

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання лабораторних робіт

з дисципліни «Зварювання різномірних і композитних матеріалів»

для студентів спеціальності G9 «Прикладна механіка»
освітніх програм «Технології та устаткування зварювання» та
«Відновлення та підвищення зносостійкості деталей та конструкцій»
усіх форм навчання

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Зварювання різнорідних і композитних матеріалів» для студентів спеціальності G9 «Прикладна механіка» освітніх програм «Технології та устаткування зварювання» та «Відновлення та підвищення зносостійкості деталей та конструкцій» усіх форм навчання / Укл.: Г.М. Лаптева. — Запоріжжя, НУ «Запорізька політехніка», 2024. – 38 с.

Укладач: Г.М. Лаптева, доцент, канд. техн. наук

Гаранти ОПП: О.Є. Капустян, доцент, канд. техн. наук
М.Ю. Осіпов, доцент, канд. техн. наук

Відповідальний
за випуск: Г.М. Лаптева, доцент, канд. техн. наук

ЗАТВЕРДЖЕНО:
на засіданні кафедри ІТЗ та МК
Протокол №5 від 29.11.2024 р.

Рекомендовано
до видання НМК ІФФ
Протокол №4
від 17.12.2024 р.

ЗМІСТ

1	Лабораторна робота №1 «Дослідження металургійних і технологічних умов створення різнорідних з'єднань».....	4
2	Лабораторна робота №2 «Дослідження особливостей будови і зварювання композитних матеріалів, маючих основу кольорових металів».....	10
3	Лабораторна робота №3 «Дослідження металургійних і технологічних умов створення різнорідних з'єднань на прикладі пари сталь – мідь».....	16
4	Лабораторна робота №4 «Дослідження металургійних і технологічних умов створення різнорідних зварних з'єднань на прикладі пари титан – алюміній».....	19
5	Лабораторна робота №5 «Дослідження металургійних і технологічних умов створення різнорідних зварних з'єднань на прикладі пари сталь-алюміній»	22
6	Лабораторна робота №6 «Дослідження металургійних і технологічних умов створення різнорідних зварних з'єднань на прикладі паримідь-алюміній».....	25
7	Лабораторна робота №7 «Дослідження процесу отримання зварних з'єднань різнорідних металів при дифузійному зварюванні в рідких середовищах».....	28

1 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1

Дослідження металургійних і технологічних умов створення різнорідних з'єднань

1.1 Мета роботи

Вивчити загальну методику підходу до рішення задачі зварювання пар різнорідних металів, ознайомитися з теоретичними основами утворення різнорідних зварних з'єднань.

1.2 Загальні відомості

Часто оптимальні експлуатаційні властивості виробів можна одержати лише при умові використання окремих зварних вузлів з різнорідних металів. Це дає можливість найбільш повно реалізувати властивості, притаманні кожному окремому металу. Так, шляхом поєднання зварюванням алюмінію з міддю, можна суттєво скоротити витрати дефіцитної міді, особливо, при виготовленні струмоведучих деталей електромашин, трансформаторів, шинопроводів, енергоємних агрегатів і т.і.

В електрохімічній промисловості, гальванотехніці для електролітичного очищення кольорових металів потребується використання спеціальних виробів – титано-мідних катодів і титано-алюмінієвих анодів електролізерів, а також трубчастих перехідників, біметалевих кронштейнів, які складаються з титанових труб з кінцівками із алюмінієвих сплавів і т.і.

Дуже ефективним є поєднання конструкційних сталей з титаном і алюмінієм, що дає можливість значно знизити вагу конструкції (у суднобудуванні) і підвищити корозійну стійкість плакованої ємної конструкції (у хімічній промисловості, целюлозно-паперовому виробництві і т.і). Використання таких комбінованих вузлів взагалі дозволяє створювати принципово нові види конструкцій, раніше відсутніх.

При зварюванні різнорідних металів з'являються труднощі,

пов'язані з особливістю їх взаємодій у рідкому і твердому стані. Вже на стадії розглядання бінарних діаграм стану поєднуваних металів виявляється наявність вкрай обмеженої їх взаємної розчинності у рідкому і твердому стані з утворенням більшої чи меншої кількості інтерметалідів, які мають високу твердість і крихкість і руйнуються самі по собі під дією температурних напружень при охолодженні зварного шва. Ці інтерметаліди виділяються на границі сплавлення основного метала у вигляді суцільного дифузійного прошарку різної товщини, який залежить від температури і часу взаємодії. При невеликій товщині 2-3 мкм прошарок не впливає на міцність зварного з'єднання, при більшій – різко знижує цей показник. Тому металургійні дії при зварюванні треба направляти не тільки на його зменшення, але і на формуванні не суцільної, а переривчастої його будови. Поряд з металургійними труднощами існують і технологічні, пов'язані із значною різницею поєднуваних матеріалів в питомій вазі, температурі плавлення, теплоємності і теплопровідності, а також коефіцієнті лінійного розширення. Останнє дуже суттєво впливає на властивості зварного з'єднання: зварювальні напруження, уникнути яких неможливо, залишаються в ньому, бо зняти їх шляхом термічної обробки неможливо, нагрівання зробить їх ще більшими.

Ці труднощі долаються більш високим попереднім підігріванням метала з меншим коефіцієнтом лінійного розширення, або застосуванням проміжних металів – компенсаторів, у вигляді метала, наплавленого чи напиленого на зварювані кромки, або біметалевої вставки. Останнє широко практикується при зварюванні у твердій фазі – дифузійному у вакуумі, тертям і т.і.

При зварюванні плавленням треба застосовувати таку технологію і техніку зварювання, при якій потужність джерела нагрівання зміщувалось би у бік більш теплопровідного метала, а більш тугоплавкий метал захищався від розплавлення за допомогою спеціального охолоджуючого пристрою. Такі прийоми лежать в основі способу поєднання різнорідних металів у твердо-рідкому стані під назвою зварювання – паяння, коли один з них має меншу температуру плавлення. Необхідні міцнісні зв'язки у такому з'єднанні утворюються у процесі змочування рідким металом поверхні твердого металу і подальшою дифузією. Таке зварювання може бути успішним при умові ретельного додержання параметрів режиму і часу контактування між рідким і твердим металом. Нанесення на поверхню

твердого металу покриттів, які збільшують цей час, дозволяє розширити діапазон параметрів режиму. Ці покриття вміщують елементи, які не утворюють хімічних сполук зі зварюваними металами і сприяють гальмуванню дифузійних процесів на границі їх контакту або підвищують взаємну розчинність елементів, які впливають на утворення хімічних сполук.

Зварювання у твердій фазі дає найкращі результати при поєднанні різнорідних металів за умовою ведення процесу при температурі не більше 0,4 $T_{пл}$ більш легкоплавкого металу при достатній активації поверхні більш міцного металу.

