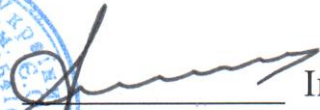


«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Директор ІЕЗ ім. Є.О. Патона
НАН України
академік НАН України




Ігор КРІВЦУН

«23» червня 2023 р.

ВИТЯГ

з протоколу засідання Інститутського семінару ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України від 21 червня 2023 р.

ПРИСУТНІ:

академік НАН України Лобанов Л.М., академік НАН України Ахонін С.В., чл.-кор. НАН України Шаповалов В.О., д.т.н. Березос В.О., д.т.н. Біктагіров Ф.К., д.т.н. Жерносеков А.М., д.т.н. Римар С.В., д.т.н. Максимова С.В., д.т.н. Фальченко Ю.В., д.т.н. Костін В.А., д.т.н. Червяков М.О., д.т.н. Хаскін В.Ю., д.т.н. Коротинський О.Є., к.т.н. А.В. Бернацький, к.т.н. В.Ю. Білоус, к.т.н. Северин А.Ю., к.т.н. Протоковілов І.В., к.т.н. Пікулін О.М., к.т.н. Селін Р.В., к.т.н. Шваб С.Л., к.т.н. Григоренко С.Г., к.т.н. Якуша В.В., к.т.н. Никитенко Ю.А., к.т.н. Ковальчук П.В., к.т.н. Воронов В.В., пров. інж. Дацюк І.І. — всього 24 особи.

СЛУХАЛИ:

1. Доповідь докторанта, с.н.с., заст. зав. відділом Білоуса Валерія Юрійовича за матеріалами докторської дисертації «Наукові основи аргонодугового та електронно-променевого зварювання перспективних високоміцних титанових сплавів».

Тема дисертаційної роботи була затверджена на засіданні вченої ради ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України (протокол №4 від 21 жовтня 2019).

2. Запитання до здобувача.

Запитання по темі дисертації ставили:

академік НАН України Лобанов Л.М., д.т.н. Римар С.В., д.т.н. Жерносеков А.М., д.т.н. Костін В.А., академік НАН України Ахонін С.В., к.т.н. Протоковілов І.В., д.т.н. Хаскін В.Ю., д.т.н. Червяков М.О., к.т.н. Григоренко С.Г., к.т.н. Бернацький А.В., чл.-кор. НАН України Шаповалов В.О.

3. Виступи за обговореною роботою.

В обговоренні дисертації взяли участь:

д.т.н. Костін В.А., д.т.н. Фальченко Ю.В., д.т.н. Червяков М.О., академік НАН України Ахонін С.В., д.т.н. Жерносеков А.М., академік НАН України Лобанов Л.М., д.т.н. Римар С.В.

УХВАЛИЛИ:

ПРИЙНЯТИ такий висновок за дисертаційною роботою

1. Дисертаційна робота докторанта заст. зав. відділом №30 Білоуса Валерія Юрійовича – «Наукові основи аргонодугового та електронно-променевого зварювання перспективних високоміцних титанових сплавів» є закінченою науково-дослідною роботою, яка виконувалась впродовж 2009–2023 рр. у відділі № 30 Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона НАНУ в рамках наукових програм «Дослідження зварюваності титанових сплавів з інтерметалідним зміцненням, вивчення особливостей формування структури, фазового складу та механічних властивостей з'єднань, розробка присадних зварювальних матеріалів» (№ ДР 0109U000982, 2009–2011 рр.); «Дослідити вплив термічного циклу зварювання на структурно-фазові перетворення на ЗТВ та властивості зварних з'єднань сучасних складнолегованих титанових сплавів та на цій основі удосконалити процеси зварювання та відновного наплавлення цих сплавів» (№ ДР 0112U000625, 2012–2014 рр.); «Дослідити закономірності процесів випаровування і теплопереносу під час електронно-променевої плавки складнолегованих псевдо- β -титанових сплавів та визначити особливості формування структури, фазового складу та механічних властивостей зварних з'єднань з цих сплавів» (№ ДР 0115U003142, 2015–2017 рр.); «Розробка технологічних основ виплавки методом електронно-променевої плавки конструкційних економнолегованих титанових сплавів та дослідження їх структури, механічних властивостей і здатності до зварювання» (№ ДР 0118U000182, 2018–2020 рр.); «Створити новий високоміцний титановий сплав конструкційного призначення, що добре зварюється, з межею міцності не менше 1200 МПа і розробити оптимальні методи його зварювання» (№ ДР 0112U000620, 2012–2016 рр.).

2. Найбільш вагомні результати роботи.

2.1. В результаті проведеної роботи для високоміцних титанових сплавів з $K_{\beta} = 0,7...1,7$ запропоновано методику визначення впливу аргонодугового зварювання на формування шва, що дозволяє визначити розміри зон, в яких протікають поліморфні перетворення з утворенням

метастабільних α' - α'' - та β -фаз , що дозволило встановити залежність залишкової кількості β -фази від швидкості охолодження та побудувати діаграми анізотермічних перетворень для псевдо- β -сплавів при охолодженні від температури плавлення до 20 °С із зазначенням ліній початку та кінця анізотермічних перетворень $\beta \rightarrow \alpha$ і $\beta \rightarrow \alpha''$.

