

В. 487
25 03 2021

ВІДЗИВ

офіційного опонента к. т. н., проф. Костіна О.М. на дисертаційну роботу
Гринюк Андрія Андрійовича
«Плазмово-дугове зварювання алюмінієвих сплавів різнополярним асиметричним струмом».

що представлена на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.03.06 — Зварювання та споріднені процеси і технології

Дисертаційна робота має загальний обсяг 197 сторінок, включає 111 малюнків, 25 таблиць і складається із вступу, шести основних розділів, загальних висновків та списку використаних джерел із 101 найменування.

Дисертація Гринюка А.А. присвячена дослідженню особливостей процесів плазмово-дугового зварювання різнополярним асиметричним струмом алюмінієвих сплавів.

Актуальність обраної теми дисертації. Сучасний етап розвитку промислового виробництва вимагає впровадження ефективних технологій зварювання конструкцій із високоміцних алюмінієвих сплавів різних систем легування (зокрема, Al-Cu-Mn, Al-Cu-Li, Al-Mg-Li). Конструкції з цих сплавів широко застосовують в авіакосмічній промисловості, судно- та вагонобудуванні, при виготовленні автомобільного транспорту тощо. Традиційним способом зварювання, в цьому випадку, є добре відомий процес аргонодугового зварювання неплавким електродом різнополярним струмом (TIG) із розробкою крайок, що з'єднуються, який виконують, переважно, за декілька проходів. Високоміцні алюмінієві сплави, особливо із вмістом літію, в цьому випадку схильні до утворення дефектів у вигляді оксидних включень. Крім того, помірне тепло, яке виділяється під час зварювання з не високою концентрацією енергії в плямі нагрівання, сприяє збільшенню протяжності зони термічного впливу та зниженню її характеристик міцності та пластичності. Підвищення продуктивності та якості зварювання таких конструкцій можливо за рахунок використання однопрохідного дугового зварювання з більш високою концентрацією теплової енергії. Оптимальним, в цьому випадку, є використання способу плазмово-дугового зварювання, яке забезпечує щільність потужності більше 300 Вт/мм^2 , що, порівняно із TIG зварюванням, в 5 разів вище і дозволяє збільшувати швидкість зварювання щонайменше в 3 рази. Однак, механізми та природа протікання фізичних явищ при формуванні зварних з'єднань в наведених умовах детально не вивчено, що потребує системних досліджень. Тому, дослідження фізико-металургійних процесів та встановлення загальних закономірностей для отримання якісних зварних швів комплексно легованих алюмінієвих сплавів при високих швидкостях плазмово-дугового зварювання є безумовно актуальними, а робота своєчасною.

Про актуальність роботи свідчить також її зв'язок з науково-дослідними темами Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, які були

забезпечені бюджетним фінансуванням в рамках фундаментальних досліджень, що виконувались протягом 2003-2020 років за безпосередньої участі автора.

Метою роботи є встановлення закономірностей впливу основних параметрів процесу плазмово-дугового зварювання різнополярним асиметричним струмом на формування структури, механічних властивостей, запобігання утворення характерних дефектів та напружено-деформований стан в з'єднаннях із високоміцних алюмінієвих сплавів, для створення на цій базі методики розрахунку режимів зварювання та комплексів обладнання ручного, автоматичного та роботизованого зварювання.

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовані мета та основні завдання дослідження, встановлено предмет та об'єкт дослідження, вказано наукову новизну роботи та практичне значення отриманих результатів, визначено особистий внесок автора, сформульовані основні положення, що винесені на захист.

У **першому розділі** на основі аналізу літературних даних наведено аналіз особливостей зварювання алюмінієвих сплавів електричною дугою різнополярним асиметричним струмом.