Для зварювання різнорідних металів використовують ті ж самі види з'єднань, що і для однорідних – стикові, внапустку і кутові, але для максимального зменшення тепловкладення кут розчищення кромки зменшується, і перевага віддається стиковим швам. Поверхні підготовлюються до зварювання відповідно рекомендацій для кожного із зварюваних металів.

Треба мати на увазі, як умови експлуатації таких конструкцій, так і технологію і техніку зварювання з використанням біметалевих перехідників, що вони передбачають перебування шва різнорідного з'єднання при температурі не вище 300-400°C, інакше внаслідок протікання дифузійних процесів буде утворюватися проміжний прошарок із відповідних інтерметалідів, що у свою чергу призведе до руйнування конструкції.

Дослідження можливості безпосереднього зварювання таких різнорідних композицій, як сталь-алюміній, сталь-титан, сталь-ніобій, алюміній-титан, мідь-титан, і т.і. звичайно починається з розглядання і вивчення діаграми стану основних складових сплаву залізо-алюміній, залізо-титан, алюміній - титан і т.і. При цьому необхідно встановити, які сполуки утворюються у всьому діапазоні концентрацій, їх властивості, структурний стан і т.і.

Виходячи з того, що найкращу зварюваність мають такі метали і сплави, які в необмеженій мірі взаємно розчиняються як у рідкому, так і у твердому стані, треба оцінити реально з цих позицій одержане завдання. Згідно існуючої теорії, запропонованою А.С. Даркеном і Р.В. Гуррі, взаємна розчинність елементів визначається подібністю кристалевих ґраток розчинника і розчиненого компонента, різницею в атомних радіусах елементів і величиною електронегативності, яка характеризує енергію зв'язку між двома елементами.

Звичайно по вісі абсцис позначаються атомні радіуси елементів, а по вісі ординат – електронегативність, яка є мірою вимірювання енергії зв'язку і має розмірність $EB/зв'язок$.

Розчинність металів визначається таким чином: метали, які знаходяться в межах внутрішнього еліпса з великою віссю розміром $\pm 0,2$ одиниці електронегативності і малою віссю $\pm 8\%$ різниці в атомних радіусах, необмежено розчинені у твердому стані у металі розчинника. Метали, які знаходяться за внутрішнім еліпсом, але не виходять за межі зовнішнього з великою віссю розміром $\pm 0,4$ одиниці електронегативності і малою віссю $\pm 15\%$ різниці в атомних радіусах, мають обмежену розчинність у твердому стані у металі матриці.

Однак тут можуть бути і винятки. Тверді розчини можуть, утворюватися при достатній подібності у будові електронних оболонок атомів елементів, визначеної тільки однією кількісною характеристикою – електронегативністю. Існує декілька способів її підрахування, які хоча і базуються на різних методиках, але основою їх є валентність елементів. Тому, діаграми розчинності, які побудовані з використанням різних методик, хоча і можуть мати різне взаємне розташування еліпсів, але завжди однозначно свідчитимуть про реальне співвідношення валентного і розмірного факторів і пов'язаною з ним теоретичною і практичною можливістю розчинності елементів і їх зварюваності. Інколи можна застосовувати якісь треті проміжкові метали, які мають достатньо великі концентрації розчинності в обох зварюваних металах, тоді необхідно нанести їх характеристики на побудованих діаграмах і розглянути можливість їх використання.

1.3 Контрольні запитання для самоперевірки і контролю підготовленості студентів до роботи

1. Яка необхідність у різномірних зварних з'єднаннях?
2. Які основні труднощі виникають при зварюванні пар різномірних металів?
3. Яким чином визначається здатність різномірних матеріалів до зварювання?
4. Що таке електронегативність, як вона визначається?

5. Яким чином долається проблема утворення крихких інтерметалідних фаз?
6. Що таке інтерметаліди, яка природа їх утворення?
7. Що таке евтектика, перитектика?
8. Що таке зварювання-паяння, які особливості цього процесу?

1.4 Матеріали, інструмент, прилади, обладнання

1. Зразки різнорідних зварних з'єднань.
2. Структура зварних швів і перехідних зон.
3. Варіанти зварюваних пар металів:
Сталь Ст3 + АМг3;
Сталь 10Х18Н10Т + ВТ1-0;
АМг3 + ВТ 1-0;
АМг3+М1;
Сталь Ст3 + Цирконій;
ВТ1-0 + Ванадій;
ВТ1-0 + М1;
Сталь Ст3 + М1.

1.5 Вказівки з техніки безпеки

Сумлінно виконувати всі вимоги техніки безпеки згідно з існуючою інструкцією у лабораторії зварювання плавленням.

1.6 Порядок проведення лабораторної роботи

1. Користуючись даними літературних джерел, побудувати діаграму стану зварювальних матеріалів згідно свого варіанта.
2. Виконати необхідні розрахунки і креслення.
3. Сформулювати висновки по темі.

1.7 Зміст звіту

1. Сутність підходу до технології зварювання різнорідних металів.
2. Діаграми стану зварюваних матеріалів.
3. Креслення еліпсів для визначення взаємної розчинності металів.
4. Висновки, щодо зварюваності визначених пар і пропозиції по поліпшенню.

1.8 Рекомендована література

1. Биковський О.Г. Зварювання та різання кольорових металів К.:Основа.2011. – 392с.
2. Биковський О.Г., Пінковський І.В. Довідник зварника К.: Техніка.2002. – 336с.
3. Гуменюк І.В., Іваськів О.Ф., Гуменюк О.В. Технологія електродугового зварювання. – К.: Грамота. – 2007. – 512с.
4. Биковський О.Г. Зварювання, різання й контроль якості під час виробництва металоконструкцій. К.: Основа. – 2011. – 396 с
5. Биковський О.Г. Довідник зварника. – К.: Основа. – 2014. – 448 с.

2 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2

Дослідження особливостей будови і зварювання композитних матеріалів, маючих основу кольорових металів

2.1 Мета роботи

При виконанні лабораторної роботи студенти повинні вивчити призначення, будову і склад композитних матеріалів (КМ), ознайомитися з сучасними методами зварювання КМ, технологією і технікою

2.2 Загальні відомості

КМ дозволяють реалізувати комплекс протилежних властивостей – високу міцність і жорсткість при розтягненні і стисканні з високими показниками витривалості і роботи руйнування у поєднанні з низькою питомою густиною. Це матеріали, утворені з двох чи більшої кількості інгредієнтів, наприклад, металева матриця, зміцнена безперервними або короткими волокнами, ниткоподібними кристалами, частинками і т.і. Матричний сплав передає навантаження на несучи волокна і перерозподіляє їх, перешкоджає розповсюдженню тріщин через переріз деталі, формує волокна і захищає їх від зовнішнього впливу.

