

АНОТАЦІЯ

Колісник Р.В. Металеві та композиційні закладні нагрівальні елементи для зварювання термопластичних полімерів. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 132 «Матеріалознавство» (13 – Механічна інженерія). – Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України. – Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ, 2021.

Дослідження присвячено розробці закладних нагрівальних елементів (ЗНЕ) та параметрів режимів зварювання для покращення з'єднання між закладними нагрівальними елементами та поверхнями полімерних матеріалів з кінцевою метою підвищення механічної міцності зварних з'єднань. В роботі для вирішення поставленої науково-технічної задачі проведено модифікацію поверхні типових закладних нагрівальних елементів з корозійностійкої сталі та титану методом мікроплазмового напилення такими матеріалами як ніхром, титан, молібден і сталь 65Г та розроблено новітні закладні нагрівальні елементи на основі електропровідних полімерних композитів, з використанням яких отримані стикові та напусткові зварні з'єднання з міцністю на рівні, відповідно, 95...98% та 100% міцності основного матеріалу.

Зварювання закладним нагрівальним елементом (ЗНЕ) використовується, в першу чергу, для з'єднання деталей складної конфігурації в авіакосмічній, автомобіле- та суднобудівній галузях промисловості. При цьому нагрівальний елемент залишається в зварному з'єднанні. У зв'язку з тим, що його структура і властивості відрізняються від основного матеріалу деталей, адгезія між ними низька, а експлуатація в умовах циклічних температурно-силових навантажень може призвести до руйнування зварних з'єднань. Тому, актуальним залишається питання підвищення міцності зварних з'єднань шляхом покращення адгезії між закладним нагрівальним елементом і полімерним матеріалом деталей в зварному з'єднанні. В той же час, іншим шляхом вирішення зазначеної проблеми може бути використання

нагрівальних елементів, які за своїми властивостями максимально близькі до основного полімерного матеріалу деталей. У зв'язку з цим актуальним є створення і дослідження електропровідних полімерних композитів на основі полімеру, з якого виготовлено деталі, що зварюються, та їх використання як закладних нагрівальних елементів для зварювання.

Метою роботи є оптимізація властивостей металевих і розробка композиційних закладних нагрівальних елементів, вивчення закономірностей впливу їх типу та режимів зварювання на механічну міцність зварних з'єднань термопластичних полімерів.

Об'єктом дослідження є закономірності впливу типу та структури закладних нагрівальних елементів з корозійностійкої сталі, титану та електропровідних полімерних композитів, а також величини питомої потужності процесу зварювання на формування та якість зварних з'єднань термопластів.

Предметом дослідження є закладні нагрівальні елементи з корозійностійкої сталі, титану та електропровідних полімерних композитів, а також зварні з'єднання термопластів, сформовані з їх використанням.

Наукова новизна одержаних результатів. У роботі проведені комплексні дослідження для підвищення механічної міцності зварних з'єднань термопластичних полімерів з використанням різних типів закладних нагрівальних елементів та параметрів режиму зварювання. До новизни дослідження можна віднести такі положення:

1. Вперше розвинуті уявлення щодо впливу модифікації поверхні закладних нагрівальних елементів з сіток із корозійностійкої сталі і титану та виявлено залежність між матеріалом покриття, морфологією поверхні і режимом зварювання та міцністю зварних з'єднань термопластичних полімерів.

2. Вперше визначено, що модифікація ніхромом поверхні закладного нагрівального елемента з сітки із корозійностійкої сталі за питомої потужності процесу зварювання $60\text{...}100 \text{ Вт/см}^2$ і часу зварювання $150\text{...}60$ секунд,

забезпечує приріст міцності зварних з'єднань на 10..13%, відносно відповідних сіток з немодифікованими поверхнями, завдяки збільшенню питомої площі контакту між полімером і нагрівальним елементом і покращенню адгезії між ними.

3. Вперше виявлено закономірності впливу вмісту та характеру розподілу наповнювачів в полімерних композитах для їх використання як закладних нагрівальних елементів при зварюванні термопластичних полімерних матеріалів і встановлено, що закладні нагрівальні елементи на основі полімерних композитів «поліетилен високої густини / вуглецева сажа» з вмістом сажі 30 % від об'єму забезпечують найбільш рівномірний розігрів по площі і найменший вплив ефекту позитивного температурного коефіцієнту опору в порівнянні з композитами «поліетилен високої густини / вуглецеве волокно» і «поліетилен високої густини / вуглецева сажа / вуглецеве волокно», що пов'язано з впорядкованим розподілом електропровідної фази наповнювача - сажі ньому.

