

## **ВІДГУК**

офіційного опонента – доктора технічних наук, професора

Гулакова Сергія Володимировича

на дисертаційну роботу

### **Новомлинця Олега Олександровича**

«Наукові та технологічні основи отримання прецизійних нероз'ємних з'єднань зварюванням тиском», представлену на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.03.06 – зварювання та споріднені процеси і технології

### **Актуальність теми дисертаційної роботи**

Сучасний рівень науки і техніки потребує застосування широкого спектру нових матеріалів з високими механічними та спеціальними властивостями, вироби з яких часто мають складну форму. У багатьох випадках з'єднання таких матеріалів методами зварювання плавленням неможливо або суттєво обмежено та потребує зменшення термодформаційного впливу на основний матеріал. Тому для отримання прецизійних з'єднань з таких матеріалів найбільш перспективними є способи зварювання тиском. Дисертаційна робота Новомлинця О.О., що направлена на розробку наукових та технологічних основ отримання прецизійних з'єднань зварюванням тиском, є актуальною.

### **Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами**

Дисертаційна робота проводилася в Чернігівському національному технологічному університеті в рамках виконання п'яти держбюджетних прикладних та фундаментальних науково-дослідних робіт Міністерства освіти і науки України та державного фонду фундаментальних досліджень України. В трьох науково-дослідних роботах здобувач був відповідальним виконавцем, в одній науковим керівником.

### **Короткий аналіз змісту дисертаційної роботи**

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету та задачі досліджень, викладено наукову новизну і

практичне значення одержаних результатів, надано відомості про зміст роботи і структуру її побудови, апробацію, публікації і особистий внесок автора.

**У першому розділі** міститься літературний огляд, аналіз сучасного стану та напрямків розвитку зварювання тиском для отримання прецизійних з'єднань однорідних та різнорідних матеріалів. Зокрема, наводяться загальні відомості щодо існуючих способів обмеження деформації деталей при зварюванні тиском та активації поверхонь й інтенсифікації процесу зварювання. Вказані їх переваги та недоліки і показана доцільність розробки нових засобів активації поверхонь.

У результаті проведеного системного аналізу технологічних процесів дифузійного та електроконтактного зварювання встановлено, що існуючі технології зварювання тиском не в повній мірі задовольняють сучасним вимогам до прецизійності зварних з'єднань. В літературі відсутня інформація щодо основ, принципів та засобів отримання таких прецизійних з'єднань зварюванням тиском.

Сформульовані напрямки дослідження в дисертаційній роботі.

**У другому розділі** наведено перелік матеріалів, які використовуються в роботі, їх властивості, описано технологічні параметри устаткування, методика підготовки зразків та проведення досліджень.

**У третьому розділі** розглянуто та описано розроблену математичну модель спільного розвитку пружних деформацій, миттєвої пластичності і повзучості для умов високотемпературного стиснення зразків з конкретного металу при їх зварюванні тиском, яка дозволяє оцінити вплив основних факторів на прецизійність зварних з'єднань та обрати оптимальні режими зварювання.

За результатами проведених численних експериментів побудовані діаграми, що дозволяють при різних температурах зварювання визначати оптимальне співвідношення тиску і часу витримки для досягнення необхідного рівня деформації матеріалів, що з'єднуються. Порівняльний аналіз експериментальних даних та даних, отриманих за допомогою розробленої методики, показав співпадіння результатів на 90 %, що свідчить про ефективність застосування даної методики та можливість її використання при

розробці конкретних технологій прецизійного зварювання тиском різних матеріалів.

**У четвертому** розділі досліджено здатність до прецизійного зварювання тиском металевих матеріалів з модифікацією поверхневих шарів. Встановлено, що при іонній модифікації збільшення тривалості оброблення та прискорюючої напруги дозволяє суттєво розширити розміри зони взаємодії при зварюванні різнорідних матеріалів. Вдосконалено технологію зварювання тиском міді з молібденом та хромом з використанням модифікованих іонною обробкою прошарків. Встановлено доцільність для прецизійного зварювання тиском модифікації поверхневих шарів металів низькоенергетичною іонною обробкою в плазмі тліючого розряду. Показано, що іонна обробка дозволяє в процесі зварювання зменшувати зусилля стискання деталей і підвищувати прецизійність отриманих зварних з'єднань.