В якості матриць для металевих КМ в найбільшій мірі застосовується алюміній, магній, титан, нікель і кобальт. У свою чергу зміцнюючі компоненти завдяки високій температурі плавлення, малій густині, відсутності фазових перетворень в зоні робочих температур, мінімальній розчинності в матриці і т.і. надають КМ спеціальні властивості. Це високоміцні, високомодульні волокна, ниткоподібні вуса, частки карбідів і оксидів металів, дисперсійнозміцнюючі компоненти, псевдосплави і т.і.

Дисперсійно зміцнювані композитні матеріали (ДЗМК) мають в матриці рівномірно розподілені дрібнодисперсні частки іншої

речовини. При навантаженні всі зусилля сприймає матриця, в якій більшість практично нерозчинених часток зміцнюючої фази утворює структуру, яка ефективно протистойть пластичній деформації.

При створенні сучасних об'єктів нової техніки виникає необхідність використання не тільки окремих вузлів, виготовлених з КМ, але і поєднання їх між собою, а також з однорідними матеріалами, що пов'язано з певними труднощами.

Температура плавлення матриці лежить у межах 600 – 1700 °С, а зміцнювача – 1500 – 2500 °С, що призводить при зварюванні плавленням до порушення цілості зміцнювача, можливості вступу до хімічної реакції між ним і матричним сплавом, наслідком чого може бути насичення зварного шва газами і утворення крихких інтерметалідних сполук. В результаті КМ втрачає свої властивості.

Армування матричного сплаву змінює характер розповсюдження тепла в матриці, що залежить від розташування армуючих волокон і їх об'ємної частки. Це вимагає ретельного контролю введення тепла при зварюванні, що досягається введенням присадного металу, який, розплавляючись, захищає верхні шари зміцнювача від впливу високотемпературної дії джерела нагріву, проникає і змочує нижчележачі волокна. Деякі волокнисті матеріали, наприклад, бор, графіт, Al_2O_3 не змочуються присадними металами, сумісними з матричними сплавами. Зварювання таких КМ ведеться із зазором і відповідними присадними металами. Так, проблема поганої змочуваності вуглецевих волокон вирішується шляхом добавок цинку або хрому, які взаємодіють з вуглецевими волокнами до утворення карбідів, маючих кращу змочуваність.

Значна різниця в коефіцієнтах теплоємності і теплопровідності, а також в коефіцієнтах лінійного розширення матриці і зміцнювача, що спонукає виникненню значних температурних напружень. Останні виникають також в процесі зварювання тиском навіть без підігріву внаслідок різних значень модулів пружності складових компонентів.

На відміну від традиційних матеріалів міцність КМ залежить від безперервності волокон по всій площині в напрямку, поперечному основній вісі напружень, а при порушенні цієї умови при зварюванні, майже повністю втрачаються механічні властивості КМ.

При зварюванні деталей з накладками або внапустку внаслідок концентрації напружень знижуються міцнісні характеристики і збільшується вага виробу з КМ.

Тому при виборі способу зварювання і призначенні технології і техніки виконання зварювальних робіт необхідно забезпечити одержання безпористого зварного з'єднання без втрати міцності, без розплавлення зміцнювача, без взаємодії компонентів КМ між собою. Спосіб зварювання має бути придатним також для зварювання КМ з однорідними металами. Серед металічних КМ найбільше розповсюдження отримали алюмінієві і магнієві сплави, армовані борними волокнами марок ВКА-1, ВКА-2, ВКМ-1, вуглецевими волокнами марки ВКУ-1, сталевим дротом марок КАС-1, КАС-1А, тонкими волокнами або вусами з карбіду кремнію і т.і. КМ на мідній основі з волокнами ніобію, арматури з вольфраму чи молібдену, зміцнення її тугоплавкими оксидами (Al_2O_3 , BeO , ThO_2) використовуються в електротехніці у виробництві напівпровідників, т.і. Армування титана і його сплавів волокнами карбіду кремнію, бора і вуглецю, а також металевими дротами дозволяє збільшити діапазон робочих температур до 700 – 800 °С.

Зварювання плавленням КМ хоча і є найбільш технологічним способом їх поєднання, але і дуже складним, що пов'язано із розшаруванням в пришовній зоні і пористістю. Причиною останнього явища є волога повітря, реагуюча з алюмінієвим порошком з утворенням гідратів або гідрооксидів під час виготовлення КМ. Достатній рівень властивостей з'єднань КМ може бути досягнутий при зварюванні плавленням при таких умовах:

- слід вибирати способи і режими, які забезпечують мінімальне тепловкладення в зону зварювання;
- використовувати цей спосіб тільки для КМ, які складаються із сумісних компонентів (легкі сплави, армовані керамічними наповнювачами або наповнювачами з бар'єрними покриттями);
- застосовувати присадні матеріали або матеріали проміжкових прокладок з легуючими добавками, які обмежують розчинення армуючого компонента і утворення крихких продуктів міжфазної взаємодії в процесі зварювання і подальшої експлуатації зварних вузлів. Так, при зварюванні КМ систем $AlSiC$, $Al-C$ доцільним є використання присадок з більшим вмістом кремнію, цирконія, титана або інших карбідоутворюючих елементів, попереджаючих утворення карбіду Al_4C_3 , а при зварюванні КМ $Al-Al_2O_3$ присадок з магнієм;

- для отримання рівномірності при зварюванні дисперсійно-зміцнених КМ доцільно використовувати присадки, які вміщують відповідні керамічні компоненти з об'ємною часткою 15-25 %;
- волокнисті і шаруваті КМ доцільно зварювати внапустку при співвідношенні довжини перекриття до товщини матеріалу більше 20, такі з'єднання можуть бути додатково підсилені заклепочними або болтовими з'єднаннями.

КМ, армовані частинками, короткими волокнами, нитковидними кристалами можна зварювати встик при виборі відповідних способів, зварювальних матеріалів і режиму зварювання, а також при умові, що КМ виготовлені методами рідиннофазової технології. Якщо ж вони виготовлені методом порошкової металургії, то в зоні зварювання можливо утворення ділянок підвищеної пористості, особливо, на границі сплавлення, і міцність таких з'єднань знижується. Тому перед зварюванням треба проводити вакуумну дегазацію для видалення водню, оскільки при розплавленні КМ у більшості випадків порушується їх первинна структура, що призводить до зниження або різкого змінення фізичних і механічних властивостей, важливо розподілити їх в залежності від особливостей міжфазної взаємодії. Це дозволяє сформулювати критерії, по яким можна оцінити зварюваність КМ.

Так, якщо компоненти КМ при плавленні утворюють однорідну рідину, а в твердому стані практично нерозчинені одне в одному (системи Al-Be, Ti-Mg), при їх плавленні і кристалізації одержується однорідна гетерогенна структура з чередуючимися частками матриці і зміцнювача. Зварювання плавленням таких матеріалів дає можливість отримати зварний шов з властивостями, майже не відрізняючимися від основного матеріалу, тому що конструкція композита спотворюється в найменшій мірі.

