

## АНОТАЦІЯ

*Ілляшенко Є.В.* Гібридне зварювання сталей з використанням плазмової дуги та випромінювання волоконного лазера. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 132 Матеріалознавство. – Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ – 2023.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню науково-технічної задачі дослідження особливостей процесу гібридного лазерно-плазмового зварювання сталей з використанням волоконного джерела лазерного випромінювання. Впливу його застосування на проявлення синергетичного ефекту та ефективність процесу зварювання. А також особливостей структуроутворення, зміни механічних властивостей зварних з'єднань та характеру напружено-деформованого стану. В роботі проведено експериментальні дослідження особливостей передачі енергії при лазерно-плазмовому зварюванні з використанням волоконного лазерного випромінювання на основі чого розвинено уявлення про механізм утворення синергетичного ефекту у випадку використання волоконного лазера. Виконано мікроструктурні дослідження та проведено порівняльний аналіз результатів з особливостями структури при лазерному та плазмовому зварюванні. Експериментально-дослідними методами визначено характер залишкового напруженого стану в зварних з'єднаннях. А також розроблено наукові засади для розробки та виготовлення промислово-дослідних зразків обладнання для лазерно-плазмового зварювання на базі проведених технологічних експериментів.

**Об'єкт дослідження** - спільна дія випромінювання волоконного лазера і плазмової дуги та технологічні процеси лазерно-плазмового зварювання низьковуглецевих низьколегованих та нержавіючих сталей.

**Предмет дослідження** – формування зварного з'єднання при застосуванні гібридного лазерно-плазмового процесу.

**Мета роботи** – дослідження спільного впливу випромінювання волоконного лазера і плазмової дуги на ефективність передачі тепла від джерела енергії, особливості структуро-утворення зварних швів, особливості формування та розподілу напружено-деформованого стану та визначення фізико-механічних властивостей отриманих зварних з'єднань і розробка на їх основі базових технологічних прийомів лазерно-плазмового зварювання, та обладнання для їх реалізації.

**До наукової новизни** відносяться наступні положення:

1. Вперше встановлено, що в процесі зварювання нелегованих і легуваних (нержавіючих) сталей при використанні плазмової дуги і випромінювання волоконного лазера, в порівнянні із плазмовим зварюванням, має місце зростання напруги на дузі на величину 1-3 В, а також збільшення поглинутої металом енергії на 6% відносно суми окремої дії складових, при цьому спостерігається збільшення в 2,06-2,25 рази площі поперечного перерізу провару порівняно із сумою площ перерізів лазерного і плазмового проварів, а також підвищення глибини проплавлення на 20-30% відносно лазерного зварювання.

2. Отримало подальший розвиток уявлення про вплив типу лазерного випромінювання на ефективність процесу гібридного лазерно-плазмового зварювання, а саме показано, що використання випромінювання волоконного лазера при потужності лазера і плазми по ~2 кВт глибина провару нержавіючої сталі збільшується, порівняно із застосуванням діодного лазера – на 60%, Nd:YAG-лазера – на 30%, CO<sub>2</sub>-лазера – на 40%.

3. Отримало подальший розвиток уявлення про особливості формування структури зварних з'єднань, отриманих з використанням волоконного лазера, а саме – на прикладі нержавіючої сталі показано, що при гібридному лазерно-плазмовому зварюванні в металі шва, по лінії сплавлення і в зоні термічного впливу формується зеренна структура, близька до

лазерного зварювання із розмірами в 2-3 рази меншими, ніж при плазмовому зварюванні, при цьому для гібридного процесу в зварному шві спостерігається видовження зерен (в  $\sim 1,7$  раз) та підвищення мікротвердості (на 20...40%) порівняно із лазерним зварюванням.

4. Одержало подальший розвиток уявлення про структуроутворення при гібридному лазерно-плазмовому зварюванні нержавіючої сталі, зокрема виявлено формування субзеренної структури в зварному шві з розмірами субзерен меншими порівняно із лазерним (в 1,6 разів) та плазмовим (в 2 рази) зварюванням, при цьому у всіх зонах зварного з'єднання, отриманого лазерно-плазмовим способом, спостерігається формування безградієнтних комірчастих структур переважно рівноосної форми, а при лазерному зварюванні в металі шва формуються субструктури подовженої форми.