2.2. Вперше для титанових псевдо- β -сплавів встановлено залежність межі міцності зварних з'єднань в діапазоні 860...960 МПа для сплаву Ti-5.5Mo-5.5Cr-3.5Fe-3Al-Zr (BT19) та 960...1070 МПа для економнолегованого сплаву Ti-2.8Al-5.1Mo-4.9Fe (LCB-5.1) від сумарного вмісту легуючих елементів метала шва.

2.3. В результаті проведеної роботи встановлено вплив попереднього підігріву при електронно-променевому зварюванні (ЕПЗ) та аргонодуговому зварюванні (АДЗ) на властивості зварних з'єднань псевдо- α титанового сплаву Ti-5.6Al-2.2Sn-3.5Zr-0.4Mo-1.0V-0.6Si з сіліцидним зміцненням та встановлено, що застосування попереднього підігріву з'єднань до 200 °С при ЕПЗ та 400 °С при АДЗ забезпечує міцність зварних з'єднань на рівні 1160...1190 МПа.

2.4. Показано, що попередній підігрів зварних з'єднань до температури 400 °С і локальна термічна обробка (ЛТО) при ЕПЗ псевдо- β -титанових сплавів дозволяє знизити вміст β -фази в металі шва сплаву BT19 з 91% до 53% і підвищити міцність зварних з'єднань з 876 МПа до 937 МПа, а для економнолегованого сплаву LCB-5.1 – знизити вміст β -фази до 72% і підвищити міцність зварних з'єднань з 960 МПа до 997 МПа і в результаті забезпечити рівномірність основному металу (ОМ) зварних з'єднань псевдо- β -титанових сплавів.

2.5. Вперше встановлено пропорційну залежність міцності з'єднань титанових псевдо- β -сплавів BT19 та економнолегованого сплаву LCB-5.1 від кількості β -фази в металі шва, $\sigma_b = 1460 - 6,4 \cdot [\beta, \%]$, МПа, згідно з якою мінімальні значення міцності $\sigma_b = 820$ МПа зварних з'єднань сплаву LCB-5.1 фіксуються при вмісті β -фази 99%, а максимальні $\sigma_b = 1236$ МПа – при вмісті β -фази 35%.

2.6. Встановлено залежності міцності зварних з'єднань високоміцних титанових сплавів T120, BT19, LCB-5.1 від погонної енергії АДЗ та показано, що АДЗ конструкційного ($\alpha + \beta$)-сплаву T120 доцільно виконувати на режимах зі значеннями погонної енергії в діапазоні 800...950 Дж/м, а псевдо β -сплавів BT19 та економнолегованого сплаву LCB-5.1 – з значеннями погонної енергії в діапазоні 700...800 Дж/м, що забезпечує формування в металі шва і ЗТВ сплавів BT19 та LCB-5.1 більш однорідної структури з меншою кількістю β -фази, та підвищення межі міцності зварних з'єднань до рівня ОМ.

2.7. Досліджено вплив чотирьох видів післязварювальної термічної обробки на властивості з'єднань псевдо- β -титанових сплавів, виконаних АДЗ та ЕПЗ. Найвищі значення міцності мають з'єднання, піддані гартуванню в воду з подальшим старінням, при цьому в металі шва і ЗТВ формується найбільш дрібнодисперсна структура, в якій розмір α -фази не

більше 1 мкм, а міцність з'єднань ЕПЗ сплаву VT19 на рівні 1270...1280 МПа, а для з'єднань сплаву LCB-5.1 – до 1204 МПа. Пічний відпал після зварювання при 750 °С дозволяє забезпечити міцність на рівні 100...115% від міцності сплаву в стані після прокату.

2.8. Запропоновано коефіцієнт якості для оцінки властивостей зварних з'єднань високоміцних титанових сплавів. Встановлено, що найбільший коефіцієнт якості для конструкційних псевдо- β -титанових сплавів VT19 та LCB-5.1 має АДЗ з подачею менш легованого присадного матеріалу та ЕПЗ економнолегованого псевдо- β -титанового сплаву LCB-5.1, яке передбачає застосування попереднього підігріву та ЛТО.

2.9. На підставі проведених досліджень встановлено комплекс технологічних прийомів і параметрів ЕПЗ з ЛТО та попереднім підігрівом, АДЗ, а також режими післязварювальної термічної обробки перспективних високоміцних псевдо- β -титанових сплавів, ($\alpha+\beta$)-титанового сплаву і дисперснозміцненого псевдо α -сплаву системи Ti-Al-Sn-Zr-Mo-V-Si, який забезпечує рівноміцність зварних з'єднань основному металу.

3. Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків та результатів що міститься в дисертації.

Рівень достовірності та обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, які сформульовані у дисертації, забезпечується використанням сучасних методів досліджень, обчислювальної техніки і програмного забезпечення, акредитованим випробувальним устаткуванням, статистично значимою кількістю лабораторних зразків, відповідністю аналітичних та експериментальних досліджень.