Якщо компоненти при розплавленні і кристалізації мають обмежену або необмежену розчинність (системи Ni-W, Al-Si), утворюються тверді розчини з евтектикою і перитектикою або з плавно змінюючоюся концентрацією. Як і в попередньому випадку, властивості зварного шва близькі до основного матеріалу.

Якщо компоненти КМ взагалі не взаємодіють при зварюванні у зв'язку з великою різницею в температурах плавлення (системи Al-Be-Mg, Fe-Cu-Pb), вони зварюються погано, необхідно вживати

спеціальні прийоми для запобігання випарювання більш легкоплавкого компонента.

Якщо компоненти КМ не змішуються у рідинному стані (системи Al-Pb, Fe-Cu-Pb), зварювання плавленням їх неможливе, тому що зварні з'єднання легко руйнуються по місцю сплавлення. Найбільше розповсюдження отримали КМ на алюмінієвій матричній основі АД1 і АМг6, КАС-1А з армуючими волокнами із сталевого дроту діаметром 0,15 мм і ВКА-2 з армуючими волокнами з бору $\varnothing$ 0,15 мм з об'ємною часткою волокон 25-40%, а також АМг5+12% SiC дисперсійно зміцнюваний композитний матеріал (ДЗКМ). Як матриця, можуть застосовуватися і інші алюмінієві сплави.

2.3 Контрольні запитання для самоперевірки і контролю підготовленості студентів до роботи

1. Яка необхідність у композитних конструкційних матеріалах?
2. Як будуються КМ, що є основою, а що наповнювачем, які їх функції?
3. Які труднощі виникають при зварюванні КМ?
4. Які основні технологічні підходи існують при зварюванні КМ?
5. Яку техніку зварювання використовують, щоб уникнути пошкодження наповнювачів?

2.4 Матеріали, інструмент, прилади, обладнання

1. Зразки КМ.
2. Структури зварних швів і перехідних зон.

2.5 Вказівки з техніки безпеки

Сумлінно виконувати всі вимоги техніки безпеки згідно з існуючою інструкцією у лабораторії зварювання плавленням.

2.6 Порядок проведення лабораторної роботи

1. Користуючись даними літературних джерел, призначити варіанти зварювання КМ різних сплавів: форму підготовки кромок, проміжкових вставок, спосіб і параметри режиму зварювання, послідовність виконання зварних швів.

2. Описати структуру утворених зварних швів КМ.

2.7 Зміст звіту

1. Сутність підходу до технології зварювання композитних матеріалів.

2. Форми підготовки кромок до зварювання.

3. Структури зварних швів КМ.

2.8 Рекомендована література

1. Лавренко А.С. Механічні властивості шаруватого композиційного матеріалу Nb-Ti-Mo, армованого волокнами із вольфраму. Металознавство та обробка металів. – 2000. – №1. – С.53-57.

2. Биковський О.Г., Зварювання та різання кольорових металів Київ:Основа.2011. – 392 с.

3. Биковський О.Г., Пінковський І.В., Довідник зварника Київ: Техніка.2002. – 336 с.

4. І.В. Гуменюк, О.Ф.Іваськів, О.В.Гуменюк, Технологія електродугового зварювання. – Київ: Грамота. – 2007. – 512 с.

5. Биковський О.Г. Зварювання, різання й контроль якості під час виробництва металоконструкцій. Київ: Основа. – 2011. – 396 с

6. Биковський О.Г. Довідник зварника. – Київ: Основа. – 2014. – 448 с.

3 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3

Дослідження металургійних і технологічних умов створення різнорідних з'єднань на прикладі пари сталь – мідь

3.1 Мета роботи

При виконанні лабораторної роботи студенти повинні вивчити загальну методику підходу до рішення задачі зварювання пар різнорідних металів, ознайомитися з теоретичними основами утворення різнорідних зварних з'єднань, виконати необхідні розрахунки і креслення, сформулювати висновки по темі

3.2 Загальні положення

Часто оптимальні експлуатаційні властивості виробів можна отримати лише при умові виконання окремих зварних вузлів з різнорідних матеріалів. Наприклад при виготовленні випарювачів, фурм доменних печей і конверторів, кристалізаторів і т.і. виникає необхідність поєднання сталей різних класів з міддю та її сплавами – латунню і бронзами. Окрім безпосереднього зварювання мідних деталей зі сталевими, доцільне наплавлення цих кольорових матеріалів на сталеві поверхні з метою підвищення корозійної стійкості, теплопровідності та антифрикційних властивостей.

Виходячи з діаграми стану залізо – мідь, ці метали сплавляються майже у всіх співвідношеннях, але утворюються крихкі евтектичні прошарки та виникають труднощі, пов'язані з проникненням міді в міжзерений простір сталі з утворенням тріщин.

При цьому допустима глибина проникнення від поверхні не повинна перевищувати 1 – 1,2 мм, при більших значеннях це знижує міцнісні характеристики з'єднання, особливо при знакозмінному навантаженні. Металургійні труднощі полягають також у значній схильності міді до кисню, пористості, крихкості, обумовленої появою евтектики $\text{Cu} + \text{Cu}_2\text{O}$ і високою теплопровідністю. Існуючі

способи отримання зварного різнорідного з'єднання мідь – сталь дозволяють вести процес зварювання як безпосередньо з використанням порошкового дроту багатокомпонентного складу і оптимізації технологічних параметрів процесу, так і через біметалеві проміжні вставки з біметалу мідь – сталь, одержаного зварюванням у твердій фазі частіше за все способом зварювання вибухом.

3.3 Завдання на підготовку до лабораторної роботи

Перед виконанням слід ознайомитися з літературними джерелами по темі роботи, зробити необхідні виписки із джерел.

3.4 Контрольні запитання для самоперевірки й контролю підготовленості студентів до роботи

1. Яка необхідність у створенні різнорідних зварних з'єднань.
2. Які основні труднощі виникають при зварюванні міді зі сталлю.
3. Яким чином визначається здатність різнорідних матеріалів до зварювання.
4. Які металургійні і технологічні прийоми дозволяють уникнути утворенню крихких інтерметалідів та пористості.

3.5 Матеріали, інструменти, прилади і обладнання

1. Зразки різнорідних зварних з'єднань.
2. Структури зварних швів і перехідних зон зварного з'єднання мідь – сталь.

3.6 Вказівки з техніки безпеки

Сумлінно виконувати всі вимоги техніки безпеки згідно існуючою інструкцією у лабораторії зварювання плавленням.