4. Вперше встановлено, що режими зварювання з параметрами: час зварювання 120 с, еквівалентній електричній потужності процесу зварювання полімерним композитним закладним нагрівальним елементом в межах 20...30 Вт/см² і притискного зварювального зусилля 1 МПа забезпечують утворення стикового та напусткового зварних з'єднань з міцністю на рівні 98% та 100% відносно міцності основного матеріалу.

Практичне значення отриманих результатів. Підвищена ефективність металевої сітки як закладного нагрівального елемента та визначена перспектива використання полімерних композитів як нагрівальних елементів для зварювання пластмасових деталей. Розроблено технологічні рекомендації щодо зварювання інженерних та високотехнологічних пластмас з використанням закладного нагрівального елемента як на основі металевої сітки з модифікованою поверхнею, так і на основі полімерного композиту, достовірність яких перевірено при зварюванні ряду конструкцій з інженерних та високотехнологічних пластмас і успішно апробовано на ДП «КБ «Антонов»

та ДП «КБ «Південне» ім. М.К.Янгеля». Технологічні рекомендації використано як базу для укладання договору про спільні науково-дослідні роботи з міжнародною корпорацією «AliAXIS» (Бельгія).

Характеристика роботи. У вступі висвітлено стан прикладних проблем, які виникають при зварюванні закладним нагрівальним елементом і обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету та задачі дослідження, висвітлено наукову новизну та практичне значення одержаних результатів. Представлено інформацію про зв'язок роботи з науковими темами та апробацію результатів дисертації, наведено публікації автора, в яких викладено основний зміст дисертаційної роботи.

У розділі 1 проаналізовано існуючі джерела, що висвітлюють сучасний стан досліджень зварювання закладним нагрівальним елементом. Визначено, що внаслідок низької адгезії між закладним нагрівальним елементом і полімером відбувається погіршення міцності зварних з'єднань термопластів. Розглянуто перспективу використання модифікованих металевих та електропровідних полімерних композитів як закладних нагрівальних елементів для зварювання в різних галузях промисловості.

У розділі 2 наведені відомості про матеріали та методи досліджень, які використовувалися в процесі виконання дисертаційної роботи.

У розділі 3 розглядається питання покращення адгезії між полімером і ЗНЕ у вигляді металевих сіток з корозійностійкої сталі і титану шляхом модифікації їх поверхні різними покриттями для підвищення площі контакту зчеплення. Проаналізовано вплив покриття на теплопередачу в зварному з'єднанні. Визначено вплив параметрів режиму зварювання і типу покриття на механічні властивості зварних з'єднань.

У розділі 4 представлено результати по формуванню і дослідженню структури і теплофізичних властивостей полімерних композитів з різним типом вуглецевого наповнювача, а також визначенню складу композиту, який забезпечує найефективніше перетворення електричної енергії в теплову та забезпечує рівномірність їх нагріву. Проведено електричні вимірювання для

визначення нагрівальних властивостей на постійному і змінному струмі. Визначено вплив концентрації наповнювача на термостабільність композитів і температуру фазових переходів.

У розділі 5 наведені результати практичного використання розроблених полімерних композитів як закладних нагрівальних елементів для зварювання стикових і напусткових зварних з'єднань з поліетилену. Визначені такі параметри режиму зварювання як потужність і час процесу зварювання, при яких відбувається розплавлення деталей в зоні контакту і формування зварного з'єднання. Проаналізовано вплив цих параметрів на міцність зварних з'єднань і розроблено технологічні рекомендації щодо зварювання стикових і напусткових зварних з'єднань.

Ключові слова: полімерні композити, вуглецеві наповнювачі, нагрівальні властивості, зварювання закладним нагрівальним елементом, міцність зварних з'єднань, нагрівальні елементи з модифікованою поверхнею.

ANNOTATION

Kolisnyk R. Metal and composite embedded heating elements for welding of thermoplastic polymers. - Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

The dissertation on competition of a scientific degree of the doctor of philosophy on a specialty 132 "Material sciences" (13 - Mechanical engineering). – E. O. Paton Electric Welding Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine. - E. O. Paton Electric Welding Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, 2021.