Основні положення і результати роботи представлені та обговорені на наукових конференціях і семінарах, в тому числі: на 6-й міжнародній конференції «*Математичне моделювання та інформаційні технології у зварюванні та споріднених процесах*», 29 травня-1 червня 2012 р. Кацівелі, Крим, Україна; на міжнародній конференції «*Титан-2013 в СНГ*», 26-29 травня 2013 р. Донецьк, Україна; на міжнародній конференції «*Зварювання та споріднені технології – сьогоднішня та майбутня*», 25-26 листопада 2013 р. Київ, Україна; 7-й міжнародній конференції «*Математичне моделювання та інформаційні технології у зварюванні та споріднених процесах*», 15-19 вересня 2014 р., Одеса, Україна; на VIII науково-технічній конференції молодих вчених та спеціалістів «*Зварювання та споріднені технології*», 20-22 травня, 2015, с.м.т. Ворзель, Київська обл., Україна; на IV міжнародній науково-практичній конференції «*Титан 2016: виробництво та використання в авіабудуванні*», 2016 р. Запоріжжя, Україна; на 8-й міжнародній конференції «*Математичне моделювання та інформаційні технології у зварюванні та споріднених процесах*», 15-19 вересня 2016 р. Одеса, Україна; на 8-й міжнародній конференції «*Променеві технології у зварюванні та обробці матеріалів*», 11-15 вересня 2017 р., Одеса, Україна; на міжнародній конференції «*Титан 2018: Виробництво та застосування в Україні*», 2018, Київ; на 8-й

міжнародній конференції «Математичне моделювання та інформаційні технології у зварюванні та споріднених процесах». 10-14 вересня 2018 р. Одеса, Україна; на ІХ міжнародній конференції «Променеві технології у зварюванні та обробці матеріалів», 9-13 вересня 2019 р., Одеса, Україна, на Х міжнародній конференції «Променеві технології в зварюванні і обробці матеріалів». 6-10 вересня 2021. м. Одеса, на науковій конференції «Зварювання та технічна діагностика для відновлення економіки України», 17 листопада 2022. Київ, Україна.

4. Наукова новизна отриманих результатів.

4.1. Вперше для перспективних високоміцних конструкційних псевдо- β -титанових сплавів Ti-5.5Mo-5.5Cr-3.5Fe-3Al-Zr (BT19), Ti-2.8Al-5.1Mo-4.9Fe (LCB-5.1) визначено залежність залишкової кількості β -фази від швидкості охолодження та побудовані відповідні діаграми анізотермічних перетворень $\beta \rightarrow \alpha$ і $\beta \rightarrow \alpha''$ при охолодженні.

4.2. Встановлено пропорційну залежність міцності з'єднань титанових конструкційних та економно-легованих псевдо- β -сплавів Ti-5.5Mo-5.5Cr-3.5Fe-3Al-Zr (BT19), Ti-2.8Al-5.1Mo-4.9Fe (LCB-5.1) від кількості залишкової β -фази в металі шва, згідно якої збільшення кількості β -фази в металі шва з 45 до 80% призводить до зменшення міцності з'єднань сплаву BT19 з 960 МПа до 910 МПа, а економнолегованого Ti-2.8Al-5.1Mo-4.9Fe – з 1140 МПа до 940 МПа.

4.3. Вперше для титанових псевдо β -сплавів встановлено залежність межі міцності зварних з'єднань в діапазоні 860...960 МПа для сплаву Ti-5.5Mo-5.5Cr-3.5Fe-3Al-Zr (BT19) та 960...1070 МПа для економнолегованого сплаву Ti-2.8Al-5.1Mo-4.9Fe (LCB-5.1) від сумарного вмісту легуючих елементів в металі шва. Так, зменшення вмісту легуючих елементів в шві до 11,5% для сплаву LCB-5.1 та 14,6% для сплаву BT19 призводить до збільшення міцності з'єднань за рахунок зменшення кількості залишкової β -фаз, подальше зменшення вмісту легуючих елементів призводить до зниження показників міцності з'єднань за рахунок зменшення твердорозчинної міцності металу шва сплаву LCB-5.1.

4.4. Вперше для кількісної оцінки впливу режиму та способу зварювання на експлуатаційні характеристики зварних з'єднань титанових сплавів запропоновано використовувати коефіцієнт якості зварного з'єднання, який розраховується як половина суми відношень межі міцності та ударної в'язкості зварного з'єднання до відповідних показників основного металу, та встановлено, що найбільші значення коефіцієнту якості забезпечує АДЗ сплаву Ti-5.5Mo-5.5Cr-3.5Fe-3Al-Zr (BT19) з присадним матеріалом та ЕПЗ економнолегованого Ti-2.8Al-5.1Mo-4.9Fe (LCB-5,1) з попереднім підігрівом та ЛТО.

4.5. Отримало подальший розвиток уявлення про суттєвий вплив попереднього підігріву при електронно-променевому зварюванні та АДЗ на властивості зварних з'єднань псевдо- α титанового сплаву Ti-5.6Al-2.2Sn-3.5Zr-0.4Mo-1.0V-0.6Si з сіліцидним зміцненням та встановлено, що

застосування попереднього підігріву з'єднань до 200 °С при ЕПЗ та 400 °С при АДЗ забезпечує формування в зварному з'єднанні структур кошикового плетіння з пластин α -фази товщиною 1-5 мкм та дисперсних зерен β -фази товщиною до 1 мкм та міцність зварних з'єднань на рівні 1160...1190 МПа при показниках ударної в'язкості 5,5...8,5 Дж/см² відповідно.