3.7 Порядок виконання лабораторної роботи

1. Користуючись даними літературних джерел, наведених в роботі [1], скласти літературний огляд стосовно тематики зварювання міді зі сталлю.
2. Розглянути сучасний підхід щодо можливості зварювання різnorідних матеріалів з точки зору фізичної хімії та діаграми стану мідь – залізо.
3. Розробити технологію зварювання стикового зварювання міді зі сталлю як безпосереднього, так і через проміжну біметалеву вставку.
4. Розробити технологію наплавлення на циліндричну поверхню сталевій деталі зносостійкого антифрикційного шару алюмінієвої бронзи.
5. Вибрати необхідні присадні матеріали, способи підготовки зварюваних поверхонь, параметри режиму зварювання та наплавлення, техніку наплавки і контроль якості.
6. Висновок по роботі.

3.8 Зміст звіту

1. Сутність підходу до технології зварювання різnorідних металів.
2. Діаграма стану залізо-мідь.
3. Креслення еліпсів.
4. Технологія і техніка зварювання.

4 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4

Дослідження металургійних і технологічних умов створення різнорідних зварних з'єднань на прикладі пари титан – алюміній

4.1 Мета роботи

Вивчити загальну методику підходу до рішення задачі зварювання пар різнорідних металів, ознайомитися з теоретичними основами утворення різнорідних зварних з'єднань, виконати всі необхідні розрахунки і креслення, сформулювати висновки по темі.

4.2 Загальні відомості

Часто оптимальні експлуатаційні властивості виробів можна отримати лише при умові використання окремих зварних вузлів різнорідних металів і сплавів. Це дозволяє найбільш повно реалізувати властивості, притаманні кожному окремому металу. Так в електрохімічній промисловості, в гальванотехніці і для електротехнічного очищення кольорових металів використовуються спеціальні вироби – титаномідні катоди і титаноалюмінієві аноди в електролизерах, а також трубчасті перехідники, біметалеві кронштейни, які складаються з титанових труб з кінцівками із алюмінієвих сплавів. Використання таких комбінованих вузлів дозволяє створювати принципово нові види конструкцій, раніше відсутніх.

Однак при зварюванні різнорідних металів з'являються труднощі, пов'язані з особливістю їх взаємодій у рідкому та твердому стані. Вже на стадії розглядання бінарних діаграм стану поєднуваних металів виявляється наявність вкрай обмеженої їх взаємної розчинності у рідкому і твердому стані з утворенням кількості інтерметалідів, які мають високу твердість і крихкість і руйнуються самі по собі під дією температурних напружень при охолодженні

зварного шва. Ці інтерметаліди виділяються на границі сплавлення основного металу у вигляді дифузійного прошарку різної товщини, який залежить від температури і часу взаємодії.

Поряд з металургійними труднощами існують і технологічні, пов'язані із значною різницею поєднуємих матеріалів у питомій вазі, температурі плавлення, а також коефіцієнті лінійного розширення.

Ці труднощі долаються спеціальними заходами: технологією зварюванням – паянням, покриттям з елементами, які не утворюють хімічних сполук зі зварюваними металами або підвищують взаємну розчинність елементів, впливаючих на утворення хімічних сполук, використанням біметалевих перехідників отриманих зварюванням у твердій фазі та т.і.

4.3 Завдання на підготовку до лабораторної роботи

Перед виконанням слід ознайомитися з літературними джерелами по темі роботи, зробити необхідні виписки із джерел.

4.4 Контрольні запитання для самоперевірки й контролю підготовленості студентів до лабораторної роботи

1. Яка необхідність у створенні різнорідних зварних з'єднань.
2. Які основні труднощі виникають при зварюванні пар різнорідних металів.
3. Яким чином визначається здатність різнорідних металів і сплавів до зварювання.
4. Яким чином долається проблема утворення крихких інтерметалідних фаз.
5. При яких умовах утворений дифузійний прошарок може бути роботоспоможним.

4.5 Матеріали, інструменти, прилади

1. Зразки різнорідних зварних з'єднань.
2. Структури зварних швів і перехідних зон.

4.6 Вказівки з техніки безпеки

Сумлінно виконувати всі вимоги техніки безпеки згідно з існуючою інструкцією у лабораторії зварювання плавленням.

4.7 Порядок виконання лабораторної роботи

1. Користуючись даними літературних джерел, наведених в роботі [1], скласти літературний огляд стосовно тематики зварювання титану з алюмінієм.
2. Розглянути сучасний підхід щодо можливості зварювання різнорідних металів з точки зору фізичної хімії та діаграми стану титан – алюміній.
3. Розробити технологію зварювання титану з алюмінієм плоских і трубчастих конструкцій.
4. Вибрати необхідні присадні матеріали, способи підготовки поверхонь під зварювання, параметри режиму зварювання, техніку наплавки і контроль якості.
5. Висновок по роботі.

4.8 Зміст звіту

1. Сутність підходу до технології зварювання різнорідних металів.
2. Діаграма стану титан-алюміній.

3. Креслення еліпсів.
4. Технологія і техніка зварювання.

4.9 Література

1. Биковський О.Г. Зварювання та різання кольорових металів Київ:Основа.2011. – 392с.
2. Биковський О.Г., Пінковський І.В., Довідник зварника Київ: Техніка.2002. - 336с.
3. І.В.Гуменюк, О.Ф.Іваськів, О.В.Гуменюк, Технологія електродугового зварювання. – Київ: Грамота. – 2007. – 512с.
4. Биковський О.Г. Зварювання, різання й контроль якості під час виробництва металоконструкцій. Київ: Основа. – 2011. - 396 с
5. Биковський О.Г. Довідник зварника. – Київ: Основа. – 2014. – 448с.

5 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №5

Дослідження металургійних і технологічних умов створення різнорідних зварних з'єднань на прикладі пари сталь – алюміній

5.1 Мета роботи

Вивчити загальну методику підходу до рішення задачі зварювання пар різнорідних металів, ознайомитися з теоретичними основами утворення різнорідних зварних з'єднань, виконати всі необхідні розрахунки і креслення, сформулювати висновки по темі.

5.2 Загальні відомості

Часто оптимальні експлуатаційні властивості виробів можна отримати лише при умові використання окремих зварних вузлів різнорідних металів і сплавів. Це дозволяє найбільш повно реалізувати властивості, притаманні кожному окремому металу. Так в електрохімічній промисловості, в гальванотехніці і для електротехнічного очищення кольорових металів використовуються спеціальні вироби – титаномідні катоди і титаноалюмінієві аноди в електролизерах, а також трубчасті перехідники, біметалеві кронштейни, які складаються з титанових труб з кінцівками із алюмінієвих сплавів. Використання таких комбінованих вузлів дозволяє створювати принципово нові види конструкцій, раніше відсутніх.