The research is devoted to the development of embedded heating elements (EHE) and welding parameters to improve the bonding between the heating element and the surfaces of polymeric materials with the ultimate goal of increasing the mechanical strength of the welded joints. In the work to solve the scientific and technological task was carried out modification of the surface of typical embedded heating elements of stainless steel and titanium by microplasma spraying such materials as nichrome, titanium, molybdenum, and steel 65G and developed innovative embedded heating elements based on electrically conductive polymer composites that provide formation of butt and overlap joints with a strength level of, respectively, 95 ... 98% and 100% strength of the base material.

Welding with an embedded welding element (WEHE) is primarily used for joining parts of complex configurations in the aerospace, automotive, and shipbuilding industries. In this case, the embedded heating element remains in the welded joint. Due to the fact that its structure and properties differ from the basic material of parts, the adhesion between them is low, and the operation under conditions of cyclic temperature-force conditions may lead to failure of the welded joints. Therefore, the relevance of increasing the strength of welded joints by improving the adhesion between embedded heating element and polymeric material of parts in the welded joint is still relevant. At the same time, another way of solving the mentioned problem could be the use of embedded heating element, which is as close as possible to the basic polymeric material of the parts by their properties. In this regard, it is relevant to create and investigate electrically conductive polymeric

composites based on the polymer from which the parts to be welded are made and to use them as embedded heating elements for welding.

The aim of the work is the optimization of the properties of metal and the development of composite embedded heating elements and to study of patterns of influence of their type and welding modes on the mechanical strength of welded joints of thermoplastic polymers.

The object of the study is the laws of influence of the type and structure of embedded heating elements made of stainless steel, titanium, and electrically conductive polymer composites, as well as the value of the specific power of the welding process on the formation and quality of welded thermoplastics.

The subject of the study is embedded heating elements made of stainless steel, titanium, and electrically conductive polymer composites, as well as welded joints of thermoplastics formed with their use.

The scientific novelty of the obtained results. The work includes complex studies to increase the mechanical strength of welded joints of thermoplastic polymers using different types of embedded heating elements and parameters of the welding mode. The novelty of the study includes the following provisions:

1. Ideas about the influence of surface modification of embedded heating elements made of stainless steel and titanium was developed and the dependence between coating material, surface morphology, and welding mode, and strength of welded bonds of thermoplastic polymers was revealed.

2. It was found that nichrome modification of the surface of the stainless steel mesh heating element with the welding process power of 60 ... 100 W/cm² and the welding time of 150 ... 60 seconds ensures the increase of weld joint strength by 10 ... 13%, relative to the corresponding meshes with unmodified surfaces, due to an increase of the area of contact between the polymer and the heating element and the improvement of adhesion between them.

3. For the first time the regularities of influence of content and character of distribution of fillers in polymeric composites for their use as embedded heating elements at welding of thermoplastic polymeric materials are revealed and it is

established that embedded heating elements on the basis of polymeric composites "high-density polyethylene/carbon black" with carbon black content 30% from the volume provide the most uniform heating in the area and the least impact of the effect of a positive temperature coefficient of resistance in comparison with composites "high-density polyethylene/carbon fiber" and "high-density polyethylene/carbon black/carbon fiber", which is associated with orderly distribution of electrically conductive phase of the filler – carbon black in it.

4. For the first time, it is established that welding modes with parameters: welding time of 120 s, equivalent electric power of welding process by polymer composite embedded heating element within 20... 30 W/cm², and clamping welding force of 1 MPa provide formation of butt and overlap welds with strength at the level of 98% and 100% relative to the strength of the base material.

The practical significance of the results. The efficiency of metal mesh as a embedded heating element is increased and the prospect of using polymer composites as heating elements for welding plastic parts is determined. Technological recommendations for welding of engineering and high-tech plastics with the use of embedded heating element both on the basis of a metal mesh with a modified surface and on the basis of a polymer composite have been developed, the reliability of which was tested during welding of a number of engineering and high-tech plastics at SE "Antonov" and Yuzhnoye State Design Office. The prospects of their large-scale use are shown. The technological recommendations were used as a basis for concluding an agreement on joint research with the international corporation "AliAXIS" (Belgium).