Отримало подальший розвиток уявлення про особливості протікання термодформаційних процесів при формуванні зварних швів із використанням концентрованих джерел енергії, а саме встановлено, що в стикових з'єднаннях із нержавіючої сталі товщиною 2 мм характер розподілу напружень при лазерно-плазмовому зварюванні близький до розподілу при лазерному зварюванні, при цьому пікові значення напружень сконцентровані зоні термічного впливу і в більшій мірі залежать від погонних енергій зварювання, ніж від максимальної температури нагріву зварювальної ванни.

#### **Практичне значення отриманих результатів.**

Виявлені в роботі особливості та закономірності лазерно-плазмового зварювання дозволили розширити уявлення про процес гібридного зварювання і на основі цього розробити рекомендації по проектуванню зварювальних головок та плазмотронів для лазерно-плазмових процесів та передового зварювального обладнання, розробити та оптимізувати технологічні параметри лазерно-плазмового зварювання сталей. За результатами роботи оптимізовано технології лазерно-плазмового зварювання низьковуглецевих низьколегованих та нержавіючих сталей товщиною 2-6 мм

за критерієм якісного формування швів при мінімальному вкладанні погонної енергії.

Було розроблено технологічні прийоми гібридного лазерно-плазмового зварювання, які дозволяють отримувати зварні з'єднання з нержавіючих сталей в діапазоні 2...6 мм, з міцністю до 97% від міцності основного металу.

Розроблено технологію двостороннього лазерно-плазмового зварювання сталі AISI 304 товщиною 10 мм в інтервалі потужності лазерного випромінювання до 2 кВт.

Модернізовано та розроблено нові дослідно-промислові конструкції плазмотронів для гібридного-лазерно плазмового зварювання сталей.

Розроблено два зразка дослідно-промислових установок блочно-модульного типу для автоматичного гібридного лазерно-плазмового зварювання, які в залежності від потреб виробництва, можуть базуватися на зварювальних маніпуляторах та антропоморфних роботах.

**У першому розділі** проведено критичний аналіз сучасного стану лазерних, плазмових та гібридних технологій. За результатами огляду поточного стану об'єму дослідження лазерно-плазмових процесів сформульована мета і завдання дисертаційної роботи.

**У другому розділі** приведено опис обраних методик для дослідження процесів зварювання та ефективності передачі енергії при поєднанні лазерного випромінювання з плазмовою дугою. Вказані матеріали, що застосовувалися під час досліджень. Приведено опис обраного лабораторного зварювального обладнання; методик для дослідження мікроструктури, механічних властивостей, термічних циклів при зварюванні, методики прогнозування напружено-деформованого стану та верифікації отриманих результатів.

**У третьому розділі** проведено експериментальну оцінку ефективності процесу лазерно-плазмового зварювання з використанням волоконного джерела випромінювання, з точки зору ефективності передачі енергії від джерела нагріву. На основі чого, отримано подальший розвиток уявлень про механізм протікання гібридного процесу при використанні волоконного

лазерного випромінювання. Висвітлено головні відмінності у проявленні синергетичного ефекту при зварюванні нержавіючих сталей різних товщин з використанням волоконного лазера. А також, розглянуто ефективність застосування різних типів джерел лазерного випромінювання в процесі гібридного лазерно-плазмового зварювання.

**Четвертий розділ** присвячено дослідженню впливу умов лазерно-плазмового зварювання на структуру і властивості зварних з'єднань зі сталей. Визначено особливості формування мікроструктури та субструктури зварних швів їх вплив на розподіли мікротвердості та характер руйнування і показники механічних характеристик зварних з'єднань. Проведено порівняльний аналіз для трьох технологій: гібридного, лазерного та плазмового зварювання. Виконано моделювання методом скінченних елементів показників залишкового напружено-деформованого стану та порівняно розрахункові результати з даними отримані експериментальним методом вимірювання.