Показано, що основною проблемою зварювання високоміцних алюмінієвих сплавів є утворення характерних дефектів у вигляді пор та включень оксидів, що впливають на якість зварювання. Автором ретельно вивчено світовий досвід отримання таких з'єднань різними способами зварювання, проаналізовано недоліки існуючих рішень. На основі проведеного аналізу визначена мета та сформульовано завдання досліджень.

У **другому розділі** описано оригінальні методики, які включають лабораторний стенд для проведення досліджень фізико-металургійних процесів при зварюванні, що дозволяють вивчати, в тому числі, температурні поля та напружено-деформований стан зразків при зварюванні.

Наведено обладнання для металографічних досліджень та механічних випробувань зразків зварних з'єднань.

Надано характеристику дослідних матеріалів, в тому числі зварювальних.

У **третьому розділі** наведені результати досліджень закономірностей впливу основних технологічних факторів плазмово-дугового зварювання на особливості протікання фізико-металургійних процесів при формуванні зварних з'єднань із алюмінієвих сплавів.

Проаналізовано динаміку впливу вольт-амперної характеристики дуги різнополярного асиметричного струму на енергетичні параметри та характер проплавлення металу при зварюванні. Вивчено вплив технологічних параметрів зварювання (довжина дуги, сила струму, витрати плазмоутворюючого газу, швидкість зварювання, геометрія плазмотрону, частота та баланс різнополярного асиметричного струму, склад захисного середовища та ін.), та їх взаємного впливу на геометричні характеристики та якість зварних з'єднань.

Зокрема, встановлено, що зростання витрат плазмоутворюючого газу, при незмінних значеннях сили струму, діаметрі каналу плазмоутворюючого сопла, частоті різнополярного струму та його балансі викликає збільшення напруги

стисненої дуги до 18%. Збільшення проплавлення при зростанні витрат плазмоутворюючого газу обумовлюється двома факторами: зростання потужності стисненої дуги за рахунок зростання напруги та збільшення силового впливу на рідкий метал ванни саме газової складової. Максимально-допустимі витрати плазмоутворюючого газу, при яких зварний шов на моделі формується без дефектів залежить від величини зварювального струму та об'єму рідкого металу зварювальної ванни. Встановлено, що при зростанні частоти різнополярного струму з 50 до 200 Гц глибина проплавлення збільшується більш як у 2 рази. При зміщенні балансу різнополярного струму в бік оберненої полярності (зміна балансу від 85% прямої полярності до 50% прямої полярності) зростає середнє значення напруги на стисненій дузі. Збільшення частки оберненої полярності з 85% до 50% викликає зменшення глибини проплавлення в 2 рази. Закономірності зміні глибини та ширини шва в залежності від балансу різнополярного струму діють у всьому діапазоні частот різнополярного струму від 50 до 200 Гц. Встановлено, що при плазмо-дуговому зварюванні різнополярним струмом додатковими факторами, що впливають на геометрію зварного шва, окрім традиційних для аргонодугового зварювання сили струму, швидкості зварювання та складу захисного газу, є також частота різнополярного струму, величина частки прямої полярності різнополярного струму та витрати плазмоутворюючого газу.

В четвертому розділі автором досліджено особливості формування зварних з'єднань із високоміцних алюмінієвих сплавів систем Al-Mg-Mn, Al-Cu-Mn, Al-Cu-Li, Al-Mg-Li, шляхи управління структурою та мінімізації дефектів, що характерні для дугового зварювання, та створено методику розрахунку параметрів плазмово-дугового зварювання.

Вивчено особливості формування кореневої частини швів при використанні підкладок з формуючими канавками та у режимі наскрізного проникнення плазмового струменя. Визначено умови запобігання утворенню газових пор при зварюванні алюмінієво-літєвих сплавів вільною та стисненою дугою. Розроблено методи запобігання утворенню включень оксидної плівки у високоміцних сплавах при зварюванні неплавким електродом з різним стисканням дуги потоком газу. Розроблено методику розрахунку параметрів режиму плазмово-дугового зварювання різнополярним асиметричним струмом.