Characteristics of work. The introduction highlights the state of applied problems that arise during welding of the embedded heating element and substantiates the relevance of the topic, formulates the purpose and objectives of the study, highlights the scientific novelty and practical significance of the results. The information on connection of work with scientific themes and approbation of results of the dissertation is presented, publications of the author in which the basic maintenance of the dissertation work is stated are presented.

Section 1 analyzes the existing sources that highlight the current state of research on welding with embedded heating element. It is determined that due to the low adhesion between the embedded heating element and the polymer, the strength of the welded joints of thermoplastics disimproves. The prospect of using modified metal and electrically conductive polymer composites as embedded heating elements for welding in various industries is considered.

Section 2 provides information about the materials and research methods used in the process of dissertation work.

Section 3 discusses the issue of improving the adhesion between the polymer and embedded heating element in the form of metal mesh made of stainless steel and titanium by modifying their surface with different coatings to increase the contact area of adhesion. The influence of the coating on the heat transfer in the welded joint is analyzed. The influence of welding mode parameters and coating type on the mechanical properties of welded joints is determined.

Section 4 presents the results on the formation and study of the structure and thermophysical properties of polymer composites with different types of carbon filler, as well as determining the composition of the composite, which provides the most efficient conversion of electrical energy into heat and ensures uniform heating. Electrical measurements were performed to determine the heating properties at DC and AC. The influence of filler concentration on the thermal stability of composites and temperature of phase transitions is determined.

Section 5 presents the results of the research on the use of polymer composites as embedded heating element for welding butt and lap welds made of polyethylene. The parameters of the welding mode are defined as the power and time of the welding process, at which the parts in the contact zone melt and the weld is formed. The influence of these parameters on the strength of welded joints is analyzed and technological recommendations for welding butt and lap welds are developed.

Keywords: polymer composites, carbon fillers, heating properties, welding with embedded heating element, strength of welded joints, heating elements with modified surface.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА:

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. **Kolisnyk R.** Development of heating elements based on conductive polymer composites for electrofusion welding of plastics / **R. Kolisnyk**, M. Korab, M. Iurzhenko, O. Masiuchok, Y. Mamunya // *J. Appl. Polym. Sci.* – 2021. – Vol. 138, I. 20. – Art. No. 50418. (*Журнал входить до міжнародної наукометричної бази даних SCOPUS, Q1*)

<https://doi.org/10.1002/app.50418>

2. **Kolisnyk R.** Conductive polymer nanocomposites for novel heating elements / **R. Kolisnyk**, M. Korab, M. Iurzhenko, O. Masiuchok, A. Shadrin, Ye. Mamunya, S. Pruvost, V. Demchenko// *Lecture Notes in Mechanical Engineering. Advances in Thin Films, Nanostructured Materials, and Coatings.* – Singapore: Springer Nature : 2019. – P. 215-224. (*Видання входить до міжнародної наукометричної бази даних SCOPUS*)

https://doi.org/10.1007/978-981-13-6133-3_22

3. Iurzhenko M. Welding and welded joints of the heat-resistant plastics / M. Iurzhenko, V. Demchenko, M. Korab, A. Galchun, V. Kondratenko, V. Anistratenko, Yu. Litvinenko, **R. Kolisnyk** // *IEEE Applied Physics and Engineering.* – 2017. – IEEE Catalog Number: CFP17YSF-ART, ISBN: 978-1-5386-2994-9. – P. 163-166. (*Видання входить до міжнародної наукометричної бази даних SCOPUS*)

<https://doi.org/10.1109/YSF.2017.8126610>

4. **Колесник Р.В.** Моделирование термомеханических процессов при сварке закладным элементом высокотехнологичных пластмасс / **Р.В. Колесник**, М.В. Юрженко, Н.Г. Кораб, А.А. Шадрин, Ю.В. Литвиненко // *Автоматическая сварка.* – 2017. – № 10. – С. 35-42.

<https://doi.org/10.15407/as2017.10.04>

Kolisnyk R.V. Modeling thermomechanical processes in welding high-tech plastics with embedded element / **R.V. Kolisnyk**, M. Yurzhenko, N.G. Korab, A.A. Shadrin, Yu.V. Litvinenko / TPWJ. – 2017. – № 10. – P. 24-30.