**У п'ятому** розділі досліджено здатність до прецизійного зварювання тиском однорідних металевих матеріалів з локалізацією теплової та механічної енергії в стику. Встановлено, що застосування перфорованого прошарку з матеріалу, що має високий електричний опір дозволяє додатково локалізувати температурне поле та інтенсифікувати мікропластичну деформацію у стику при нагріві імпульсом струму. Розроблено новий спосіб дифузійного зварювання металевих деталей через прошарок та технологію низькотемпературного з'єднання вольфрамокобальтових твердих сплавів.

Встановлено, що застосування проміжних тонких прошарків із зварювального матеріалу при електроконтактному зварюванні дозволяє локалізувати теплову енергію в стику та підвищити прецизійність зварних з'єднань. Розроблено нову технологію електроконтактного точкового та стикового зварювання опором алюмінію через тонкі проміжні прошарки з алюмінію. Показано, що міцність зварних з'єднань, отриманих на оптимальних режимах складає 95-100% міцності основного металу, без зміни хімічного складу та властивостей перехідної зони, при деформації основного матеріалу не більше 2 %.

**У шостому** розділі досліджено можливість використання хімічної активації для прецизійного зварювання однорідних матеріалів. Вдосконалено

технологічний процес видалення оксидної плівки з поверхні алюмінію та його сплавів й утворення фізичного контакту при дифузійному зварюванні за рахунок використання нових засобів створення рідких металевих прошарків Al-Si. Показано, що видалення оксидної плівки з поверхні алюмінію та його сплавів й утворення фізичного контакту при дифузійному зварюванні відбувається при змочуванні контактуючих поверхонь рідким металевим прошарком Al-Si, що виникає при виділенні вільного Si при попередньому введенні в контакт суміші складу  $\text{Na}_2\text{SiO}_3\text{-HCl-Mg}$  або у вигляді напиленого шару Si на алюмінієву фольгу. Розроблено спосіб дифузійного зварювання у вакуумі алюмінію та його сплавів з використанням проміжного хімічно активного прошарку, який дозволяє отримати з'єднання деталей з алюмінію та його сплавів з міцністю до 90 % від міцності основного матеріалу, при величині відносної деформації порядку 2 %.

Встановлено, що отримання прецизійного зварного з'єднання при зварюванні тиском у твердій фазі вуглецевої сталі визначається механічною обробкою поверхонь, параметрами процесу і наявністю проміжного шару вуглеводневої суміші. Запропоновано технологію зварювання тиском сталі 45, яка дозволяє отримувати якісні нероз'ємні з'єднання при деформації основних матеріалів менше 1 %.

**У цьому розділі досліджено можливість використання наноструктурованих прошарків для прецизійного дифузійного зварювання важкодеформуємих та напівпровідникових матеріалів. Показано, що при зварюванні вуглець-вуглецевого композиційного матеріалу з алюмінієм титану та жароміцного нікелевого сплаву використання багатошарових фольг сприяє активному протіканню дифузійних процесів з формуванням в стику однорідної за хімічним складом дифузійної зони та забезпечує формування якісних зварних з'єднань.**

Розроблено спосіб дифузійного зварювання у вакуумі через суцільний прошарок у вигляді фольги з пористістю 15-30%. Встановлено, що використання пористої фольги дозволяє зменшити температуру зварювання на 30-35 % у порівнянні зі зварюванням без прошарку, що має визначальне значення для прецизійного зварювання тиском. Встановлено ефективність

використання пористих фольг з нікелю для дифузійного зварювання напівпровідникового матеріалу  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  з міддю М1. Показано, що міцність зварного з'єднання  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  з міддю, отриманого через пористу фольгу з нікелю, складає 10 МПа, що в 2 рази більше у порівнянні зі з'єднаннями, отриманими напругу. При цьому деформація основних матеріалів не перевищує 0,5 %.

