

УДК 621.791.18 (075.8)

Болотов Г. П., Болотов М. Г., Рижов Р. М.

АКТИВАЦІЙНА ДІЯ ТЛІЮЧОГО РОЗРЯДУ В УМОВАХ ДИФУЗІЙНОГО ЗВАРЮВАННЯ

Наведені результати досліджень впливу іонної обробки тліючим розрядом на активацію процесів зварювання тиском однорідних та різнорідних металів. Показано, що попередня іонна обробка очищує та активує поверхні, що зварюються, і дозволяє на 20...30 % скоротити час формування дифузійних зварних з'єднань.

Розвиток нових галузей техніки пов'язаний як з створенням нових конструкційних матеріалів, що володіють високими експлуатаційними характеристиками в умовах екстремальних навантажень, так і нових методів з'єднання цих матеріалів у конструкціях вузлів та агрегатів. Найбільш перспективними є способи зварювання, що обмежують термічний і механічний вплив зварювального процесу на матеріали, що з'єднуються, який здатний негативно впливати на їхні робочі властивості.

На даний час для вирішення цих проблем широко застосовується дифузійне зварювання однорідних і різнорідних матеріалів, що проходить у твердій фазі, не доводячи матеріали, що зварюються, до розплавлювання. У цих умовах вирішальну роль в утворенні міцних зв'язків і формуванні нероз'ємного з'єднання відіграють поверхневі явища, обумовлені фізико-хімічним станом контактуючих поверхонь. У першу чергу, це стосується з'єднання активних металів й їхніх сплавів, а також, сталей і сплавів, легованих цими елементами.

Необхідність пошуку шляхів активації поверхонь матеріалів, що зварюють дифузійним способом, сформульована багато років тому [1, 2], залишається як і раніше актуальним завданням в області дифузійного зварювання. Незважаючи на попереднє механічне й хімічне очищення поверхонь, що зварюються, вони покриті тонкою, а тому гнучкою й міцною плівкою оксидів, що утворюються в період між закінченням очищення й початком утворення фізичного контакту. Оскільки оксидні плівки в більшості випадків міцніші за метали, що зварюють [3–4], вони гальмують процеси утворення хімічних зв'язків і розвитку дифузійного масообміну. Протягом інкубаційного періоду відбувається їхнє розчинення в металі або флюсування проміжними матеріалами [5–7].

Тривалість цього періоду залежить від властивостей окисів і характеру пластичного деформування мікрорельєфу, коли зминаються мікроступи, руйнуються покриваючі їх окиси й закриваються мікрозападини з наявними в них подрібненими окисами.

У результаті формується фізичний контакт, неоднорідний за своїм складом. Він містить у собі три типи контактів: 1) метал + метал; 2) метал + окис; 3) окис + окис, у яких істотно розрізняються процеси руху дислокацій, виникнення й дії активних центрів, розвитку дифузійного масообміну й формування моноліту.

Об'ємні взаємодії між з'єднуваними матеріалами розвиваються найбільш інтенсивно через контакт першого типу. А в контакті третього типу процес формування зварного з'єднання може зупинитися на стадії поверхневої взаємодії [8]. Затримка в розвитку дифузійного масообміну повинна бути тим менша, чим менше контактів другого й третього типів і чим більш дефектна оксидна плівка. Попередній підігрів металів, що з'єднують, з метою сублимації окисів у високому вакуумі досить тривалий, енергоємний і не завжди ефективний процес. До того ж, процес сублимації окисів у вакуумі припиняється з моменту початку формування фізичного контакту поверхонь, що з'єднують. Тому, усяка активація процесу утворення зварного з'єднання, що складається в усуненні окисів, повинна закінчуватися безпосередньо в момент торкання та стискання поверхонь, що зварюють.

Застосовані на даний час механічні та хімічні способи підготовки деталей, що з'єднують дифузійним зварюванням, здійснюються до їхньої установки в робочий вакуумний об'єм і тому не забезпечують достатньої чистоти поверхонь до початку формування фізичного контакту. Більш ефективними є способи підготовки поверхонь, що проводяться безпосередньо перед приведенням їх у контакт і стиском деталей, що зварюють.