Однак при зварюванні різнорідних металів з'являються труднощі, пов'язані з особливістю їх взаємодій у рідкому та твердому стані. Вже на стадії розглядання бінарних діаграм стану поєднуваних металів виявляється наявність вкрай обмеженої їх взаємної розчинності у рідкому і твердому стані з утворенням кількості інтерметалідів, які мають високу твердість і крихкість і руйнуються самі по собі під дією. Температурних напружень при охолодженні зварного шва. Ці інтерметаліди виділяються на границі сплавлення

основного металу у вигляді дифузійного прошарку різної товщини, який залежить від температури і часу взаємодії.

Поряд з металургійними труднощами існують і технологічні, пов'язані із значною різницею поєднуємих матеріалів у питомій вазі, температурі плавлення, а також коефіцієнті лінійного розширення.

Ці труднощі долаються спеціальними заходами: технологією зварюванням – паянням, покриттям з елементами, які не утворюють хімічних сполук зі зварюваними металами або підвищують взаємну розчинність елементів, впливаючих на утворення хімічних сполук, використанням біметалевих перехідників отриманих зварюванням у твердій фазі та т.і.

5.3 Завдання на підготовку до лабораторної роботи

Перед виконанням слід ознайомитися з літературними джерелами по темі роботи, зробити необхідні виписки із джерел.

5.4 Контрольні запитання для самоперевірки й контролю підготовленості студентів до лабораторної роботи

1. Яка необхідність у створенні різнорідних зварних з'єднань.
2. Які основні труднощі виникають при зварюванні пар різнорідних металів.
3. Яким чином визначається здатність різнорідних металів і сплавів до зварювання.
4. Яким чином долається проблема утворення крихких інтерметалідних фаз.
5. При яких умовах утворений дифузійний прошарок може бути роботоспроможним.

5.5 Матеріали, інструменти, прилади

1. Зразки різнорідних зварних з'єднань.
2. Структури зварних швів і перехідних зон.

5.6 Вказівки з техніки безпеки

Сумлінно виконувати всі вимоги техніки безпеки згідно з існуючою інструкцією у лабораторії зварювання плавленням.

5.7 Порядок виконання лабораторної роботи

1. Користуючись даними літературних джерел, наведених в роботі [1], скласти літературний огляд стосовно тематики зварювання сталі з алюмінієм.
2. Розглянути сучасний підхід щодо можливості зварювання різнорідних металів з точки зору фізичної хімії та діаграми стану залізо – алюміній.
3. Розробити технологію зварювання сталі з алюмінієм плоских і трубчастих конструкцій.
4. Вибрати необхідні присадні матеріали, способи підготовки поверхонь під зварювання, параметри режиму зварювання, техніку наплавки і контроль якості.
5. Висновок по роботі.

5.8 Зміст звіту

1. Сутність підходу до технології зварювання різнорідних металів.
2. Діаграма стану залізо-алюміній.
3. Креслення еліпсів.

4. Технологія і техніка зварювання.

5.9 Література

1. Биковський О.Г. Зварювання та різання кольорових металів Київ:Основа, 2011. – 392 с.
2. Биковський О.Г., Пінковський І.В. Довідник зварника Київ: Техніка ,2002. – 336 с.
3. І.В.Гуменюк, О.Ф.Іваськів, О.В.Гуменюк Технологія електродугового зварювання. – Київ: Грамота. – 2007. – 512 с.
4. Биковський О.Г. Зварювання, різання й контроль якості під час виробництва металоконструкцій. Київ: Основа. – 2011. – 396 с
5. Биковський О.Г. Довідник зварника. – Київ: Основа. – 2014. – 448 с.

6 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №6

Дослідження металургійних і технологічних умов створення різнорідних зварних з'єднань на прикладі пари мідь – алюміній

6.1 Мета роботи

Вивчити загальну методику підходу до рішення задачі зварювання пар різнорідних металів, ознайомитися з теоретичними основами утворення різнорідних зварних з'єднань, виконати всі необхідні розрахунки і креслення, сформулювати висновки по темі.

6.2 Загальні відомості

Металургійні труднощі при зварюванні плавленням цих двох металів пов'язані з обмеженою розчиненістю одне в одному в твердому стані при кімнатній температурі. Вміст міді в алюмінії не перевищує 6 – 8%, а вміст алюмінія в міді майже 9%. Хоча при плавленні їх взаємна розчиненість досить висока, при кімнатній температурі метал шва є перенасиченим, в результаті чого надлишкова кількість елементів виділяється у вигляді інтерметалідів типу Al_mCu_n і евтектики $Al_2Cu + \chi$, розташованих на границі сплавлення. Вони мають низьку міцність і дуже крихкі, внаслідок чого шов руйнується під дією термічних напружень при охолодженні.

Порівняння хіміко-фізичних властивостей алюмінія і міді показує, що температура плавлення міді більше ніж в 1,6 рази вище цього показника для алюмінія, питома вага відповідно у 3,3 рази більше, а коефіцієнт лінійного розширення майже в 1,5 рази менше, ніж у алюмінія. Є різниця і в інших показниках, все це разом узятو ускладнює і технологічні труднощі поєднання цих металів.

Тому ефективним способом їх значного подолання є зварювання з використанням третіх металів, які більш-менш задовільно розчинюються в міді і алюмінії, поліпшуючи властивості зварного шва і зони сплавлення – срібла, цинку і кремнія. Крім того процес

зварювання треба вести так, щоб, в основному, розлавлявся алюміній, а мідь майже не плавилася, що досягається зміщенням вісі електрода від вісі шва на величину 0,5 – 0,6 товщини зварюваного металу у бік мідної деталі. Таким чином одержання різнорідного зварного з'єднання алюміній – мідь забезпечується відповідним регулюванням складу зварного шва при оптимальних температурних умовах.

6.3 Завдання на підготовку до лабораторної роботи

Перед виконанням слід ознайомитися з літературними джерелами по темі роботи, зробити необхідні виписки із джерел.

6.4 Контрольні запитання для самоперевірки й контролю підготовленості студентів до лабораторної роботи

1. Яка необхідність у створенні різнорідних зварних з'єднань
2. Які основні труднощі виникають при зварюванні пар різнорідних металів.
3. Яким чином визначається здатність різнорідних металів і сплавів до зварювання.
4. Яким чином долається проблема утворення крихких інтерметалідних фаз.
5. При яких умовах утворений дифузійний прошарок може бути роботоспоможним

6.5 Матеріали, інструменти, прилади

1. Зразки різнорідних зварних з'єднань.
2. Структури зварних швів і перехідних зон.

6.6 Вказівки з техніки безпеки

Сумлінно виконувати всі вимоги техніки безпеки згідно з існуючою інструкцією у лабораторії зварювання плавленням.

6.7 Порядок виконання лабораторної роботи

1. Користуючись даними літературних джерел, наведених в роботі [1], скласти літературний огляд стосовно тематики зварювання міді з алюмінієм.

2. Розглянути сучасний підхід щодо можливості зварювання різнорідних металів з точки зору фізичної хімії та діаграми стану мідь – алюміній.