Зокрема, встановлено, що формування та підтримання сталого процесу плазмово-дугового зварювання з наскрізним проплавленням стає можливим при урахуванні взаємного впливу таких основних параметрів як сила струму, швидкість зварювання, витрати плазмоутворюючого газу, швидкість подавання присадного дроту, баланс струму та частота різнополярного струму. Ефективним заходом боротьби із газовими порами є модуляція зварювального струму з частотою 5 Гц. Імпульсне подавання плазмоутворюючого газу дозволяє так само ефективно запобігати утворенню газових пор, як і модуляція зварювальним струмом. Наявність зазору між деталями, що зварюються, не сприяє утворенню включень оксидної плівки, як при формуванні з'єднання на підкладці, так і в режимі наскрізного проникнення плазмового струменя.

Розроблена методика розрахунку параметрів режиму плазмово-дугового зварювання різнополярним асиметричним струмом, яка враховує теплофізичні властивості алюмінієвих сплавів, товщину зварюваного металу та швидкість зварювання. Достовірність методики розрахунку не перевищує 2%.

В п'ятому розділі дана комплексна оцінка впливу швидкості плазмово-дугового зварювання на механічні властивості, показники довговічності та напружено-деформований стан зварних з'єднань алюмінієвих сплавів.

Вивчено характер формування швів, структури та зміни механічних властивостей з'єднань, способу формування кореневої частини шва на структуру та механічні властивості зварних з'єднань при статичному одновісному та позацентровому навантаженнях, розподіл температурних полів та напружено-деформований стан в зварних з'єднаннях залежно від швидкості плазмово-дугового зварювання. Виконано порівняльний аналіз процесів аргонодугового та плазмово-дугового зварювання різнополярним асиметричним струмом.

Зокрема, встановлено, що при збільшенні швидкості зварювання до 300 см/хв кількість пор в шві збільшується, але їх максимальні розміри зменшуються у 1,5 – 2 рази у порівнянні з розмірами пор при швидкості зварювання 30 см/хв. Встановлено, що швидкість зварювання має змінний вплив на міцність зварного з'єднання, що корелюється також кількістю міді в складі алюмінієвого сплаву (Al-3%Cu-1,8%Li). З ростом швидкості плазмово-дугового зварювання різнополярним струмом від 30 до 300 см/хв як у сплавів системи легування Al-Cu-Mn, так і у сплавів системи Al-Mg-Mn спостерігається перехід від структури з центральним кристалітом до дендритної структури. При швидкості зварювання 300 см/хв дендрити своїми більшими осями орієнтовані перпендикулярно до осі шва. Зварні з'єднання сплавів 1420 та 1460 товщиною 3 – 4 мм, що були отримані плазмово-дуговим зварюванням на підкладці з формуючою канавкою, мають більш високі показники руйнуючого напруження σ_p при позацентровому навантаженні (відповідно 401 МПа та 403 МПа), ніж зразки, що були отримані звичайним аргонодуговим зварюванням неплавким електродом (відповідно 304 МПа та 293 МПа). Встановлено, що при плазмово-дуговому зварюванні різнополярним асиметричним струмом значення показників напружено-деформованого стану різко знижуються до певної швидкості зварювання. Гранична швидкість, після досягнення якої не відбувається різке зменшення показників напружено-деформованого стану залежить від товщини металу, що зварюється. Розповсюдження температури в алюмінієвих листах також залежить від швидкості зварювання. Так для листів товщиною 2,0 мм різних систем легування зростання швидкості плазмово-дугового зварювання від 40 см/хв до 120 см/хв викликає зменшення температури на ділянках, що віддалені від осі шва не більше 10 мм, на 200-400°C. Зростання швидкості з 120 см/хв до 200 см/хв (ті ж самі 80 см/хв) викликає зменшення температури в тих самих точках не більше як на 40-50°C. Подальше збільшення швидкості зварювання до 300 см/хв викликає зменшення температури на 20-30°C. В цілому зварні з'єднання алюмінієвих сплавів різних

систем легування, що були отримані плазмово-дуговим зварюванням різнополярним асиметричним струмом, мають на 10-30% вищі значення показників міцності як зварного з'єднання, так і металу шва, порівняно із аргонодуговим зварюванням вольфрамовим електродом різнополярним струмом.