<https://doi.org/10.15407/tpwj2017.10.04>

(Журнал включено до переліку наукових фахових видань ВАК)

5. Юрженко М.В. Зварювання термопластичних полімерних композитів в авіаційній промисловості (огляд) / М.В. Юрженко, М.Г. Кораб, **Р.В. Колісник**, О.П. Масючок, А.В. Андреев, В.С. Петропольський // *Автоматичне зварювання*. – 2020. – №4. – С. 34-40.

<https://doi.org/10.37434/as2020.04.05>

Iurzhenko M.V. Welding of thermoplastic polymer composites in the aircraft industry (Review) / M.V. Iurzhenko, M.V. Korab, **R.V. Kolisnyk**, O.P. Masiuchok, A.S. Andreev, V.S. Petropolsky // TPWJ. – 2020. - № 4. – P. 30-35.

<https://doi.org/10.37434/tpwj2020.04.05>

(Журнал включено до переліку наукових фахових видань ВАК)

6. Масючок О.П. Адитивні технології полімерних матеріалів (Огляд) / О.П. Масючок, М.В. Юрженко, **Р.В. Колісник**, М.Г. Кораб // *Автоматичне зварювання*. – 2020. – № 5. – С. 53-60.

<https://doi.org/10.37434/as2020.05.08>

Masiouchok O.P. Additive technologies of polymer materials (Review) / O.P. Masiouchok, M.V. Iurzhenko, R.V. Kolisnyk, M.G. Korab // TPWJ. – 2020. – № 5. – P. 49-55.

<https://doi.org/10.37434/tpwj2020.05.08>

(Журнал включено до переліку наукових фахових видань ВАК)

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

1. **Колісник Р.В.** Вплив матеріалу покриття поверхні нагрівального елемента на механічні властивості зварних з'єднань з інженерних і високотехнологічних полімерів при зварюванні закладним нагрівальним елементом / **Колісник Р.В.**, Юрженко М.В., Кораб М.Г // Міжнародної

конференції Інноваційні технології та інжиніринг у зварюванні PolyWeld – 2021, 27-28 травня 2021 р, м. Київ, Україна, С.55. *(Форма участі – очна)*

2. **Колесник Р.В.** Полимерные композиты для сварки закладным нагревательным элементом изделий из пластмасс сложной геометрической формы. / **Колесник Р.В.** // Сьома Міжнародна конференція «Космічні технології: сучасне та майбутнє», 21-24 травня 2019 р, ДП «КБ «Південне», м. Дніпро, Україна, С.85 (С. 167). *(Форма участі – очна)*

3. **Колісник Р.В.** Полімерні композиційні матеріали для зварювання закладним нагрівальним елементом конструкцій з пластмас / **Р.В. Колісник, М.В. Юрженко, М.Г. Кораб, О.П. Масючок, Є.О. Буйнова** // Конференції молодих вчених "Сучасне матеріалознавство: фізика, хімія, технології" (СМФХТ-2019), 27-31 травня 2019 р, смт. Чинадієво, Україна, С. 77. *(Форма участі – очна)*

4. **Kolisnyk R.** Heating elements based on conductive and nonconductive polymer nanocomposites. / **R. Kolisnyk, M. Korab, M. Iurzhenko, O. Masiuchok, Ye. Mamunya** // The International Conference «Welding and Related Technologies — Present and Future», 5 - 6 December, 2018, Kyiv, Ukraine, P. 121. *(Форма участі – очна)*

5. **Колісник Р.В.** Нагрівальні елементи на основі провідних і непровідних композитів. / **Колісник Р.В., Юрженко М.В., Кораб М.Г.** // Тези доповідей II Міжнародна науково-практична конференція «Розвиток інноваційної діяльності в галузі технічних та фізико-математичних наук», 13-15 вересня, 2018, Миколаїв, Україна, С. 36. *(Форма участі – очна)*

6. **Kolisnyk R.** Novel heating elements based on conductive polymer nanocomposites. / **R. Kolisnyk, M. Korab, M. Iurzhenko, O. Masiuchok, Ye. Mamunya, S. Pruvost** // Proceedings of the 2018 IEEE 8th International Conference on Nanomaterials: Applications & Properties (NAP-2018), 2018, September 9-14. Vol. 1, pp. 01SPN31-1-5. *(Форма участі – очна)*

7. Masiuchok O. Electroactive polymer nanocomposites for additive technologies. / O.Masiuchok, M.Iurzhenko, Ye.Mamunya, **R.Kolisnyk** //