4.6. Отримало подальший розвиток уявлення про вплив термічної обробки на формування структури та властивостей зварних з'єднань високоміцних ($\alpha+\beta$)- та псевдо- β -титанових сплавів. Так, гартування та старіння формує в металі шва найбільш дрібнодисперсну структуру з розмірами пластин α -фази не більше 1 мкм, що забезпечує значення міцності з'єднань ЕПЗ сплаву Ti-5.5Mo-5.5Cr-3.5Fe-3Al-Zr (BT19) на рівні 1270...1280 МПа.

5. Повнота викладу основних результатів дисертації в опублікованих працях.

За темою дисертаційної роботи опубліковано 55 наукових праць: 1 монографія, 33 статті у наукових журналах (26 – у журналах, що входять до переліку наукових фахових видань МОН України; 7 – у виданнях, що входять до науко метричної бази даних Scopus); 17 публікацій у матеріалах міжнародних науково-технічних конференцій, 1 патент України.

Монографія:

1. Ахонін С.В., Білоус В.Ю., Селін Р.В. Аргонодугове та електронно-променеве зварювання титанового псевдо- β -сплаву BT19.: монографія. – Київ: Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, 2022. 128 с. ISBN978-617-7785-49-0.

Статті проіндексовані в міжнародних науко метричних базах даних:

2. Akhonin S.V., Belous V.Yu., Berezos V.A., Selin R.V. Effect of TIG-Welding on the Structure and Mechanical Properties of the Pseudo- β Titanium Alloy VT19 Welded Joints. *Materials Science Forum*, Vol. 927, pp. 112-118, 2018 DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.927.112> (Scopus).

3. Akhonin S.V., Belous V.Yu., Selin R.V. Electron Beam Welding, Heat Treatment and Hardening of Beta-Titanium. IOP Conf. Series: *Materials Science and Engineering* 582 (2019) 012050 DOI: <http://10.1088/1757-899X/582/1/012050> (Scopus).

4. Akhonin S.V., Belous V.Yu., Selin R.V., Berezos V.O. Structure and Properties of High-Strength Titanium Alloy Ti-6.5Al-3Mo-2.5V-4Nb-1Cr-1Fe-2.5Zr Welded Joints. *Solid State Phenomena Submitted*, Vol. 313, pp 82-93 2021 Trans Tech Publications Ltd, Switzerland. (Scopus). DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.313.82>

5. Hryhorenko, G., Akhonin, S., Berdnikova, O., Bilous, V., Kushnaryova, O. Fine Structure of Heat-Resistant Titanium Alloys Welded Joints. Proceedings of the 2019 *IEEE 9th International Conference on Nanomaterials: Applications and Properties*, NAP 2019, 2019, 9075755. <http://10.1109/NAP47236.2019.219071>

6. Akhonin S.V., Belous V.Yu., Selin R.V., Kostin V.A. Influence of TIG Welding Thermal Cycle on Temperature Distribution and Phase Transformation in Low-cost Titanium Alloy. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 688(2021), 012012. DOI: 10.1088/1755-1315/688/1/012012/ (Scopus).

7. Akhonin S.V., Belous V.Yu., Selin R. Effect of Electron Beam Welding on the Microstructure and Mechanical Properties of Low-Cost Titanium Alloys. *Materials Science Forum*, 2022, Vol. 1059, pp 15-20. <https://doi.org/10.4028/p-j08xw2/> (Scopus).

8. Akhonin S.V., Belous V.Yu., Selin R.V. Effect of Pre-Heating and Post-Weld Local Heat Treatment on the Microstructure and Mechanical Properties of Low-Cost β -Titanium Alloy Welding Joints, Obtained by EBW (2022) *Defect and Diffusion Forum*, 416, pp. 87-92. DOI: 10.4028/p-o8uehr. (Scopus).

Статті в наукових фахових виданнях України

9. Шелягин В.Д., Хаскин В.Ю., Ахонин С.В., Белоус В.Ю., И.К.Петриченко, А.В.Сиора, А.Н.Палагеша, Селин Р.В. Особенности лазерно-дуговой сварки титановых сплавов. *Автоматическая сварка*. 2012. №12. С.36–40. <https://patonpublishinghouse.com/ukr/journals/as/2012/12/06>

10. Ахонин С.В., Белоус В.Ю., Мужиченко А.Ф., Селин Р.В. Математическое моделирование структурных превращений в ЗТВ титанового сплава ВТ23 при сварке TIG. *Автоматическая сварка*. 2013. №3. С.26–29. <https://patonpublishinghouse.com/ukr/journals/as/2013/03/05>

11. Ахонин С.В., Белоус В.Ю., Антонюк С.Л., Селин Р.В. Свойства соединений высокопрочного титанового сплава Т110, выполненных сваркой плавлением. *Автоматическая сварка*. 2014. №1. С.54–57. <https://patonpublishinghouse.com/ukr/journals/as/2014/01/08>