Шостий розділ присвячено розробці апаратно-технологічних основ створення обладнання та промислових технологій швидкісного плазмово-дугового зварювання алюмінієвих сплавів.

Виконано комп'ютерне моделювання конструкції та натурні випробування універсального плазмотрону для автоматичного шовного та точкового плазмово-дугового зварювання алюмінієвих сплавів. Розроблено конструкцію плазмового модулю для ручного та автоматичного плазмово-дугового зварювання. Показано перспективи використання стисненої дуги у комбінованих способах швидкісного дугового зварювання алюмінієвих сплавів.

Зокрема, за допомогою програмних пакетів було розроблено комп'ютерну модель плазмотрона для зварювання на струмах до 400 А, яка була вдало реалізована при плазмово-дуговому зварюванні різнополярним асиметричним струмом алюмінієвих сплавів товщиною від 1,0 до 10,0 мм. Розроблено конструкцію та випробувано дослідно-промисловий зразок плазмового модуля для комплектації установок плазмово-дугового зварювання різнополярним асиметричним струмом. Розроблено методику виготовлення автоматизованих та роботизованих комплексів для плазмово-дугового зварювання різнополярним асиметричним струмом алюмінієвих сплавів яка була реалізована в робочих промислових комплексах для КНР.

Слід додати, що при наведеному вище огляді змісту розділів дисертації коротко відзначені ті результати, які є найбільш вагомими.

Ступінь обґрунтованості наукових положень і висновків дисертації

Основні наукові положення та висновки дисертаційної роботи мають теоретичні та експериментальні підтвердження. Обґрунтованість наукових положень і рекомендацій доведена методами математичного моделювання із застосуванням сучасних програмних пакетів. Зокрема, для вирішення поставлених завдань і отримання основних результатів дисертаційної роботи було застосовано такі сучасні методи дослідження, як математичне моделювання, а також аналітичні та чисельні методи дослідження розповсюдження тепла в зварних пластинах при різних швидкостях переміщення джерела нагрівання, вимірювання геометричних параметрів зварних з'єднань, металографічні дослідження отриманих структур за допомогою оптичної та електронної мікроскопії, а також рентгеноструктурного аналізу, механічні випробування зварних з'єднань методами статичного і позацентрового розтягування, дослідження напружено-деформованого стану після зварювання.

Отримані автором теоретичні закономірності щодо формування зварних з'єднань плазмово-дуговим зварюванням різнополярним асиметричним струмом алюмінієвих сплавів не мають протиріч з існуючими теоретичними

уявленнями і накопиченим досвідом виготовлення та експлуатації таких конструкційних елементів. Наукові положення, висновки і рекомендації узгоджуються з існуючими концепціями. Їх достатня обґрунтованість підтверджується визнанням на чисельних відомих міжнародних конференціях із зварювання та споріднених процесів.

Достовірність одержаних результатів. Основні наукові результати та висновки дисертаційної роботи мають теоретичні та експериментальні підтвердження.

Про достовірність наукових положень роботи свідчить використання сучасних методів математичного аналізу. Якісну оцінку зміни показників напружено-деформованого стану в зразках при різних швидкостях плазмодугового зварювання виконували за допомогою інженерних розрахунків із застосуванням методики Трочуна та комп'ютерного пакету програм MatCAD. Для моделювання газодинаміки був використаний розрахунковий програмний пакет Solidworks Flow Simulation. Розподіл температурних полів в зварних з'єднаннях залежно від швидкості плазмодугового зварювання визначався за допомогою методики Рикаліна. Достовірність результатів та висновків роботи підтверджена експериментально шляхом порівняння розрахункових значень діючих температур та напружень з результатами вимірювань. Отримані розрахунковим шляхом результати мають добру збіжність з експериментальними даними.