**У п'ятому розділі**, приведено опис технологічних особливостей лазерно-плазмового зварювання та розробленої технології двостороннього гібридного зварювання нержавіючої сталі товщиною 10 мм, та виявлені закономірності під час виконання технологічних експериментів. Оцінено можливість застосування лазерно-плазмового процесу в режимі різання, та висвітлено основні складнощі для його реалізації. Наведено базові технологічні прийоми лазерно-плазмового зварювання та розробки дослідно промислового обладнання для лазерно-плазмового зварювання з використанням різних потужностей лазерних та плазмових джерел.

**Ключові слова:** зварювальна дуга, лазерне випромінювання, плазма, гібрид, сталь, зварні з'єднання, термічний цикл, зона термічного впливу, мікроструктура, залишкові напруження, механічні властивості.

## ABSTRACT

*Ye. Illiashenko.* Hybrid welding of steels using plasma arc and fiber laser radiation. – Qualifying scientific work on manuscript rights.

Dissertation for obtaining the scientific degree of Doctor of Philosophy in the specialty 132 Materials Science. - E.O. Paton Paton Electric Welding Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, 2023.

The dissertation is devoted to solving the scientific and technical problem of researching the peculiarities of the process of hybrid laser-plasma welding of steels using a fiber source of laser radiation. The influence of its application on the manifestation of the synergistic effect and the efficiency of the welding process. And also, features of structural formation, changes in the mechanical properties of welded joints and the nature of the stress-strain state. In the work, experimental studies of the features of energy transfer during hybrid welding using fiber laser radiation were carried out, on the basis of which an idea about the mechanism of the formation of a synergistic effect in the case of using a fiber laser, was developed. Microstructural researches and a comparative analysis of the results with structural features during laser and plasma welding was carried out. The nature of the residual stress state in welded joints is determined by experimental methods. Also, scientific principles for the development and production of industrial-research of equipment for laser-plasma welding have been developed on the basis of technological experiments.

**Object of research** - joint action of fiber laser radiation and plasma arc and technological processes of laser-plasma welding of low-carbon, low-alloy and stainless steels.

**Subject of research** – formation of a welded joint during a hybrid laser-plasma process.

**The purpose of the work** – research of the joint effect of fiber laser radiation and plasma arc on the efficiency of heat transfer from the energy source, features of the structure and formation of welds, features of the formation and distribution of the stress-strain state and determination of the physical and mechanical properties of

the welded joints and the development of basic technological methods of laser-plasma welding based on them, and equipment for their implementation.

**Scientific novelty** includes the following provisions:

1. It was established for the first time that in the process of welding unalloyed and alloyed (stainless) steels when using a plasma arc and fiber laser radiation, in comparison with plasma welding, there is an increase in the arc voltage by 1-3 V, as well as an increase in the energy absorbed by the metal by 6 % relative to the sum of the individual actions of the components, while an increase in the cross-sectional area of the weld by 2.06-2.25 times is observed compared to the sum of the cross-sectional areas of laser and plasma welds, as well as an increase in the depth of penetration by 20-30% compared to laser welding.

2. The idea of the influence of the type of laser radiation on the efficiency of the hybrid laser-plasma welding process was further developed, namely, it was shown that the use of fiber laser radiation at a laser and plasma power of ~2 kW increases the depth of penetration of stainless steel, compared to the use of a diode laser, by 60 %, Nd:YAG laser – by 30%, CO2 laser – by 40%.

3. The idea of the peculiarities of the formation of the structure of welded joints obtained using a fiber laser received further development, namely, on the example of stainless steel, it was shown that during hybrid laser-plasma welding in the weld metal, along the fusion line and in the thermally affected zone, a grain structure is formed, close to laser welding with dimensions 2-3 times smaller than in plasma welding, while for the hybrid process in the weld there is an elongation of the grains (by ~1.7 times) and an increase in microhardness (by 20...40%) compared to laser welding.

4. The idea of structure formation during hybrid laser-plasma welding of stainless steel was further developed, in particular, the formation of a sub-granular structure in the weld with sub-grain sizes smaller compared to laser (by 1.6 times) and plasma (by 2 times) welding was revealed, while in all in the zones of the welded joint obtained by the laser-plasma method, the formation of gradient-free cellular

structures of mostly equiaxed shape is observed, and during laser welding, elongated substructures are formed in the weld metal.