12. Ахонин С.В., Белоус В.Ю., Селин Р.В., Петриченко И.К., Вржижевский Э.Л. Структура и свойства сварных соединений высокопрочных двухфазных титановых сплавов. *Автоматическая сварка*. 2015. №8. С.16-19. <https://patonpublishinghouse.com/ukr/journals/as/2015/08/03>

13. Ахонин С.В., Белоус В.Ю., Петриченко И.К., Селин Р.В. Влияние присадочного материала на структуру и свойства сварных соединений высокопрочных двухфазных титановых сплавов, выполненных аргонодуговой сваркой. *Автоматическая сварка*. 2016. №1. С. 42–46. <https://doi.org/10.15407/as2016.01.06>

14. Ахонин С.В., Григоренко С.Г., Белоус В.Ю., Таранова Т.Г., Селин Р.В., Вржижевский Э.Л. Электронно-лучевая сварка сложнолегированного высокопрочного титанового сплава. *Автоматическая сварка*. 2016. №5-6. С. 69–73. <https://doi.org/10.15407/as2016.06.11>

15. Ахонин С. В., Вржижевский Э. Л., Белоус В. Ю., Петриченко И. К. 3D электронно-лучевая наплавка титановых деталей. *Автоматическая сварка», №5-6, 2016, с. 141-144. https://doi.org/10.15407/as2016.06.22*

16. Grigorenko S.G., Akhonin S.V. **Belous W.Ju.**, Selin R.W. Wplyw obrobki cieplnej na structure i wlasnosci polaczen wysokostopowego stopu tytanu spawanych electronowo. *Biuletyn Instytutu Spawalnictwa*. 2016. №5. С. 80–83.

<https://biuletyn.institutu.spawalnictwa.pl/biuletyn/doswiadczenie-stosowania-napawania-drutem-proszkowym-w-przedsiębiorstwach-ukrainy>

17. Ахонин С. В., Белоус В. Ю., И. Влияние флюсов на процесс АДС титана. *Автоматическая сварка*. 2017. №2. С. 8-14. <https://doi.org/10.15407/as2017.02.02>

18. Ахонин С. В., Вржижевский Э. Л., Белоус В. Ю., Петриченко И. К. Влияние предварительного подогрева и локальной термообработки на структуру и свойства соединений дисперсионно-упрочненных титановых сплавов легированных кремнием, выполненных электронно-лучевой сваркой. *Автоматическая сварка*. 2017. №7. С. 53-58. <https://doi.org/10.15407/as2017.07.09>

19. Ахонин С.В., Белоус В.Ю., Северин А.Ю., Березос В.А., Пикулин А.Н., Ерохин А.Г. Структура и свойства нового высокопрочного титанового сплава Т120, полученного способом ЭЛП после деформационной и термической обработки. *Современная электрометаллургия*. 2017. №2. С. 11-16. <https://doi.org/10.15407/sem2017.02.02>

20. Ахонин С. В., Белоус В. Ю., Селин Р. В. Воздействие термического цикла аргонодуговой сварки на структуру и свойства псевдо- β -титановых сплавов. *Автоматическая сварка*. 2018. №8. С. 32-38. <https://doi.org/10.15407/as2018.08.05>

21. Ахонин С. В., Белоус В. Ю., Селин Р. В., Вржижевский Э. Л., Петриченко И. К.. Электронно-лучевая сварка и термообработка сварных соединений высокопрочного псевдо- β -титанового сплава ВТ19. *Автоматическая сварка*. 2018. №7. С.12-17. <https://doi.org/10.15407/as2018.07.02>

22. Swietłana G. Grigorenko, **Valerij Ju. Belous**. Wpływ spawania elektronowego i obróbki cieplnej na strukturę i własności tytanu technicznego z domieszką stopową boru. *Biuletyn Instytutu Spawalnictwa*. 2018. №5. С. 61–72. <https://biuletyn.institutu.spawalnictwa.pl/biuletyn/wpływ-spawania-elektronowego-i-obrobki-cieplnej-na-strukture-i-wlasnosci-tytanu>

23. Григоренко С.Г., Белоус В.Ю., Таранова Т.Г., Вржижевский Э.Л., Костин В.А. Структура и свойства жаропрочного псевдо- α -титанового сплава системы Ti–Al–Sn–Zr–Mo–V–Si и его сварных соединений. *Современная электрометаллургия*, № 2, 2019, С. 27-34. <https://doi.org/10.15407/sem2019.02.05>

24. Ахонин С.В., Березос В.А., Белоус В.Ю. Новые перспективные сплавы на основе титана. *Современная электрометаллургия*. 2019. №3. С. 35 – 44. DOI: http://dx.doi.org/10.15407/sem2019.03.03_10.

25. Ахонин С.В., Белоус В.Ю., Селин Р.В., Петриченко И.К. Термічна обробка отриманого способом ЕПП високоміцного псевдо- β -титанового сплаву та його зварних з'єднань. *Современная электрометаллургия*. 2020. №1. С. 14–25. <https://doi.org/10.37434/sem2020.01.02>

26. Ахонін С.В., Білоус В.Ю., Селін Р.В., Петриченко І.К. Структура та механічні властивості з'єднань псевдо- β -титанового сплаву при TIG

зварюванні. *Автоматическая сварка*. 2020. №2. С. 11-17.
<https://doi.org/10.37434/as2020.02.02>.