Достовірність наукових положень, висновків та рекомендацій роботи підтверджені результатами зварювання та чисельними випробуваннями реальних зразків зварних з'єднань, промислового застосування запропонованих підходів, розроблених технологій та обладнання.

Наукова новизна одержаних результатів:

Сукупність теоретичних положень і практичних результатів роботи може бути кваліфікована як аналіз, теоретичне узагальнення і рішення науково-прикладної задачі, що може бути використане при виготовленні конструкцій із комплексно легованих алюмінієвих сплавів способом плазмодугового зварювання різнополярним асиметричним струмом.

Автором вперше встановлено ефект видалення газових включень з рідкого металу зварювальної ванни за рахунок її коливання низькочастотними (4-6 Гц) пульсаціями струменю плазмоутворюючого газу, який дає однакове з модуляцією зварювальним струмом зменшення у 2 рази кількості пор у порівнянні з плазмодуговим зварюванням без додаткових коливань зварювальної ванни.

Встановлено, що границя міцності та ударна в'язкість при позацинтровому розтягуванні вища на 30% у швів алюміній-літійєвих сплавів, отриманих плазмодуговим зварюванням різнополярним струмом у порівнянні із швами, отриманими аргонодуговим зварюванням неплавким електродом, при цьому зразки, отримані з використанням підкладок, мають на 10% вищі показники міцності та ударної в'язкості при одновісному та

позацентровому навантаженні у порівнянні із швами, що були отримані без використання підкладних елементів.

Виявлено закономірності впливу швидкості зварювання на зміну механічних властивостей високоміцних алюмінієвих сплавів систем легування Al-5Mg-Mn, Al-3Cu-1.8Li та Al-6Cu-Mn товщиною 2 мм. При цьому, встановлено ефект зростання показників міцності зварних з'єднань до досягнення «пікової» швидкості, з їх подальшим спадом, обумовленим погіршенням умов формування зварного з'єднання за рахунок утворення підрізів та збільшення кількості пор в металі шва.

Встановлено, що у алюмінієвих сплавів (Al-6Cu-Mn та Al-3Cu-1.8Li), які термічно зміцнюються, спостерігається стрімке зростання показників міцності при досягненні «пікової» швидкості зварювання, при цьому, зменшення кількості міді в металі шва дозволяє збільшити показник «пікової» швидкості зі 120 см/хв до 200 см/хв.

Виявлено, що залишкові деформації різко зменшуються в декілька разів при досягненні певної пікової швидкості зварювання, значення яких обернено пропорційно товщині металу, що зварюється, а подальше збільшення швидкості зварювання не викликає суттєвого зменшення залишкових деформацій.

Запропоновано методику розрахунку основних параметрів плазмово-дугового зварювання різнополярним асиметричним струмом алюмінієвих сплавів, яка є оберненою задачею обчислення температури при швидкісному (більше ніж 20 см/хв) зварюванні, яка враховує теплофізичні властивості алюмінієвих сплавів та зміну їх геометрії в залежності від швидкості зварювання.

Практичне значення роботи полягає у встановленні закономірностей процесу плазмово-дугового зварювання, а також вимоги до умов їх реалізації, що дозволили створити рекомендації з модернізації обладнання, яке забезпечує якісне з'єднання алюмінієвих сплавів.