5. The idea of the peculiarities of thermo-deformation processes during the formation of welds with the use of concentrated energy sources was further developed, namely, it was established that in butt joints made of stainless steel with a thickness of 2 mm, the nature of the distribution of stresses during laser-plasma welding is close to the distribution during laser welding, at the same time, the peak stress values are concentrated in the heat affected zone and depend to a greater extent on the linear welding energies than on the maximum heating temperature of the welding bath.

#### **Practical significance of the obtained results.**

The features and regularities of laser-plasma welding revealed in the work made it possible to expand the understanding of the hybrid welding process and, based on this, to develop recommendations for the design of welding heads and plasma torches for laser-plasma processes and advanced welding equipment, to develop and optimize the technological parameters of laser-plasma welding of steels. According to the results of the work, the technology of laser-plasma welding of low-carbon, low-alloy and stainless steels with a thickness of 2-6 mm was optimized according to the criterion of high-quality formation of seams with minimal input of linear energy.

Technological methods of hybrid laser-plasma welding were developed, which allow to obtain welded joints from stainless steels in the range of 2...6 mm, with a strength of up to 97% of the strength of the base metal.

The technology of double-sided laser-plasma welding of AISI 304 steel with a thickness of 10 mm in the range of laser radiation power up to 2 kW has been developed.

New research and industrial designs of plasma torches for hybrid-laser plasma welding of steels have been modernized and developed.



Two samples of experimental and industrial plants of the block-module type for automatic hybrid laser-plasma welding have been developed, which, depending on production needs, can be based on welding manipulators and anthropomorphic robots.

**In the first chapter**, a critical analysis of the current state of laser, plasma and hybrid technologies is carried out. According to the results of the review of the current state of the volume of research of laser-plasma processes, the goal and objectives of the dissertation work are formulated.

**The second chapter** provides a description of selected methods for researching welding processes and the efficiency of energy transfer when combining laser radiation with a plasma arc. The materials used during the research are specified. A description of the selected laboratory welding equipment is given; methods for investigations the microstructure, mechanical properties, thermal cycles during welding, methods for predicting the stress-strain state and verification of the obtained results.

**In the third chapter**, an experimental evaluation of the efficiency of the laser-plasma welding process using a fiber source of radiation was carried out, from the point of view of the efficiency of energy transfer from the heating source. On the basis of this, the further development of ideas about the mechanism of the hybrid process when using fiber laser radiation was obtained. The main differences in the manifestation of the synergistic effect when welding stainless steels of different thicknesses using a fiber laser are highlighted. Also, the efficiency of using different types of laser radiation sources in the process of hybrid laser-plasma welding is considered.

**The fourth chapter** is devoted to the research of the influence of laser-plasma welding conditions on the structure and properties of welded joints. The peculiarities of the formation of the microstructure and substructure of welds, their influence on the distribution of microhardness and the nature of destruction, and indicators of the mechanical characteristics of welded joints are determined. A comparative analysis was carried out for three technologies: hybrid, laser and plasma welding. Simulation

of residual stress-strain state indicators was performed using the finite element method, and the calculated results were compared with the data obtained by the experimental measurement method.

**In the fifth chapter,** there is a description of the technological features of laser-plasma welding and the developed technology of two-sided hybrid welding of stainless steel with a thickness of 10 mm, and the revealed regularities during the execution of technological experiments. The possibility of using the laser-plasma process in the cutting mode is evaluated, and the main difficulties for its implementation are highlighted. The basic technological methods of laser-plasma welding and the development of experimental industrial equipment for laser-plasma welding using different powers of laser and plasma sources are presented.

**Keywords:** welding arc, laser radiation, plasma, hybrid, steel, welded joints, thermal cycle, heat affected zone, microstructure, residual stresses, mechanical properties.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

*Статті у науково періодичних виданнях, що входять до наукометричної бази даних Scopus:*

1. Forecasting the results of hybrid laser-plasma cutting of carbon steel/ Korzhyk V., Khaskin V., Perepychay A., **Illiashenko. E.**, Peleshenko S.// Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, № 21 (104), 2020. – P. 6-14.

DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.199830>

2. Comparison of the features of the formation of joints of aluminum alloy 7075 (Al-Zn-Mg-Cu) by laser, microplasma, and laser - microplasma welding/ Volodymyr Korzhyk, Vladyslav Khaskin, Andrii Grynyuk, Sviatoslav Peleshenko, Viktor Kvasnytskyi, Nataliia Fialko, Olena Berdnikova, **Illiashenko Yevhenii**, Volodymyr Shcheretskiy, Yuhui Yao // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, №12 (115), 2022, - P. 38-47. DOI: [10.15587/1729-4061.2022.253378](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.253378)

3. An Approach to Calculate Features of Laser Radiation Absorption in Beryllium and Aluminum Alloys for Smart Welding Processes/ V. Korzhyk, V. Khaskin, S. Peleshenko, V. Shcheretskiy, **Illiashenko Yevhenii**// International Conference on Smart Technologies in Urban Engineering (STUE-2022), Kharkiv, Ukraine, June 9-11, 2022.

4. Features of structure formation when surfacing steel (iron) on titanium with plasma sprayed coatings in the technology of obtaining butt joint of bimetallic plates “titanium – steel”/ Volodymyr Korzhyk, Vladyslav Khaskin, Oleg Ganushchak, Dmytro Strohonov, **Yevhenii Illiashenko**, Chunfu Guo, Andrii Grynyuk, Sviatoslav Peleshenko, Andrii Aloshyn//Eastern-European Journal of Enterprise Technologies № 2/12 (122), 2023 – P. 6-16. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.275510>

*Статті у наукових фахових виданнях України:*

5. Підвищення ефективності лазерного зварювання шляхом зворотнопоступального переміщення фокуса/ В.Ю. Хаскін, В.М. Коржик, Ch. Dong, **Є.В. Ілляшенко**// Автоматичне зварювання №1, 2020 – Р. 57-63. DOI: <https://doi.org/10.37434/as2020.01.08>

6. Особливості прояву синергетичного ефекту при лазерно-плазмовому зварюванні сталі SUS304 з використанням випромінювання дискового лазера/ В.Ю. Хаскін, В.М. Коржик, А.В. Бернацький, А.М. Войтенко, **Є.В. Ілляшенко**, Д. Cai// Журнал «Автоматичне зварювання», № 4, 2020, – Р. 29-33. DOI: <https://doi.org/10.37434/as2020.04.04>

7. Підвищення ефективності роботизованого виготовлення сталевих фермових зварних конструкцій/Коржик В.М., Гринюк А.А., Хаскін В.Ю., **Ілляшенко Є.В.**, Клочков І.М., Ганущак О.В., Yu Xuefen, Liuyi Huang// Журнал «Автоматичне зварювання», № 5, 2021, – Р. 15-20. DOI: <https://doi.org/10.37434/as2021.05.02>

8. Особливості лазерно-плазмового зварювання корозійностійкої сталі AISI 304 з використанням лазера/ В.М. Коржик, В.Ю. Хаскін, А.А. Гринюк, **Є.В. Ілляшенко**, А.В. Бернацький, С.І. Пелешенко// Журнал «Автоматичне зварювання», № 12, 2021, – Р. 18-26. DOI: <https://doi.org/10.37434/as2021.12.02>

9. Вибір параметрів лазерного зварювання тонкостінних виробів із легких сплавів з ненаскрізним проплавленням/ В.М. Коржик, В.Ю. Хаскін, С.І. Пелешенко, А.А. Гринюк, Dong Chunlin, **Є.В. Ілляшенко**, Yao Yuhui// Журнал «Автоматичне зварювання», №5, 2022 – Р. 22-32. DOI: <https://doi.org/10.37434/as2022.05.04>

10. Technological processes of welding high precision thin-walled products from aluminum alloys using a laser heating source/ Korzhyk Volodymyr, Peleshenko Sviatoslav, Kvasnytskyi Viktor, Khaskin Vladyslav, **Ilyashenko Yevhenii**, Lepilina Kseniya, Aloshyn Andrii.// Міжнародний науковий журнал «Інтернаука» International Scientific Journal «Internauka» № 12 (131), 2022 – P. 47-54. DOI: <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2022-12>

*Статті у науково періодичних виданнях інших держав:*

11. Laser cutting of thin sheet carbon steel for automotive industry/Khaskin V., Korzhyk V., Han S., Luo Z., Cai D., **Ilyashenko E.** // Colloquium-journal №8 (32), 2019 – P. 54-59.