3. Розробити технологію зварювання міді з алюмінієм плоских і трубчастих конструкцій.

4. Вибрати необхідні присадні матеріали, способи підготовки поверхонь під зварювання, параметри режиму зварювання, техніку наплавки і контроль якості.

5. Висновок по роботі.

6.8 Зміст звіту

1. Сутність підходу до технології зварювання різнорідних металів.

2. Діаграма стану мідь-алюміній.

3. Креслення еліпсів.

4. Технологія і техніка зварювання.

6.9 Література

1. Биковський О.Г. Зварювання та різання кольорових металів

Київ:Основа.2011. – 392 с.

2. Биковський О.Г., Пінковський І.В. Довідник зварника Київ: Техніка.2002. – 336 с.

3. І.В. Гуменюк, О.Ф. Іваськів, О.В. Гуменюк Технологія електродугового зварювання. – Київ: Грамота. – 2007. – 512 с.

4. Биковський О.Г. Зварювання, різання й контроль якості під час виробництва металоконструкцій. Київ: Основа. – 2011. – 396 с

5. Биковський О.Г. Довідник зварника. – Київ: Основа. – 2014. – 448 с.

7 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №7

Дослідження процесу отримання зварних з'єднань різнорідних металів при дифузійному зварюванні в рідких середовищах

7.1 Мета роботи

Ознайомитися з технікою та технологією дифузійного зварювання в соляних розчинах.

7.2 Загальні відомості

Дифузійне зварювання в рідких середовищах (рис. 3.1) – різновид зварювання тиском. Навколишнє рідке середовище може бути хімічно активним чи нейтральним по відношенню до матеріалів, що з'єднуються, мати різну температуру плавлення та випаровування. Залежно від цих властивостей рідке середовище при зварюванні може служити джерелом нагрівання деталей, що зварюються, перешкоджати проникненню повітря в зону з'єднання, взаємодіяти з поверхнями, що з'єднуються і змінювати їх хімічний склад, а отже, і фізико-механічні властивості. Тому технологічні схеми здійснення дифузійного зварювання в рідких середовищах можуть бути різними.

Найбільш дослідженою схемою є наступна. Деталі, що зварюються після відповідної механічної обробки контактуючих поверхонь (чистове точіння, фрезерування або шліфування) щільно притискають одну до одної і занурюють у ванну з рідким середовищем, нагрітої до температури зварювання. Після певної витримки, необхідної для отримання бажаної міцності, деталі витягають з ванни і охолоджують на повітрі [1].

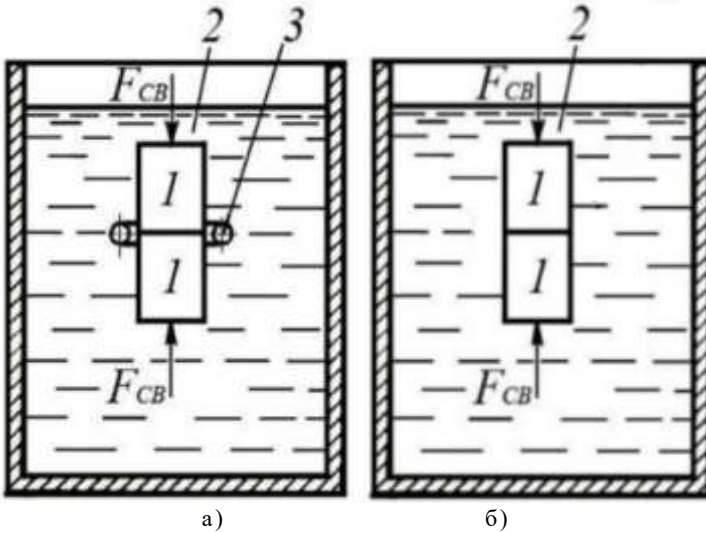


Рисунок 7.1 – Схема дифузійного зварювання в рідкому середовищі: 1 – деталі, що зварюються; 2 – рідке середовище; 3 – індуктор
а) – з індуктором, б) – без індуктора

В якості рідкого середовища, що нагріває деталі, що з'єднуються може використовуватися розплавлені солі, оксиди, луги, а також розплави металів і сплавів температура плавлення яких нижча, а температура випаровування вище температури зварювання.

Перспективним є і такий варіант технологічного процесу, в якому рідке середовище, попередньо нагріте до температури зварювання, одночасно служить для насичення поверхонь, що з'єднуються вуглецем, азотом, бором або одночасно вуглецем і азотом [1].

Дифузійне зварювання в розплавлених солях можна поєднувати з нанесенням на деталі, що з'єднуються різних металів. Наприклад, при поєднанні зварювання з алітуванням процес ведеться в ванні з розплавом галогенів, над яким знаходиться шар розплавленого алюмінію. Після вилучення зварених деталей з ванни через шар розплавленого алюмінію на їх поверхні утворюється тонке покриття; суміш розплавлених солей є джерелом нагрівання і одночасно флюсом, що сприяє утворенню тронного алюмінієвого покриття.

Навколишнє рідке середовище не обов'язково повинно виконувати роль джерела нагріву. Випробувана технологічна схема процесу дифузійного зварювання (рис. 7.1), коли деталі, що з'єднуються нагріваються струмом, що проходить або струмами високої частоти, як при стиковому зварюванні тиском. В цьому випадку доцільне застосування рідких середовищ, температура випаровування яких нижча за температуру зварювання. Здійснення дифузійного зварювання в воді забезпечує більш високу якість зварного з'єднання, ніж при дифузійному зварюванні на повітрі або в розплаві солей.

Певний інтерес представляє можливість дифузійного зварювання в рідких органічних середовищах: гасі, бензині, ацетоні або в їх суміші з водою, а також в суміші спиртів (метилового спирту) і водного розчину аміаку [1].

При дифузійному зварюванні в рідких органічних середовищах можна поєднати операцію зварювання з цементацією і ціануванням, так як виникає, своєрідна, парова сорочка.

Використання рідких середовищ для нагріву різних деталей під пресове зварювання було відомо й раніше. Зокрема, відомий спосіб електролітного зварювання, в якому нагрів деталей, які є катодами, здійснюється постійним струмом напругою 200 - 300 В в електроліті (водних розчинах солей).

Тейлор запропонував проводити пресове зварювання в інертній рідині (розплавлених солях): деталі з зазором між поверхнями, що з'єднуються занурюють в розплав, нагрітий до температури зварювання. Струменем розплаву з поверхонь, що з'єднуються видаляються окисні плівки. Після чого здійснюють зварювання.

Перераховані способи нагріву і очищення поверхонь, що з'єднуються можна використовувати і при дифузійному зварюванні.

