

Міністерство освіти і науки України
 Національний університет «Чернігівська політехніка» (Україна)
 Асоціація випускників Національного університету «Чернігівська політехніка»
 Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського»
 Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України (Україна)
 Державний університет «Київський авіаційний інститут» (Україна)
 Херсонський національний технічний університет (Україна)
 Луцький національний технічний університет (Україна)
 Донбаська державна машинобудівна академія (Україна)
 Сумський державний університет (Україна)
 ТОВ «ПЕТ Технолоджиз» (Україна)
 ТОВ «Костал Україна» (Україна)
 Oerlikon Barmag GmbH (Німеччина)
 Академія наук вищої освіти України
 Лодзький технічний університет (Польща)
 Технічний університет в Кошице (Словаччина)
 Thyssenkrupp Materials International GmbH (Німеччина)
 Національний університет «Львівська політехніка» (Україна)
 Батумський державний університет ім. Шота Руставелі (Грузія)
 Київський національний університет технологій та дизайну (Україна)
 Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»
 Українське товариство механіки ґрунтів, геотехніки і фундаментобудування
 Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та
 військової техніки (Україна)



Матеріали XV міжнародної науково-практичної конференції
**«КОМПЛЕКСНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ
 ЯКОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ
 ПРОЦЕСІВ ТА СИСТЕМ»**

Том 2

22 - 23 травня 2025 р.
 м. Чернігів

УДК 621; 624; 674; 684; 621.22; 621.51-54; 661; 664; 620.268;621.791; 004
К63

*Рекомендовано до друку вченою радою Національного університету
«Чернігівська політехніка» (протокол № 6 від 26.05.2025)*

Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем (КЗЯТПС –
К63 2025) : матеріали тез доповідей XV Міжнародної науково-практичної конференції
(м. Чернігів, 22–23 травня 2025 р.) : у 2 т. / Національний університет «Чернігівська
політехніка» [та ін.] ; відп. за вип.: Приступа Анатолій Леонідович [та ін.]. – Чернігів:
НУ «Чернігівська політехніка», 2025. – Т. 2. – 340 с.

ISBN 978-617-7932-82-5

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ

Михайло Блощин, канд. техн. наук, доцент
Тимур Ганєєв, канд. техн. наук, доцент
Андрій Єрошенко, канд. техн. наук, доцент
Олена Ігнатенко, старший викладач
Микола Корзаченко, канд. техн. наук, доцент
Ірина Прибисько, канд. техн. наук, доцент
Анатолій Приступа канд. техн. наук, доцент
Ольга Сапон, студентка
Сергій Степенко, канд. техн. наук, ст. дослідник
Світлана Ющенко, канд. техн. наук, доцент

Відповідальний координатор конференції:

канд. техн. наук, доцент Сергій Сапон, тел. (097) 3844197, e-mail: s.sapon@gmail.com або
kzyatps@gmail.com
<https://www.facebook.com/kzyatps/>
www.conference-chernihiv-polytechnik.com

*За зміст матеріалів, викладених в тезах доповідей персональну відповідальність несуть автори



УДК 621; 624; 674; 684; 621.22; 621.51-54; 661; 664; 620.268;621.791; 004
ISBN 978-617-7932-82-5

© Національний університет
«Чернігівська політехніка»