27. Ахонін С.В., Білоус В.Ю., Березос В.О., Петриченко І.К., Селін Р.В., Северин А.Ю., Пікулін О.М.. Структура та властивості конструкційних економнолегованих сплавів на основі титану, одержаних методом ЕПП. *Сучасна електromеталургія*. 2020. №4. С. 18-22. DOI:
<http://dx.doi.org/10.37434/sem2020.02.03>.

28. Ахонін С.В., Білоус В.Ю., Селін Р.В., Костін В.А. Структурні перетворення при охолодженні економнолегованого псевдо- β -титанового сплаву Ti-2,8Al-5,1Mo-4,9Fe. *Сучасна електromеталургія*. 2021. №1. С. 17-26. <https://doi.org/10.37434/sem2021.01.02>

29. Ахонін С.В., Білоус В.Ю., Селін Р.В., Петриченко І.К., Радченко Л.М. Аргонодугове зварювання високоміцного економнолегованого псевдо- β -титанового сплаву Ti-2,8Al-5,1Mo-4,9Fe. *Автоматичне зварювання*. № 5, 2021, С. 34-39. <https://doi.org/10.37434/as2021.05.05>

30. Григоренко С.Г., Таранова Т.Г. Костін В.А., Соломійчук Т.Г., Білоус В.Ю., Вржижевський Е.Л. Вплив термічної обробки на структуру та характер руйнування зварних з'єднань економно легovanого титанового сплаву. *Сучасна електromеталургія*, № 3, 2021, С 42-48. <https://doi.org/10.37434/sem2021.03.07>

31. Ахонін С.В., Білоус В.Ю. Селін Р.В. Вржижевський Э.Л., Петриченко И.К., Антонюк С.Л. Вплив термічної обробки на структуру та властивості зварних з'єднань високоміцних титанових сплавів на основі β -фази. *Сучасна електromеталургія*. № 4, 2021, С. 51-58. <https://doi.org/10.37434/sem2021.04.08>

32. Ахонін С.В., Білоус В.Ю., Селін Р.В., Петриченко І.К., Радченко Л.М., Руханський С.Б. Аргонодугове зварювання жароміцного титанового сплаву легovanого кремнієм. *Автоматичне зварювання*. 2022. №5. С. 33–39. <http://doi.org/10.37434/as2022.05.05>

33. Ахонін С.В., Білоус В.Ю., Селін Р.В., Петриченко І.К., Радченко Л.М., Руханський С.Б. Вплив присадного матеріалу на структуру та властивості зварних з'єднань високоміцного титанового сплаву VT19. *Сучасна електromеталургія*. 2022. №3. С. 53-62. <http://doi.org/10.37434/sem2022.03.08>

34. Ахонін С.В., Білоус В.Ю., Костін В.А., Григоренко С.Г., Пузрін О.Л., Вржижевський Е.Л. Підвищення механічних властивостей зварних з'єднань економно легovanого титанового сплаву Ti-2,8Al-5,1Mo-4,9Fe термічною обробкою. *Автоматичне зварювання*. 2022. №12. С. 38-44. <http://doi.org/10.37434/as2022.12.05>

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

35. Ахонин С.В., Мужиченко А.Ф., Селин Р.В. Исследование влияния термического цикла сварки на структурные превращения в зоне термического влияния титанового сплава VT23 методами математического моделирования. Сб. тр. Шестой междунар. конф. «Математическое

моделирование и информационные технологии в сварке и родственных процессах». 29 мая-1 июня 2012г. Кацивели, Крым, Украина. С. 13–16.

36. Ахонин С.В., Белоус В.Ю., Петриченко И.К., Селин Р.В., Антонюк С.Л. Фазовые превращения при охлаждении в металле шва и зоне термического влияния при сварке вольфрамовым электродом двухфазных титановых сплавов. Сборник трудов Межд. конф. «Титан-2013 в СНГ». Донецк, Украина, 26-29 мая 2013г. С.324-328.

37. Белоус В.Ю., Ахонин С.В., Селин Р.В., Антонюк С.Л. Сварка высокопрочного титанового сплава Т110. Сборник тезисов стендовых докладов международной конференции «Сварка и родственные технологии – настоящее и будущее». – Украина, Киев, 25-26 ноября 2013. С. 59-60.

38. Ахонин С.В., Белоус В.Ю., Селин Р.В., Григоренко С.Г. Математическое моделирование влияния термического цикла аргонодуговой сварки с поперечными колебаниями на структурные превращения в зоне термического влияния двухфазного титанового сплава. Сб. тр. Седьмой межд. конф. «Математическое моделирование и информационные технологии в сварке и родственных процессах». 15-19 сентября 2014г. Одесса, Украина. С. 5-7.

39. Селин Р.В. Белоус В.Ю. Оценка влияния термического цикла сварки вольфрамовым электродом по флюсу на фазовые превращения в металле шва и зоне термического влияния сложнолегированного титанового сплава VT23. Материалы VIII научно-технической конференции молодых учёных и специалистов «Сварка и родственные технологии», 20-22 мая, 2015, смт Ворзель, Киевская область, Украина. С.247.