**У восьмому** розділі досліджено можливість використання поверхневих фізико-хімічних процесів, що протікають самовільно, як засіб активації поверхонь, які зварюються, при обмеженні рівня пластичної деформації. Встановлено, що міцність зварних з'єднань, отриманих із застосуванням сублімованих прошарків, на 15-20 % більше міцності з'єднань, зварених без прошарку. Розроблено новий технологічний процес прецизійного дифузійного зварювання міді з тугоплавкими металами та титаном з використанням спеціалізованої оснастки, яка дозволяє здійснювати зварювання через сублімовані прошарки за один цикл в одній робочій камері. Показано, що при зварюванні на оптимальних режимах деформація основних матеріалів не перевищує 1 %, а міцність зварних з'єднань досягає 90 % міцності основного матеріалу. Запропоновано модель формування нероз'ємних з'єднань при зварюванні в твердій фазі з використанням поверхневих фізико-хімічних процесів.

**У дев'ятому** розділі розглянуто технологічні аспекти і рекомендації з практичного використання запропонованих засобів активації поверхонь, що зварюються, для прецизійного зварювання тиском однорідних та різнорідних матеріалів. Створено методологію управління процесом перетворення ультратонкого поверхневого шару в пластичний, активований стан або рідину при прецизійному зварюванні тиском. Розроблено типову загальну технологію отримання прецизійних нероз'ємних з'єднань зварюванням тиском.

**Висновки** відтворюють узагальнену оцінку результатів наукових досліджень, наведених в дисертаційній роботі.

**Ступінь обґрунтованості й достовірності наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації.** підтверджується використанням широкого кола класичних методів досліджень матеріалів.

Отримані автором наукові результати у відповідності до поставлених задач досліджень є логічними, не суперечать фундаментальним фізичним та математичним закономірностям. Достовірність висновків і рекомендацій практичного характеру підтверджується використанням апробованих методик та обґрунтованим обсягом експериментальних досліджень.

### **Наукова новизна роботи**

Робота має наукову новизну, яка полягає в створенні наукових основ та закономірностей формування прецизійних з'єднань при зварюванні тиском, із вирішенням проблеми активації поверхонь, що зварюються, для утворення якісних з'єднань при мінімально можливому рівні деформації основних матеріалів, визначення оптимальних режимів зварювання.

В роботі отримано нові науково обґрунтовані результати, серед яких вперше:

- розроблено термомеханічну модель процесу прецизійного зварювання, яка дозволяє оцінити вплив основних факторів на прецизійність зварних з'єднань та обрати режими зварювання; розроблено методику розрахунку, яка дозволяє на основі вихідних даних про матеріал деталі, що зварюється, та температуру нагріву отримувати значення тиску та час зварювання для забезпечення допустимого рівня деформації основного матеріалу;

- встановлено, що ефективним засобом локалізації теплової та механічної енергії в стику при електроконтактному зварюванні є застосування перфорованого прошарку з матеріалу, що має високий електричний опір;

- встановлено ефективність використання поверхневих фізико-хімічних процесів для прецизійного зварювання тиском у вакуумі різнорідних металів;

- встановлено, що ефективним засобом локалізації теплової енергії в стику та активації поверхонь при електроконтактному зварюванні є використання тонких прошарків зі зварювального матеріалу; застосування тонких прошарків із зварювального матеріалу дозволяє підвищити прецизійність та міцність зварних з'єднань; показано, що міцність зварних з'єднань з алюмінію отриманих електроконтактним зварюванням через тонкі прошарки з алюмінію складає 95-100% міцності основного металу при

відносній деформації основного матеріалу порядку 2 %.

Отримали подальший розвиток:

– теоретичні основи твердофазного з'єднання та встановлено закономірності формування прецизійних нероз'ємних з'єднань при зварюванні тиском; показано, що основною вимогою для забезпечення прецизійності є перетворення в процесі зварювання ультратонкого поверхневого шару в пластичний, активований стан або рідину за рахунок різних засобів активації;

– дослідження процесу хімічної активації поверхонь; вдосконалено технологічний процес видалення оксидної плівки з поверхні алюмінію та його сплавів й утворення фізичного контакту при дифузійному зварюванні за рахунок використання нового засобу створення рідких металевих прошарків шляхом внесення в контакт суміші складу  $\text{Na}_2\text{SiO}_3\text{-HCl-Mg}$ .

– дослідження поверхневих фізико-хімічних процесів; показано, що конденсований шар одного з металів, що зварюється, на поверхні іншого дозволяє підвищити на 15-20 % міцність з'єднань при інших рівних умовах.

