanical properties of heat-resistant and heat-proof nickel alloy.....	659
<i>Azhazha Zh., Gabelkov S., Nekludov I., Saienko S., Kholomeiev G.</i> Model description of corrosion process in composite materials used for spent nuclear fuel encapsulation.....	665
<i>Adamaszek K., Jurasz Z.</i> The influence of superficial ceramics layers on durability of engine valves annealed at high-temperatures in air.....	669
<i>Jurasz Z., Adamaszek K.</i> Activation energy and rate of oxidation of high chromium valve steels at high-temperatures.....	673
<i>Kaleta J., Lewandowski D.</i> Damping in selected magnetorheological composites under cyclic loading.....	679
<i>Fedirko V., Pohreliuk I.</i> Serviceability of titanium alloy after surface strengthening.....	685
<i>Andreiko I., Volchok I., Ostash O., Akimov I., Kulyk V.</i> The strength and fatigue crack growth resistance of lowalloyed graphitic steels.....	691
<i>Ivanytskyi Ya., Shtaiura S., Kostiv R., Mol'kov Yu.</i> Assessment of crack growth resistance of materials under biaxial loading.....	697
<i>Boiko V.</i> Impact bend of beam specimen with the asymmetrically placed crack.....	703
<i>Khodan' I., Boiko V., Ivanytskyi Ya.</i> Methodical instructions. Determination of crack growth resistance characteristics of metals under dynamic loading (mode I).....	715
<i>Ivanytskyi Ya., Shtaiura S.</i> Methodical directions. Determination of metal crack growth resistance under complex stress (mode I + mode II, mode I + mode III).....	723

<i>Хижняк В., Король В.</i> Структура и характеристики прочности карбидных покрытий на углеродистых сталях.....	589
МЕТОДИ ВИЗНЕЧЕННЯ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРІАЛІВ	591
<i>Шанер М., Jurisch М., Bergner F., Hammer R.</i> Визначення механічної міцності руйнування GaAs та Si пластин.....	593
<i>Акід Р., Гонзалес Дж.</i> Визначення переходу корозійний пітинг-втомна тріщина з використанням електрохімічного сканівного методу	599
<i>Фірстов С.</i> Нове покоління матеріалів на базі титану	609
<i>Ясній П., Марущак П.</i> Вплив часу витримки на високотемпературну циклічну тріщиностійкість біматеріалу	617
<i>Похмурський В., Хома М.</i> Розробка методів оцінки корозійно-втомного пошкодження нержавіючих сталей.....	623
<i>Волчок І., Мітяєв О., Рязанов С.</i> Малоциклова втома вторинних алюмінієвих сплавів	629
<i>Никифорчин Г., Студент О.</i> Оцінка методами механіки руйнування високотемпературної водневої деградації сталей енергетичного та нафтохімічного обладнання	633
<i>Іваницький Я.</i> Оцінка втомного руйнування матеріалів за двовісного навантаження.....	641
<i>Балицький О., Дінер М., Харзенмосер М., Костюк І., Кохманьські П., Колесніков В., Остаф В.</i> Тріщиностійкість зварних з'єднань високоазотних Cr-Mn аустенітних сталей	647
<i>Іваницький Я., Кунь П.</i> Ріст втомної тріщини в умовах блочного навантаження.....	653
<i>Ажажа В., Бакай А., Бобров Ю., Лавриненко С., Петельгузов И., Савченко В.</i> Исследование коррозионной стойкости и механических свойств жаростойкого и жаропрочного никелевого сплава	659
<i>Ажажа Ж., Габелков С., Неклюдов И., Саенко С., Холомесв Г.</i> Модельное описание процесса коррозии в композиционных материалах, предназначенных для капсулирования отработавшего ядерного топлива.....	665
<i>Адамашек К., Юраш З.</i> Вплив поверхневих керамічних шарів на довговічність високовідпущених на повітрі клапанів двигуна.....	669
<i>Юраш З., Адамашек К.</i> Енергія активації та швидкість окислення високохромистих сталей для клапанів за високих температур	673
<i>Калета Я., Левандовські Д.</i> Демпфірування в деяких магнито-реологічних композитах під час циклічного навантаження	679
<i>Федірко В., Погрелюк І.</i> Роботоздатність титанових сплавів після поверхневого зміцнення	685

Balitskii A., Diener M., Harzenmoser M., Kostyuk I, Kochmanski P., Kolesnikov V., Ostaf V. Crack resistance of high-nitrogen Cr–Mn Austenitic steels welded joints // Механіка руйнування матеріалів і міцність конструкцій / Під заг. ред. В. В. Панасюка.– Львів: Фізико–механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України.- 2004. – С. 647 – 652.

https://kolesnikov.ucoz.com/load/crack_resistance_of_high_nitrogen_cr_mn_austenitic_steels_welded_joints/1-1-0-289