- Калюжний С.М., Войнарович С.Г., Кислиця О.М., Свірідова І.С., Максимов С.Ю., Теплюк В.М.** Формування покриття методом мікроплазмового напилення із порошку гідроксилапатиту, легованого сріблом 55
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, м. Київ
- Копилов В.І.^{1, 2}, Петренко В.В.^{1, 2}, Кузін М.О.^{3, 4}** Енергетичний стан системи «Основа – покриття» в умовах плазмового напилення і тріщиноутворення при випробуванні на згин 57
¹ *КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ*
² *Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ*
³ *Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів*
⁴ *Львівський науково-дослідний інститут судових експертиз, м. Львів*
- Кушнарьова О.С., Берднікова О.М., Бернацький А.В.** Структурні особливості поверхневих шарів при двошаровому лазерному наплавленні 60
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, м. Київ
- Кушнарьова О.С.¹, Берднікова О.М.¹, Алексеєнко Т.О.¹, Газнюк Ю.С.¹, Гурнік О.О.²** Структурні особливості металу зварних з'єднань низьколегованої конструкційної сталі при високочастотному механічному проковуванні поверхні 61
¹ *Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, м. Київ*
² *Відокремлений структурний підрозділ «Фаховий коледж інженерії та зв'язку», м. Київ*
- Берднікова О.М., Ань Тяньчен** Структура наплавленого металу при відновленні лопаток парових турбін лазерним методом 63
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, м. Київ
- Єфімов М.О., Хращевський О.Д., Єфімова.К.О., Поперенко Т.В.** Вплив скандію на корозійну стійкість сплаву алюмінію системи Al-Cu-Fe, що містять квазікристалічну складову 64
Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України, м. Київ
- Микита К.А., Томіна А.-М.В., Башев В.Ф., Калініна Т.В.** Дослідження термічної стабільності надвисокомолекулярного поліетилену, наповненого швидкозагартованим бінарним сплавом системи Al-Co 66
Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське
- Туник В.О.** Особливості структури та властивості мідних сплавів, отриманих глибинною обробкою розплаву плазмою 67
Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, м. Київ
- Бойко І.О., Пашинський В.В., Пашинська О.Г.** Дослідження мікроструктури наплавленої композиції 100X8+110Г13 67
ТОВ «Технічний університет «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», м. Запоріжжя
- Білоник Д.І.¹, Білоник І.М.¹, Лаптева Г.М.¹, Бабарикін І.С.¹, Сахно С.С.²** Структура та механічні властивості зварного з'єднання литого вторинного α-титану 70
¹ *НУ «Запорізька політехніка», м. Запоріжжя*
² *АТ «Мотор Січ»*
- Тунік А.Ю., Адєєва Л.І., Коржик В.М., Ілляшенко Є.В., Конорева О.В., Григоренко С.Г.** Використання порошкових дротів зі сталевою оболонкою та тугоплавкими наповнювачами для плазмово-дугового напилення покриттів 72
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, м. Київ

УДК 621

Туник В.О.
Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України

ОСОБЛИВОСТІ СТРУКТУРИ ТА ВЛАСТИВОСТІ МІДНИХ СПЛАВІВ, ОТРИМАНИХ ГЛИБИННОЮ ОБРОБКОЮ РОЗПЛАВУ ПЛАЗМОЮ

Сучасний розвиток ливарного виробництва та металургії, особливо в умовах воєнного стану, набуває критично важливого значення. Обмеження імпорту сировини, руйнування логістичних ланцюгів та необхідність швидкого відновлення промисловості роблять використання вторинних сплавів стратегічним напрямком. Вони не лише зменшують залежність від імпорту руди, але й дозволяють ефективно використовувати наявні ресурси. Це стало можливо завдяки впровадженню новітніх технологій підготовки шихти, плавлення, обробки рідкого металу та його розливання. Відмінність цих технологій від традиційних полягає у способах впливу на метал - використання електромагнітних полів, лазерного випромінювання, ультразвуку, плазми тощо.

У цій роботі представлені результати дослідження структури та властивостей виливків із бронзи, яку обробляли заглибленим у розплав плазмовим струменем. Дослідження проводили на бронзі БрА9ЖЗЛ, яку плавили в індукційній печі з графітовим тиглем. Сплав обробляли зануреним у рідкий метал плазмотроном потужністю 20кВт при витраті аргону приблизно 7л/хв. Час продування розплаву плазмовим струменем змінювали від 5 до 25хв. Після кожного циклу обробки розплав витримували 10 хв і зливали його з печі в ківш розливу. Металом при температурі 1140 °С заливали сухі піщані форми, у яких отримували циліндричні виливки ($\varnothing=30\text{мм}$, $l=250\text{мм}$). З виливків виготовляли зразки для дослідження.