40. Ахонин С.В., Белоус В.Ю., Вржижевский Э.Л., Петриченко И.К. Электронно-лучевая 3-d наплавка с применением сварочной титановой проволоки. Тези доповідей IV Міжнародної науково-практичної конференції «Титан 2016: виробництво та використання в авіабудуванні» Запоріжжя 2016 р. 152с., С.11-12.

41. Akhonin S.V. Belous V., Selin R. Effect evaluation of the flux coated gas tungsten arc welding thermal cycle on phase transformation in the weld metal and heat affected zone of ($\alpha+\beta$) titanium alloy VT23 using mathematical modeling. *Сучасні проблеми зварювання та споріднених технологій –К.*: ТОВ «НВП Інтерсервіс», 2016. С. 327-335.

42. Белоус В.Ю., Костин В.А. , Григоренко С.Г., Селин Р.В. Влияние режима дуговой сварки на фазовый состав сварных соединений высокопрочного титанового сплава системы Ti-6,5Al-3Mo-2,5V-4Nb-1Cr-1Fe-2,5Zr. Сб. тр. Восьмой межд. конф. «Математическое моделирование и информационные технологии в сварке и родственных процессах». 15-19 сентября 2016 г. Одесса, Украина. С. 5-7.

43. Ахонин С.В., Белоус В.Ю., Селин Р.В., Вржижевский Э.Л. Влияние электронно-лучевой сварки и локальной термической обработки на свойства сварных соединений высокопрочного псевдо- β -титанового сплава VT19. Сб. трудов восьмой международной конференции «Лучевые технологии в сварке

и обработке материалов», 11-15 сентября 2017 г., Одесса, Украина. Киев: Международная Ассоциация «Сварка». С.7-10.

44. С. В. Ахонин, В. Ю. Белоус, Р. В. Селин, Э. Л. Воздействие термического цикла аргонодуговой сварки на структуру и свойства псевдо- β -титановых сплавов. *Титан 2018: Производство и применение в Украине*: Тез.докл. Межд.конф. Киев: Международная ассоциация «Сварка», 2018, стр. 37.

45. С. В. Ахонин, В. Ю. Белоус, Р. В. Селин, Э. Л. Аргонодуговая сварка вольфрамовым электродом высокопрочного псевдо- β -титанового сплава ВТ19. *Титан 2018: Производство и применение в Украине*: Тез.докл. Межд. конф. Киев: Международная ассоциация «Сварка», 2018, с. 37.

46. С. В. Ахонин, В.А. Березос, В. Ю. Белоус. Разработка новых сплавов и технологии их получения методом электронно-лучевой плавки. *Титан 2018: Производство и применение в Украине*: Тез.докл. Межд.конф./Киев: Международная ассоциация «Сварка», 2018, с. 38.

47. Ахонин С.В., Белоус В.Ю., Селин Р.В. Влияние предварительного подогрева на термический цикл аргонодуговой сварки экономно-легированных титановых сплавов. Сб. тр. Восьмой межд. конф. «Математическое моделирование и информационные технологии в сварке и родственных процессах». 10-14 сентября 2018г. Одесса, Украина. С. 23-27.

48. Белоус В.Ю., Костин В.А., Селин Р.В., Григоренко С.Г. Влияние режима дуговой сварки на формирование метастабильных фаз в металле шва и ЗТВ высокопрочного псевдо- β -титанового сплава ВТ19. Сб. тр. Восьмой межд. конф. «Математическое моделирование и информационные технологии в сварке и родственных процессах». 10-14 сентября 2018г. Одесса, Украина. С. 28-30.

49. Ахонин С.В., Белоус В.Ю., Селин Р.В., Вржижевский Э.Л., Петриченко И.К. Сварка и термобработка псевдо- β -титановых сплавов. *Зварювання та споріднені технології сьогодення і майбутнє*: Тези стенд. доп. /Міжднародна Асоціація «Зварювання». – Київ, 2018. – 136 с. С.23.

50. Akhonin S., Hryhorenko G., Berdnikova O., Hryhorenko S., Bilous V., Kushnarova O. Fine structure of heat-resistant titanium alloys welded joints. Proc. of the 2019 IEEE 9th Int. Conf. on Nanomaterials: *Applications & Properties (NAP-2019)*. Part 1. Odessa, Ukraine, September 15-20, 2019. Sumy, Sumy State University. 2019. Pp.1-5.

51. Ахонин С.В., Белоус В.Ю., Селин Р.В., Вржижевский Э.Л., Петриченко И.К. ЭЛС и локальная термообработка экономно легированных титановых сплавов на основе β -фазы. Сб. трудов IX межд. конф. «Лучевые технологии в сварке и обработке материалов», 9-13 сентября 2019 г., Одесса, Украина. -Киев: Межд. Ассоциация «Сварка», 2019. С. 12-15.