12. Analysis of the main mechanisms and regularities of the synergistic effect in hybrid laser-arc processes/Krivtsun I., Khaskin V., Korzhyk V., **Ilyashenko E.**, Dong Chunlin, Luo Ziyi.//Colloquium-journal №18 (42), 2019 – P. 10-21. DOI: [10.24411/2520-6990-2019-10596](https://doi.org/10.24411/2520-6990-2019-10596)

13. Development of technological equipment for welding high-precision thin-walled products from aluminum alloys using a laser heating source/ Korzhyk V., Kvasnytskyi V., Peleshenko Sv., Khaskin V., **Ilyashenko Ye.**, Lepilina K., Aloshyn A., Aloshyn A.// Norwegian Journal of development of the International Science №95, 2022 – P. 73-77. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.7258962>

14. Features of physical and metallurgical processes during welding of thin-walled aluminum alloy structures using laser radiation/Peleshenko S., Kvasnytskyi V., Khaskin V., Korzhyk V., **Ilyashenko Ye.**, Lepilina K., Aloshyn A.//Danish scientific journal №65/2022 – P. 50-59. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7271299>

15. Equipment for plasma-arc and hybrid welding, 3d printing and coating technologies/Strohonov D., **Ilyashenko Y.**, Voytenko O., Skachkov I., Korzhyk V., Khaskin V., Aloshyn A., Ganushchak O., Peleshenko S., Dolyanivska O.//Science of the Europe № 112, 2023 – P. 56-62. DOI: 10.5281/zenodo.7708524

*Патенти:*

16. Спосіб багатопрохідного лазерно-дугового зварювання/ Коржик В.М., Хаскін В.Ю., Пелешенко С. І., **Ілляшенко Є.В.** // Патент України на корисну модель UA 139275 від 26.12.2019.

17. Спосіб одержання тривимірних металевих фермових виробів/ Коржик В.М., Хаскін В.Ю., Пелешенко С. І., **Ілляшенко Є.В.** // Патент України на винахід UA 127109 від 26.04.2023.

*Матеріали, що засвідчують апробацію дисертації:*

18. Гибридная лазерно-микро-плазменная сварка нержавеющей сталей/ Кривцун И.В., Коржик В.Н., Хаскин В.Ю., Ло З., **Илляшенко Е.В.** // IX Міжнародна конференція Променеві технології в зварюванні і обробці матеріалів, 2019, – Р. 49-55.

19. Повышение эффективности лазерных сварочных процессов путем сканирования фокуса излучения/ Хаскин В.Ю., Коржик В.Н., Донг Ч **Илляшенко Е.В.** / IX Міжнародна конференція Променеві технології в зварюванні і обробці матеріалів, 2019, – Р. 103-109.

20. Устранение хампинг-эффекта при лазерно-дуговой сварке сталей повышенной прочности / Хаскин В.Ю., Коржик В.Н., Цай Д., Хан Ш. **Илляшенко Е.В.** // IX Міжнародна конференція Променеві технології в зварюванні і обробці матеріалів, 2019, – Р. 110-114.

21. Creation of scientific foundations and development of hybrid welding processes with the use of laser radiation /I. Krivtsun, V. Korzhyk, Feng Changgen, V. Khaskin, S. Peleshenko, **E. Ilyashenko** // Proceedings of Papers From the 394th Young Scientists Forum of China Association for Science and Technology “Application and Innovation of Modern Welding Technology”, October 20-21, 2020, Hangzhou, China – Р. 340-355.

22. Розробка підходів до створення плазмотронів для гібридного лазерно-плазмового різання/ **Ілляшенко Є.В.**, Коржик В.М., Гринюк А.А., Хаскін В.Ю., Гос І.Д., Бабич О.А., Попов Є.В. // Міжнародна конференція

«Інноваційні технології та інжиніринг у зварюванні» КПІ імені Ігоря Сікорського», 2021 – Р. 33-38.