До рідких середовищах висувають наступні вимоги: висока рідкотекучість, добра теплопровідність, мала летучість, стійкість при нагріванні і проходженні електричного струму, інертність по відношенню до матеріалу, що нагрівається, не токсичність. Крім того, в стані ці середовища повинні мати малу гігроскопічність і не розкладатися при тривалому зберіганні на відкритому повітрі [1].

Склад рідких середовищ, використовуваних для нагрівання деталей, дуже різноманітний: різні солі, оксиди металів та лугів. В

якості добавок використовують феросплави, вугілля, графіт, карбіди кремню та ін.

Широке розповсюдження для нагріву виробів отримали хлористі солі барію, натрію і калію, що найбільшою мірою задовольняють зазначеним вимогам. Також використовують стійкі фтористі солі кальцію, барію, натрію (найчастіше у вигляді добавок до хлористих солей з метою підвищення рідкотекучості).

Для кращого очищення поверхонь зменшення температури плавлення і корозійного впливу розплаву з хлористих солей на матеріали використовують вуглекислі солі натрію і калію, котрі також вводять у вигляді добавок.

Для нагріву кольорових металів і сплавів в розплавах зазвичай використовують азотно-натрієві і азотно-калієві солі або їх суміші, а також хлористі і фтористі солі. Порівняно низька температура плавлення калієвої і натрієвої селітр і висока рідкотекучість дозволяє використовувати їх для нагріву алюмінієвих сплавів під загартування, відпал та відпуск.[1]

Нікель і його сплави нагрівають зазвичай в суміші хлористих і фтористих солей.

Розплави солей і окислів застосовують для нагріву до 150 – 1350 °С, Склад солі вибирають для кожного окремого випадку в залежності від необхідної температури процесу. Зазвичай застосовують суміші солей і лугів евтектичного складу.

Деякі склади розплавів, котрі можуть бути використані при дифузійному зварюванні кольорових і чорних металів наведено в табл. 7.1.

Нагрівання в рідких середовищах має ряд переваг, що визначили широке застосування ванн з рідким теплоносієм в промисловості: негайна і повна ізоляція виробів, що нагріваються від контакту з відкритим середовищем; більш швидке нагрівання виробів переважно тепловіддачею а не радіацією або конвекцією; завдяки більш високому значенню коефіцієнта тепловіддачі від рідини до металу швидкість нагріву деталей в 5-8 разів вище, ніж в електричних, муфельних та полумєневих печах; рівномірність нагріву виробів складної форми; відсутність термічних ударів (розплав застигає на холодному металі в момент занурення, ізолює його до тих пір, поки температура металу не перевищить температуру плавлення розплаву) [1].

Таблиця 7.1 – Розплави для нагріву деталей в рідких середовищах

Склад розплаву	$T_{пл}$ °C	Температурний інтервал застосування розплаву (t_2-t_1), °C	Застосування
100 % $BaCl_2$	962	1020...1320	Розкислювач: 2...3 % $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$; 0,5 % $FeSi$; 5 % MgF_2
90 % $BaCl_2$ + 10 % $NaCl$	–	950...1300	Розкислювач: <0,5 % Si ; <1 % SiO_2
100 % B_2O_3	577	1200...1400	–
100 % $NaCl$	800	850...920	Розкислювач: 0,5 % C (древесный уголь), $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$, $FeSi$, $K_4[Fe(CN)_6] \cdot 3H_2O$
100 % KCl	776	820...920	
78 % $BaCl_2$ + 22 % $NaCl$	–	700...950	Розкислювач: 0,5 % SiC ; $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$
80 % $BaCl_2$ + 20 % KCl	640	680...1060	
70 % $BaCl_2$ + 30 % KCl	–	680...900	
53 % $BaCl_2$ – 20 % $NaCl$ + 27 % KCl	550	600...900	
80 % Na_2CO_3 + 10 % $NaCl$ + 10 % SiC	–	870...900	
56 % KCl + 44 % $NaCl$	660	700...815	Для нагрівання нікелю і його сплавів
83 % $BaCl_2$ + 17 % BaF_2	844	900...1000	
100 % KNO_3	338	350...600	Для нагріву алюмінію і його сплавів
100 % $NaNO_3$	317	330...600	
100 % $NaOH$	318	350...580	

7.3 Контрольні запитання для самоперевірки і контролю підготовленості студентів до роботи

1. Сутність дифузійного зварювання в розплавлених солях.
2. Середовища для дифузійного зварювання в розплавлених солях.
3. Сутність поверхневої обробки в розплавлених солях.
4. Вимоги, що висуваються до рідких середовищ.
5. Переваги зварювання в рідких середовищах.

7.4 Матеріали, інструмент, прилади, обладнання

1. Заготовки різномірних металів для зварювання.

2. Піч для нагріву розчину.
3. Розплави солей.
4. Термопара.
5. Мікроскоп, збільшуюче скло.
6. Штангенцикуль.
7. Обценьки.

7.5 Вказівки з техніки безпеки

Сумлінно виконувати всі вимоги техніки безпеки згідно з існуючою інструкцією у лабораторії зварювання плавленням.

7.6 Порядок проведення лабораторної роботи

1. Ознайомитись з інструкцією з техніки безпеки.
2. Ознайомитись з будовою та роботою обладнання.
3. Вивчити методику роботи, отримати завдання, розробити план досліджень.
4. Підготувати зразки до зварювання: провести механічну обробку поверхні зразків, що підлягають зварюванню.
5. Зібрати зразки, притиснувши їх один до одного струбциною.
6. Визначити параметри режиму зварювання.
7. Розігріти піч разом із контейнером з реактивом необхідного складу до визначеної за п.6 температурою.
8. Провести зварювання зразків.
9. Дослідити міцність отриманих з'єднань.

7.7 Зміст звіту

1. Назва та мета роботи.
2. Теоретичні відомості.
3. Параметри режиму зварювання, ескізи зразків.

4. Висновки.

7.8 Рекомендована література

1. Прогресивні технології з'єднання матеріалів. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня спеціальності 131 Прикладна механіка, за освітньо-професійною програмою «Технології та устаткування зварювання» /Укл.: Болотов Г.П., Болотов М.Г., Олексієнко С.В. – Чернігів: НУ (Чернігівська політехніка), 2021. – 28 с.
2. Биковський О.Г. Зварювання та різання кольорових металів Київ:Основа.2011. – 392 с.
3. Биковський О.Г., Пінковський І.В., Довідник зварника Київ: Техніка.2002. – 336 с.
4. І.В.Гуменюк, О.Ф.Іваськів, О.В.Гуменюк Технологія електродугового зварювання. – Київ: Грамота. – 2007. – 512 с.
5. Биковський О.Г. Зварювання, різання й контроль якості під час виробництва металоконструкцій. Київ: Основа. – 2011. – 396 с.
6. Биковський О.Г. Довідник зварника. – Київ: Основа. – 2014. – 448с.