### **Оцінка висновків здобувача щодо значущості його праці для науки та практики**

Результатом дисертаційної роботи Новомлинця О.О. є розвиток теоретичних основ твердофазного з'єднання матеріалів та системного дослідження засобів активації поверхонь, термомеханічного циклу зварювання та розробка методики розрахунку параметрів процесу зварювання тиском у залежності від допустимого рівня деформації основних матеріалів. Вирішена важлива науково-технічна проблема забезпечення фізичної та хімічної взаємодії матеріалів, що зварюються, при залишковій деформації деталей на рівні 1-2 %, створення методології управління процесом перетворення ультратонкого поверхневого шару в пластичний, активований стан або рідину.

На підставі отриманих результатів розроблено нові засоби активації поверхонь, що зварюються, та нові технології прецизійного зварювання тиском різних однорідних та різнорідних матеріалів. Отримані результати роботи можуть бути застосовані для вдосконалення існуючих технологій зварювання тиском. Результати також можуть бути рекомендовані для широкого

застосування в освітньому процесі.

На основі проведених досліджень розроблена типова загальна технологія отримання прецизійних нероз'ємних з'єднань зварюванням тиском, ефективність якої встановлено: при розробці технології зварювання тиском *алмазно-твердосплавних пластин з твердим сплавом*, що використовується при виготовленні ріжучого інструменту для Інституту надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України (м. Київ); при розробці технології виготовлення *композитних високоміцних пластин* на основі інтерметаліду – алюмініду титану для державного науково-випробувального центру Збройних Сил України (м. Чернігів); при розробці технології дифузійного зварювання у вакуумі через проміжний хімічно активний прошарок для виготовлення прецизійних *корпусних вузлів спеціального призначення* з алюмінієвого сплаву АМцМ для ПАТ «Чернігівський завод радіоприладів» (дану технологію також апробовано під час дослідно-виробничої перевірки на ДП «Харківське державне авіаційне виробниче підприємство»).

### **Повнота викладу наукових положень в опублікованих працях**

Основні положення дисертації опубліковані у 52 наукових працях: 25 статей у фахових виданнях, з яких 11 у виданнях, що входять до наукометричних баз даних (в т.ч. Web of Science, Scopus, Index Copernicus та інших) та 4 у фахових виданнях інших держав; 21 у збірниках наукових праць і матеріалах конференцій (матеріали 2 конференцій входять до наукометричної бази даних Scopus); отримано 6 патентів України.

Опубліковані матеріали дисертації в достатній мірі висвітлюють результати досліджень, що виносяться на захист.

### **Оцінювання змісту роботи та відповідність її встановленим вимогам**

В цілому дисертаційна робота відповідає вимогам ДСТУ 3008:2015 "Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення" та вимогам нормативних документів щодо оформлення дисертацій та авторефератів. Робота написана професійною науковою мовою з використанням сучасної української наукової термінології. Автор демонструє вміння стисло викладати



суть проблеми та грамотно пояснювати запропоновані рішення.

Дисертація складається із вступу, дев'яти розділів основної частини, висновків, шести додатків та списку використаних джерел. Загальний обсяг роботи складає 354 сторінках і містить 36 таблиць, 147 рисунків та список використаних джерел з 253 найменувань на 27 сторінках.

### **Апробація роботи**

Основні положення дисертаційної роботи доповідалися та обговорювалися на міжнародних і національних галузевих науково-технічних конференціях: «Зварювання та споріднені технології» (м. Київ, Україна ІЕЗ ім. Є.О. Патона, 2005, 2007, 2013 рр.); «Сварка и родственные процессы в промышленности» (м. Київ, Україна, 2006 р.); «Быстрозакаленные материалы и покрытия» (м. Москва, МАТІ, Росія, 2008 р.); «Spanish Technical Sessions on Welding» (м. Мадрид, Іспанія, 2010 р.); «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем» (м. Чернігів, ЧНТУ, Україна, 2011, 2012, 2016 рр.); «Сварочное производство в машиностроении: перспективы развития» (м. Краматорськ, ДГМА, Україна, 2012 р.); «Университетская наука-2014» (м. Маріуполь, ПГТУ, Україна, 2014 р.); «Проблеми зварювання, споріднених процесів і технологій» (м. Миколаїв, НУК, Україна, 2014 р.); «Ukraine – EU. Modern technology, business and law» (Словаччина, м. Кошице, 2015 р., м. Братислава, 2016 р.); «International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO)» (м. Київ, НТУУ «КПІ», Україна, 2016 р.); «International Young Scientists Forum on Applied Physics and Engineering «YSF-2016»» (м. Харків, ІРЕ ім. О.Я.Усикова, Україна, 2016 р.).