Зокрема, розроблені та експериментально перевірені технології плазмово-дугового зварювання різнополярним асиметричним струмом за один прохід без розробки крайок листів товщиною до 10 мм алюмінієвих сплавів різного хімічного складу. Створено плазмотрон оригінальної конструкції із підвищеним ресурсом роботи, який дозволяє здійснювати стабільний процес плазмово-дугового зварювання різнополярним струмом на струмах до 450 А, на основі якого розроблено та виготовлено лінійку промислових плазмотронів для плазмового точкового зварювання та комбінованого зварювання стисненою дугою неплавким та плавким електродом без утворення спільної ванни. Розроблено оригінальну конструкцію плазмового модулю, на базі якого із залученням серійних джерел живлення для аргондугового зварювання неплавким електродом створені комплекси обладнання для ручного, механізованого та автоматичного плазмово-дугового зварювання різнополярним асиметричним струмом. Результати досліджень використані при створенні промислової технології плазмово-дугового зварювання різнополярним струмом елементів електричної арматури авіаційних двигунів.

Впровадження результатів роботи. Розроблені автором технології та обладнання для плазмово-дугового зварювання різнополярним струмом алюмінієвих сплавів впроваджені у виробництво в Україні на ТОВ «НВЦ «ПЛАЗЕР» та реалізовані при виготовленні комплексів для ручного, автоматичного (роботизованого) зварювання, які в даний час експлуатуються на підприємствах, в тому числі і в КНР.

Повнота викладення основних результатів роботи в наукових фахових виданнях. Основні результати досліджень дисертації опубліковані в 27 наукових роботах, у тому числі 13 статей у наукових фахових виданнях (з них 3 статті у наукометричній базі Scopus), 2 патенти на винахід, 11 тез доповідей у збірках матеріалів конференцій.

Результати роботи достатньо широко висвітлені публікаціями в різних виданнях, наприклад, журналах «Автоматическая сварка», «Технологические системы», «American Scientific Journal», чисельних матеріалах міжнародних конференцій, тощо.

Висновки дисертації відображають найважливіші наукові та практичні результати роботи, у якій теоретично обґрунтовано та розроблено промислові технології та обладнання для плазмово-дугового зварювання різнополярним струмом конструкцій із комплексно легованих алюмінієвих сплавів, які відповідають діючим стандартам щодо якості зварних з'єднань.

Висновки сформульовані коректно та логічно, відповідно до змісту дисертації.

Зміст дисертації і автореферату ідентичний. Автореферат дисертації достатньо повно висвітлює наведені в самій дисертаційній роботі результати.

У цілому дисертація оформлена ретельно і грамотно, побудована логічно і зрозуміло, але є деякі зауваження і коментарі.

Зауваження та коментарі по дисертації

1. В авторефераті на стор. 6 автор посилається на вченого В.Є. Патон, потрібно писати Б.Є. Патон.

2. Терміна «плазмово-дугове зварювання», який автор використовує в дисертації, не існує, потрібно писати «плазмово-дугове зварювання».

3. В авторефераті задекларовано обсяг дисертації у 190 сторінок, по факту – 197 сторінок.

4. У першому розділі на стор. 21 наведена температура плавлення Al_2O_3 ~ 2030°C, що не є вірним, температура плавлення складає 2044°C.

5. Наведені в 2 розділі загальні стандартні відомості відносно зварюваності алюмінієвих сплавів, технологічних особливостей їх зварювання та характеристик зварювального обладнання можна було б скоротити, оскільки вони мають допоміжне значення і не стосуються методики та методів досліджень.

6. На рис. 5.4, 5.6 та 5.7 вісь ординат позначена як «міцність МПа», потрібно - «гранича міцності МПа». Теж саме стосується табл. 5.4.