Встановлено вплив глибинної обробки розплаву плазмою на процес дегазації, структуру та властивості мідних сплавів. Показано, що після продувки металу плазмовим струменем протягом 10–12 хв. та витримки сплаву після обробки не менше 10 хв. вміст водню в бронзі БрА9ЖЗЛ зменшується приблизно на 70 % (від 0,38 до 0,1–0,12 см³ /100 г). Міцність (σ) сплаву після плазмового рафінування розплаву зростає на 20–22 %, пластичність (δ) – у 1,8 рази.

Також було встановлено, що структура у виливках із бронзи БрА9ЖЗЛ залежить від тривалості обробки металу плазмою. Показано, що після плазмової обробки розплаву протягом 10 хв. середній розмір α -фази в структурі сплаву зменшується у 2,8–3 рази (від 46 до 16 мкм), дендритної комірки – у 2 рази (від 35 до 17 мкм). Зі збільшенням тривалості обробки розплаву плазмою ступінь диспергування структурних складових у сплаві зростає.

УДК 621.791

Бойко І.О., канд. техн. наук, доцент
Пашинський В.В., докт. техн. наук, професор
Пашинська О.Г., докт. техн. наук, професор
ТОВ «Технічний університет «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»,
Igor.Boyko@mipolytech.education

ДОСЛІДЖЕННЯ МІКРОСТРУКТУРИ НАПЛАВЛЕНОЇ КОМПОЗИЦІЇ 100X8+110Г13

Для наплавлення зносостійкого шару на високомарганцеву високовуглецеву сталь Гадфільда відповідно до стандарту ДСТУ EN 14700 передбачена окрема група зварювальних матеріалів Fe9. Елементний склад напавленого металу обмежений в наступних межах (%): C=0,3-1,2; Cr<19; Ni<3; Mn=11-19; Mo<2; V<1. Умови роботи напавленого металу наступні: k-work hardenable, n-cannot be magnetized, p-impact resistance [1].

Однак авторами було виявлено схильність до сильної аустенізації наплавленого металу групи Feб. При дослідженні наплавленого металу E-120X10C2Г в структурі виявлено приблизно 85 % метастабільного аустеніту та 15 % ледебурітно-карбідної фази [2].

Рішення задачі отримання близько 100 % аустеніту в високовуглецевому високохромистому наплавленому металі зазвичай вирішується за рахунок введення легуючих елементів-аустенізаторів: нікелю та марганцю, що суттєво розширюють γ -область. При цьому не завжди враховуються металургійні особливості конкретного випадку використання подібних наплавочних матеріалів, а саме дольова участь основного металу та кінетичні особливості первинної кристалізації наплавленого металу. Враховуючи це в процесі зміцнення та відновлення деталей зі сталі 110Г13 можна зіштовхнутися з надмірним запасом аустенітності наплавленого металу, що може привести до суттєвого збільшення балу аустенітного зерна в його мікроструктурі. Як наслідок – зменшення довжини границь зерен і забрудненість наплавленого металу шкідливими домішками можуть привести до утворення гарячих тріщин в ньому. Збільшення схильності до аустенізації металу типу 100X8 при дуговому наплавленні на сталь 110Г13 може бути досягнуте за рахунок дольової участі основного металу.

Метою дослідження є перевірка вказаних гіпотез за рахунок мікроструктурних досліджень наплавленої композиції 100X8+110Г13.