Апробацій і публікацій достатньо.

### **Недоліки та зауваження до дисертації та автореферату**

1. В машині для точкового зварювання МТ-1216 процес зварювання здійснюється при живленні зони нагріву від джерела з жорсткими Вольт-Амперними характеристиками (ВАХ). На мою думку, управління формою ВАХ джерела живлення в процесі формування зварної точки дозволило би розширити можливості запропонованої автором технології.

2. Немає аналізу впливу форми та відносного розміщення отворів в перфорованому прошарку (розділ 5.1.1.3) на процес зварювання. Також доцільно було б проаналізувати, чи можливе підвищення якості отриманого зварного з'єднання за рахунок застосування перфорованого прошарку зі змінним коефіцієнтом перфорації, наприклад, збільшити його по краях прошарку. Чи буде при цьому спостерігатися зміна теплового поля під час зварювання і динаміка формування розплавленого ядра?

3. При дослідженні прецизійного електроконтактного точкового зварювання алюмінію через тонкі прошарки із алюмінієвої фольги автором отримані результати, з яких робиться висновок, що використання 4 шарів фольги є оптимальним для заданого режиму зварювання алюмінієвих пластин розміром 2x20x100 мм. Крім того, зазначається, що за заданим режимом зварювання формування з'єднання алюмінію без прошарку не вдалося отримати. Можливо, треба було підібрати такий режим, в якому з'єднання алюмінієвих пластин без додаткового прошарку було б можливе. Це дало б можливість порівняти рівень деформації основного металу в обох випадках.

4. В дисертаційній роботі не вказана кількість дослідів, з яких зроблена статистична виборка, що мало б доводити достовірність отриманих результатів міцності при використанні різної кількості шарів алюмінієвої фольги у випадку коли результати експериментальних досліджень не збігаються з результатами моделювання.

Наведені зауваження не знижують загального позитивного враження від дисертації, її наукової та практичної цінності.

### **Висновок**

Дисертаційна робота Новомлинця Олега Олександровича на тему «Наукові та технологічні основи отримання прецизійних нероз'ємних з'єднань зварюванням тиском» відповідає паспорту спеціальності 05.03.06 – Зварювання та споріднені процеси і технології. Дисертаційна робота є закінченим науковим дослідженням, присвяченим вирішенню актуальної проблеми отримання прецизійних з'єднань зварюванням тиском різних однорідних та різнорідних

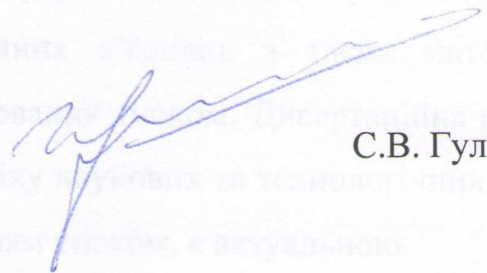
матеріалів. Отримані автором результати достовірні, виявлені факти та висновки обґрунтовані. Автореферат за структурою і змістом відповідає дисертації.

Результати наукових положень, за якими здобувач захистив кандидатську дисертацію, не виносяться на захист його докторської дисертації.

Вважаю, що за своїм науковим рівнем робота відповідає вимогам п. 9, 10 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567 до дисертаційних робіт на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.03.06 – «Зварювання та споріднені процеси і технології», а здобувач Новомлинець Олег Олександрович заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора технічних наук за вказаною спеціальністю.

**Офіційний опонент:**

Доктор технічних наук, професор,  
в.о. зав. кафедри систем  
автоматизації та електроприводу  
Приазовського державного  
технічного університету



С.В. Гулаков

*Підпис Гулакова С.В.*

ЗАСВІДЧУЮ  
НАЧ. ЗАГАЛЬНОГО  
ВІДДІЛУ

*Засв.* Т. О. 8

14.03.2014