Proceedings of the 2018 IEEE 8th International Conference on Nanomaterials: Applications & Properties (NAP-2018), 2018, September 9-14. Vol. 3 pp. 03TFNMC19. *(Форма участі – очна)*

8. Masyuchok O. Conductive thermoplastic polymer filament for 3D printing / O. Masyuchok, M. Iurzhenko, Ye. Mamunya, **R. Kolisnyk**, S. Pruvost // Abstract book, The 4th IIW young professionals international conference YPIC2018, 29 - 31, August 2018, Metz, France, P. 23 *(Форма участі – очна)*

9. Masiuchok O. Filament based on functional polymer nanocomposite for additive technologies. / O. Masiuchok, M. Iurzhenko, **R. Kolisnyk**, Ye. Mamunya // Abstract book, International research and practice conference: Nanotechnology and nanomaterials (NANO-2018), 27-30 August 2018, Kyiv, Ukraine, P. 338. *(Форма участі – очна)*

10. **Kolisnyk R.** Polymer nanocomposites filled with metal particles for novel heating elements for induction welding of plastics. / **R. Kolisnyk**, M. Iurzhenko, M. Korab, Ye. Mamunya // Abstract book, International research and practice conference: Nanotechnology and nanomaterials (NANO-2018), 27-30 August 2018, Kyiv, Ukraine, P. 303. *(Форма участі – очна)*

11. **Колісник Р.В.** Моделювання впливу теплової енергії на термодформаційні процеси при терморезисторному зварюванні високотехнологічних полімерів для авіакосмічної промисловості. / **Р.В. Колісник**, М.В. Юрженко // Науково-практична конференція «Аерокосмічні технології в Україні: проблеми та перспективи», 4 жовтня 2017 р., с. Новосілки, Україна, С. 42. *(Форма участі – очна)*

12. **Колісник Р.В.** Новітні закладні нагрівальні елементи на основі полімерних композитів для терморезисторного зварювання виробів з пластмас складної геометричної форми. / **Р.В. Колісник**, М.В. Юрженко // Науково-практична конференція «Аерокосмічні технології в Україні: проблеми та перспективи», 4 жовтня 2017 р., с. Новосілки, Україна, С. 57. *(Форма участі – очна)*

13. **Kolisnyk R.** Novel heating element based on polymer nanocomposites for resistance welding of plastics. / **R. Kolisnyk**, M. Iurzhenko, Ye. Mamunya, M. Korab // Abstract book, V International research and practice conference: Nanotechnology and nanomaterials (NANO-2017), 23-26 August 2017, Chernivtsi, Ukraine, P. 83. (*Форма участі – очна*)

14. **Kolisnyk R.** Simulation of thermal energy influence on thermal and strain processes in high-tech polymers during resistance welding. / **R. Kolisnyk**, M. Iurzhenko, M. Korab, V. Kondratenko, V. Anistratenko, M. Menzheres // 9th International conference of young scientists on welding and related technologies, May 23 – 26, 2017, Kyiv, Ukraine, P. 60 (*Форма участі – очна*)

15. **Kolisnyk R.** Novel heating element based on polymer nanocomposites for resistance welding of plastics / **R. Kolisnyk**, M. Iurzhenko, Ye. Mamunya, M. Korab, // 9th International conference of young scientists on welding and related technologies, May 23 – 26, 2017, Kyiv, Ukraine, P. 208 (*Форма участі – очна*)

16. **Колісник Р.В.** Моделиювання впливу теплової енергії на термічні і деформаційні процеси при терморезисторному зварюванні високотехнологічних полімерів / **Р.В. Колісник**, М.В. Юрженко, М.Г. Кораб, К.О. Зворикін // Міжнародна науково-практична конференція «Розвиток інноваційної діяльності в галузі технічних та фізико-математичних наук», 22-24 вересня 2016 р., Миколаїв, Україна, С. 60 (*Форма участі – очна*)

17. **Колісник Р.В.** Вплив закладного елемента на міцнісні характеристики високотехнологічних полімерів при терморезисторному зварюванні. / **Р.В. Колісник**, К.О. Зворикін, М.В. Юрженко // Дев'ята всеукраїнська міжгалузева науково-технічна конференція студентів, аспірантів та наукових співробітників „Зварювання та споріднені процеси і технології”, 8-10 червня 2016, м. Київ, Україна, С. 14 (*Форма участі – очна*)