7. Робота має деякі некоректності, неточності та описки. Наприклад, «від сінусоїдальної хвилі», стор. 23, «біль чутливими», стор. 25, «листової

напівфабрикат», стор. 36. «склад обидвох сплавів», стор. 150 та ін.: в главах 3, 4, 5 та 6 відсутні відомості щодо величини збільшення макро-мікроструктур та фотографій (рис. 3.3, 3.8, 3.10, 3.13, 3.15, 3.21, 3.22 та ін.; рис. 4.1 - 4.3, 4.8, 4.9, 4.11 та ін.; рис. 5.8, 5.9, 5.29 - 5.31 та ін.; рис. 6.14, 6.15, 6.16); по тексту дисертації автор позначає аргонодугове зварювання неплавким електродом абрєвіатурами АДЗНЕ, TIG, GTAW, що дещо ускладнює сприйняття роботи.

8. Для оптимізації геометричних параметрів швів автор використовує ГОСТ 14806-80 (стор. 121), що не діє, в цьому випадку доцільно посилатися на стандарт ДСТУ ISO 9692-3: 2019.

9. Автором наведено показники опору руйнування зварних з'єднань алюмінієво-літєвих сплавів товщиною 3-4 мм (КС, JS), та ударна в'язкість металу шва (КСV), але не зрозуміло, на яких зразках, в яких зонах з'єднання та при яких температурах вони визначались (табл. 5.2, стор. 140; табл. 5.3, стор. 156). Крім того, зазвичай, зварні з'єднання алюмінієвих сплавів не випробовують на ударний згин по Шарпі, це не регламентовано нормативними документами. Більш інформативними та обов'язковими є випробовування на поперековий згин, або злам, але такі результати в дисертації відсутні.

10. Аналіз мікроструктури зварних з'єднань сплавів 1420 та 1460 (стор. 141-142; стор. 157-158) надано за якісними критеріями «більше-менше», без визначення структурних складових та їх властивостей.

11. Розробка технології зварювання алюмінієвих сплавів повинна виконуватись відповідно до вимог стандартів ДСТУ EN ISO 15614-2:2016 та ДСТУ EN ISO 15609-1:2019, які в роботі не використовувались.

12. Розрахунок розподілу температурних полів в зварних з'єднаннях (розділ 5.3, стор. 143-146) не підтверджено експериментально. Теж саме стосується розрахунку напружено-деформованого стану в зварних з'єднаннях, які отримують зварюванням стисненою дугою з різними швидкостями зварювання (розділ 5.4, стор. 147-152).

13. Розділ 6 містить забагато матеріалу рекламного характеру, який не стосується безпосередньо теми дисертації.

Однак відзначені недоліки та зауваження не зменшують загального високого рівня роботи та цінності отриманих результатів.

Дисертація відповідає вимогам Департаменту атестації кадрів МОН України. Назва та зміст дисертації відповідають паспорту спеціальності 05.03.06 - Зварювання та споріднені процеси і технології як за формулою спеціальності, так і за напрямками досліджень.

Загальний висновок. Розглянуті вище результати дають підстави вважати, що дисертаційна робота Гринюк А. А. є завершеною науково-дослідною розробкою, яка присвячена актуальній проблемі дослідження особливостей процесів плазово-дугового зварювання різнополярним асиметричним струмом алюмінієвих сплавів та розробці високопродуктивної технології зварювання, що забезпечує отримання зварних з'єднань з високими характеристиками якості.

За обсягом виконаних досліджень, їх новизною, науковою та практичною значимістю одержаних результатів та їх рівнем, представлена робота відповідає вимогам п. 9, 11 «Порядку присудження наукових ступенів» щодо кандидатських дисертацій, а її автор Гринюк Андрій Андрійович заслуговує присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.03.06 — Зварювання та споріднені процеси і технології.

Офіційний опонент,
професор кафедри зварювального виробництва
Національного університету кораблебудування
імені адмірала Макарова,
кандидат технічних наук,
професор НУК



О.М. Костін

Підпис професора кафедри зварювального виробництва Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, к.т.н, професора НУК Костіна О.М. засвідчую:

Вчений секретар
Національного університету кораблебудування
імені адмірала Макарова



С.А. Уткіна

М.А. Макаров