Для проведення досліджень було виготовлено дослідну партію наплавочних електродів типу Feб згідно стандарту EN14700 зі спеціальним типом покриття. Діаметр електроду – 4 мм. Стержень виготовлено зі сталі SAE 1006. Хімічний склад наплавленого металу наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Хімічний склад наплавленого металу розроблених електродів

Хімічний склад, %	C	Si	Mn	Cr	Nb	Mo	S	P
Розроблені Feб	0,95-1,05	0,45-0,65	0,8-1,0	7,5-8,5	-	-	0,013-0,018	0,025-0,03
Вимога EN14700	<2,5	Немає вимоги	<3	<10	<10	<3	Немає вимоги	Немає вимоги

Для отримання металографічних зразків було виконано наплавлення валиків на основу зі сталі 110Г13Л: в один, два та три проходи. Струм наплавлення – 130...140 А. Джерело живлення – випрямляч Raton MMA-350. Швидкість наплавлення – 10-12 см/хв. Температура основи та подальша міжпрохідна температура – 150 градусів Цельсія. Зовнішній вигляд наплавлених зразків наведено на рисунку 1.



Рис. 1 – Загальний вигляд наплавлених валиків

Після різки та підготовки зразків визначено хімічний склад наплавленого металу на установці SpectroLab. Вміст хімічних елементів за проходами наплавлення наведено на рис. 2.

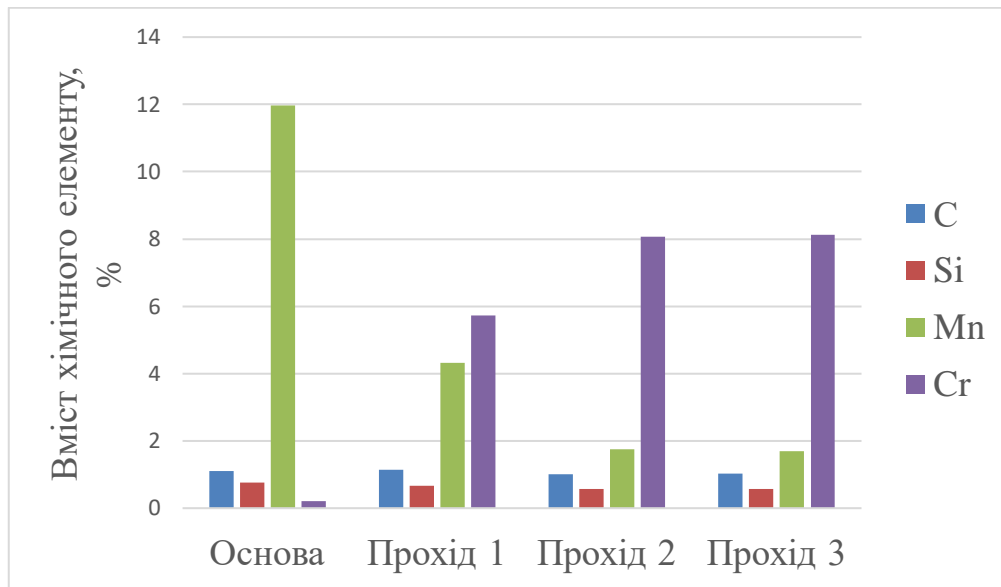


Рис. 2 – Вміст хімічних елементів за проходами наплавлення

З аналізу мікроструктури (рис. 3) видно, що між основним металом (110Г13Л) та матеріалом наплавленого шару формується щільний контакт але без формування помітної перехідної зони. Це може пояснюватися тим, що при заданих температурно-енергетичних параметрах наплавлення формування контакту відбувається за рахунок оплавлення поверхні основного металу і гомогенізації металу розплавленого шару в результаті конвективного перемішування. Тому зона зі змінним градієнтом концентрації у наплавленому шарі не виникає. Процес оплавлення металу поверхні деталі підтверджується результатом хімічного аналізу металу першого та наступних шарів наплавлення (рис. 2). У складі металу після першого проходу фіксується значне зростання вмісту марганцю. Це приводить до утворення аустенітної структури без виділення будь яких надлишкових фаз та неметалевих включень. Форма зерен – витягнута у напрямку градієнту температури, але структура шару однорідна і більш дисперсна, ніж структура основного металу. Матеріал з такою структурою має бути ефективним перехідним шаром завдяки високій пластичності та в'язкості легованого аустеніту. Як видно з рис. 2, хімічний склад металу другого та третього проходів не відрізняється від складу електроду, використаного для наплавлення. Тому експлуатаційні характеристики виробу після наплавлення будуть визначатися в основному властивостями матеріалу електроду, використаного для відновлення поверхні.