23. Optimization of laser and hybrid laser-GMAW welding of high-strength steels by strength characteristics / Korzhyk V., Khaskin V., Grynyuk A., Babych O., **Iliashenko Ye.**, Oleinychenko T., Ganushchak O., Popov Ye. // The 11th International scientific and practical conference “European scientific discussions”, 2021 – Р. 61-63.

24. Дослідження процесу лазерного зварювання тонколистових високоміцних алюмінієвих сплавів / Коржик В.М., Хаскін В.Ю., Гринюк А.А., **Ілляшенко Є.В.**, Пелешенко С.І., Квасницький В.В., Щерецький В.О. // X Міжнародна конференція Променеві технології в зварюванні і обробці матеріалів, 2021, – Р. 18-19.

25. Особливості формоутворення зварних швів при лазерно-плазмовому зварюванні / Коржик В.М. Хаскін В.Ю. Гринюк А.А. **Ілляшенко Є.В.**, Строгонов Д.В. Гос І.Д. // X Міжнародна конференція Променеві технології в зварюванні і обробці матеріалів, 2021– Р. 19-20.

26. Application of laser recovery surface / Korzhyk V., Khaskin V., Grynyuk A., Peleshenko S., Babych O., **Iliashenko Ye.**, Oleinychenko T., Ganushchak O., Popov Ye. // The 3 rd International scientific and practical conference — Topical issues of modern science, society and education. Kharkiv, Ukraine, 2021, – Р. 229-232.

27. Achievements of the E.O. Paton Electric Welding Institute in the field of welding thin sheet alloys for automotive applications / Korzhyk V., Khaskin V., Grynyuk A., Peleshenko S., **Iliashenko Ye.**, Shcheretskiy V., Ganushchak O. // The 5th International scientific and practical conference “Modern scientific research: achievements, innovations and development prospects”, MDPC Publishing, Berlin, Germany, 2021 – Р. 167-174.

28. Estimation of influence of duration of current flow at direct and inverse polarity on quality of formation and geometrical parameters of seams / Korzhyk V., Grynyuk A., Khaskin V., Peleshenko S., Shcheretskiy V., Hos I., **Iliashenko Ye.**,

Voitenko O., Konoreva O. // The 6th International scientific and practical conference “Science, innovations and education: problems and prospects” (January 13-15, 2022) CPN Publishing Group, Tokyo, Japan, 2022 – P. 185-190.

29. Development of equipment for research of hybrid laser-arc welding processes of pipe steel/Korzhyk V., Khaskin V., Peleshenko S., Grynyuk A., Dong Chunlin, **Ilyashenko Y.** // The 10th International scientific and practical conference “Modern science: innovations and prospects” (June 25-27, 2022) SSPG Publish, Stockholm, Sweden, 2022, – P. 94-98.

30. Laser welding of thin-sheet stainless steel joints with variable size of gap between cracks / Korzhyk V., Khaskin V., Chunlin Dong, **Ilyashenko Y.**, Peleshenko S., Grynyuk A., Yuhui Yao, Al’oshin A., Al’oshin A.A. // SCIENTIFIC COLLECTION «INTERCONF», ENERGETICS, №118. - P. 292-297.

31. Одержання тонколистових конструкцій зі сталей та алюмінієвих сплавів лазерним зварюванням із супутнім плазмовим підігрівом / Коржик В.М., Хаскін В.Ю., Гринюк А.А., Пелешенко С.І., Ілляшенко С.В., Тунік А.Ю., Альошин А.О.// Зварювання та технічна діагностика для відновлення економіки України, 2022. – P. 40.

32. Development of plasma-arc welding, 3d printing and coating technologies for the construction and development of the industry of Ukraine / **Ilyashenko Yevhenii**, Voytenko Oleksandr, Strogonov Dmytryi, Skachkov Ihor, Korzhyk Volodymyr // The 8th International scientific and practical conference “Trends, theories and ways of improving science” (February 28 – March 03, 2023) Madrid, Spain. International Science Group, 2023 – P. 484-488.