52. Ахонін С.В., Білоус В.Ю., Селін Р.В., Петриченко І.В., Радченко Л.М. Аргонодугове зварювання високоміцного економічно-легованого псевдо β -сплаву Ti-2.8Al-5.1Mo-4.9Fe. Тези доповідей міжнародної конференції «Сучасні технології з'єднання матеріалів». 31 травня-2 червня 2021. м.Київ. – Київ: Міжн. Асоціація «Зварювання», 2021. –С.18.

53. Ахонін С.В., Білоус В.Ю., Селін Р.В., Вржижевський Е.Л., Петриченко І.В., Максимов С.Ю. Электронно-лучевая сварка и упрочняющая термообработка высокопрочных титановых сплавов на основе β -фазы. Збірка тез доповідей X Міжн. Конф. «Променеві технології в зварюванні і обробці матеріалів». 6-10 вересня 2021. м. Одеса. – Київ: Міжн. Асоціація «Зварювання», 2021. – С.12.

54. Ахонін С.В., Білоус В.Ю., Селін Р.В. Вплив попереднього підігріву на термічний цикл аргонодугового зварювання жароміцних титанових сплавів нового покоління. Збірка тез доповідей наукової конференції «Зварювання та технічна діагностика для відновлення економіки України», 17 листопада 2022 р., м. Київ, Україна. -Київ: Міжн. Асоціація «Зварювання», 2022. С. 26.

55. Ахонін С.В. Березос В.О., Білоус В.Ю., Пікулин О.М., Петриченко І.К., Селін Р.В., Єрохін О.Г. Високоміцний титановий сплав. Патент України 111002 С22С 14/00, С22В 34/12. - №а2014 06878, Зареєстровано 19.06.2014р. Опубл. Бюл. №5 від 10.03.2016.

6. Практичне значення одержаних результатів

6.1. На підставі проведених досліджень розроблено технологічний процес ЕПЗ перспективних високоміцних титанових сплавів, що включає попередній підігрів до 200 °С та післязварювальний відпал 900 °С протягом 10 хв. та забезпечує рівноміцність зварних з'єднань основному металу.

6.2. Розроблено технологічний процес АДЗ перспективних високоміцних титанових сплавів, що включає зварювання з погонною енергією 700...800 кДж/м, додавання 10% зварювального дроту марки ВТ1-00св, післязварювальний відпал, та забезпечує рівноміцність зварних з'єднань основному металу.

6.3. Запропонована зміцнююча післязварювальна термічна обробка для з'єднань псевдо- β -титанових сплавів, виконаних АДЗ та ЕПЗ, яка передбачає гартування в воду з подальшим старінням і забезпечує значення міцності з'єднань ЕПЗ та АДЗ сплаву ВТ19 на рівні 1270...1280 МПа.

6.4. Розроблені рекомендації для промислового використання аргонодугового зварювання при виготовленні конструкцій з псевдо- β -титанових ВТ19 та економнолегованого Ti-2.8Al-5.1Mo-4.9Fe (LCB-5,1).

6.5. Результати роботи впроваджені у навчальний процес аспірантури Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона Національної академії наук України на кафедрі матеріалознавства (курс "Конструкційні сплави на основі нікелю, титану та алюмінію і їх здатність до зварювання").

7. Рекомендації для подальшого використання результатів роботи.

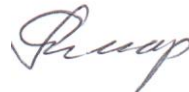
Спеціалізована вчена рада Д 26.182.01 рекомендує розширити використання результатів роботи для подальших досліджень щодо процесів аргонодугового та електронно-променевого зварювання економнолегованих титанових сплавів для участі у міжнародних дослідницьких проектах, а також продовжити роботи з впровадження розроблених технологій зварювання на вітчизняних підприємствах. З метою вирішення питань імпортозаміщення та

продовження строку служби вузлів з економнолегованих титанових сплавів рекомендовано розширити застосування аргонодугового зварювання з присадним матеріалом титанових сплавів.

ВВАЖАТИ, що дисертація Білоуса В.Ю. «Наукові основи аргонодугового та електронно-променевого зварювання перспективних високоміцних титанових сплавів», що подана на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук є закінченою науково-дослідною роботою, яка за своїм науковим рівнем та практичною цінністю, змістом та оформленням повністю відповідає вимогам пп. 7-9 «Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 17 листопада 2021 року № 1197 та паспорту спеціальності 05.03.06 – «Зварювання та споріднені процеси і технології». Зазначити, що в дисертації не використовуються матеріали та висновки кандидатської дисертації здобувача.

РЕКОМЕНДУВАТИ докторській спеціалізованій вченій раді Д 26.182.01 при ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України прийняти дисертацію Білоуса В.Ю. «Наукові основи аргонодугового та електронно-променевого зварювання перспективних високоміцних титанових сплавів» до захисту на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.03.06 – «Зварювання та споріднені процеси і технології».

Головуючий на засіданні,
провідний науковий співробітник,
ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України
д.т.н.



Сергій РИМАР

Рецензенти:

завідувач відділу ІЕЗ ім. Є.О. Патона
НАН України, д.т.н., с.н.с



Юрій ФАЛЬЧЕНКО

провідний науковий співробітник
ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України,
д.т.н., с.н.с



Валерій КОСТІН

завідувач відділу ІЕЗ ім. Є.О. Патона
НАН України, д.т.н., с.н.с.



Микола ЧЕРВЯКОВ