Рис. 3 – Мікроструктура межі сплавлення 100X8+110Г13Л (x200)

Отримані результати дозволяють зробити наступні висновки.

1. Запропонований хімічний склад електроду типу Fe6 відповідає вимогам стандарту EN14700 і забезпечує при наплавленні деталей зі сталі 110Г13Л формування перехідного шару з однорідною дисперсною структурою без формування будь яких надлишкових фаз і шкідливих неметалевих включень. Така структура є сприятливою з точки зору запобігання формуванню тріщин та відшарувань наплавленого металу.

2. При використаному режимі наплавлення вплив основного металу на хімічний склад наплавленого металу прослідковується тільки після першого проходу. При подальших проходах властивості наплавленого шару визначаються матеріалом розробленого електроду типу Fe6.

3. Подальші дослідження слід спрямувати на визначення експлуатаційних характеристик наплавленого шару.

Список посилань

1. ДСТУ EN 14700:2019 Матеріали зварювальні. Зварювальні матеріали для наплавлення (EN 14700:2014, IDT)

2. Boyko I., Pashinskiy V., Pashinska O . *MININGMETALTECH 2024 – THE MINING AND METALS SECTOR: INTEGRATION OF BUSINESS, TECHNOLOGY AND EDUCATION. VOLUME 1.* 2024. С. 130–132.

3. ISO/TR 13393:2009Welding consumables — Hardfacing classification — Microstructures

УДК 621

Білоник Д.І., аспірант

Білоник І.М., канд.техн.наук.

Лаптева Г.М., канд. техн. наук.

Бабарикін І.С., аспірант

Національний університет «Запорізька політехніка», bilonikelena@gmail.com

Сахно С.С., начальник бюро досліджень

АТ «Мотор Січ

СТРУКТУРА ТА МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ЗВАРНОГО З'ЄДНАННЯ ЛИТОГО ВТОРИННОГО α -ТИТАНУ

Процеси зварювання нелегованого деформованого листового титану ВТ1-00, ВТ1-0, ВТ1-1, ВТ2-1 та інших достатньо повно розглянуто в роботах [1, 2]. Доведено, що зварюваність цих матеріалів добра при забезпеченні надійного захисту зварюємого з'єднання від повітря, необхідної підготовки кромки, правильного виборі режимів, та присадних матеріалів. Нелегований деформований титан зварюється без обмежень майже усіма способами.

Зварювання литого нелегованого титану розглядається тільки як спосіб виправлення дефектів лиття. Процес безкамерної електрошлакової виплавки (БКЕШВ) забезпечує щільність і механічні властивості вторинного α -титану на рівні деформованого, при значно нижчій собівартості [3]. Тому, доцільно визначити можливість застосування такого матеріалу в зварних конструкціях або вузлах хімічного обладнання. Зразки для зварювання (50x30x4 мм) виготовили зі зливка діаметром 85 мм вторинного α -титану БКЕШВ.

В роботі дослідили хімічний склад, макроструктуру, механічні властивості зварного з'єднання С4, яке отримали методом TIG апаратом FRONIUS 230L ($I_{св} = 120-140A$, $U_{д} = 12-13 V$) із застосуванням присадних дрітків ВТ1-00св та ОТ4св діаметром 1,6мм.

Хімічний склад, мас. %: С – 0,024; Fe – 0,06; Si – 0,05; O₂ – 0,25; N₂ – 0,058; H₂ – 0,0016 не відрізняється від хімічного складу стандартних нелегованих марок титану. Але, вміст кисню 0,24 – 0,30% і азоту 0,051 – 0,058% у вторинному α -титані більш відповідає вмісту газових домішок в титані ВТ1-2 (O₂ ≤ 0,30%, N₂ ≤ 0,15%), або в титанових сплавах