Метою даної роботи є дослідження активація (очищення) поверхонь металів, що з'єднували, іонною обробкою в тліючому розряді, що проходить у зварювальній камері безпосередньо перед дифузійним зварюванням.

В якості зразків використали заготовки діаметром 10 мм і висотою 30 мм зі сталі 45, сталі 12X18H10T і титанового сплаву ВТ-3-1. Приблизно за 24...48 годин до зварювання виконували чистову токарну обробку поверхонь, що з'єднують, а безпосередньо перед зварюванням їх або знежирювали розчинниками, або виконували іонне очищення в тліючому розряді при тиску газу (аргону) у камері 5...10 Па й напрузі на електродах розряду 2000...2500 В протягом 300 с. Оброблювані деталі були катодом тліючого розряду. Торці деталей, що зварюють, у процесі обробки встановлювали співвісно на відстані 10...12 мм друг від друга і на них розташовувалася катодна пляма розряду (рис. 1). Після обробки деталі приводилися в контакт механічною системою стиску й здійснювалося їхнє дифузійне зварювання.

Активаційну дію іонної обробки на формування міцного з'єднання визначали за результатами механічних випробувань зразків, зварених в однорідному й різнорідному сполученнях на режимі: температура зварювання 1223 К, зусилля стискання деталей 10 МПа. Час зварювання варіювали в межах 6 – 9 – 12 – 15 – 20 хв.

Вплив попередньої іонної обробки на формування зварених з'єднань виявився в зниженні тривалості інкубаційного періоду, що передує початку утворення хімічних зв'язків і розвитку дифузійного масопереносу. Тривалість інкубаційного періоду орієнтовно оцінювали за часом досягнення однакового рівня міцності з'єднань при зварюванні з іонною активацією й без неї.

Найбільше помітно цей вплив виявився при однорідному з'єднанні титанових сплавів і титана з нержавіючою сталлю, де тривалість зварювання скоротилась на 28...32% й 22...24% відповідно (рис. 2). Набагато менш істотний вплив попередньої іонної обробки поверхонь, що з'єднували, при зварюванні зразків зі сталі 45, де активним відновлювачем поверхні є вуглець.

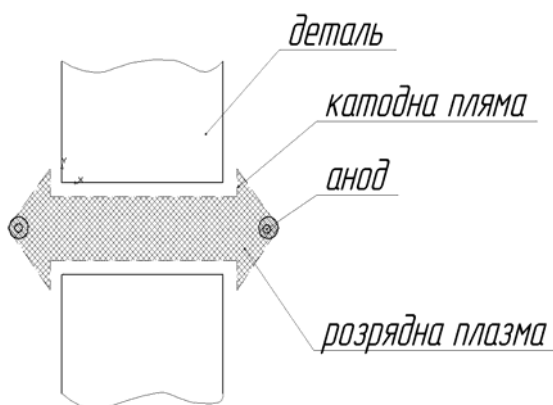


Рис. 1. Схема іонної обробки зварюваних поверхонь металів

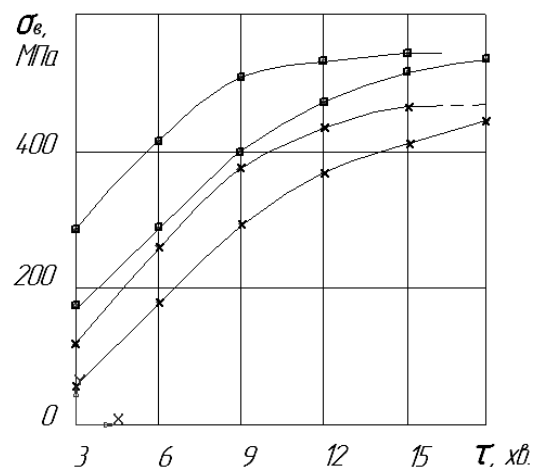


Рис. 2. Кінетика формування міцності дифузійного з'єднання із застосуванням попередньої іонної обробки (----) і без неї (- - -):

x – ВТ3-1 + сталь 12X18H10T;

□ – ВТ3-1 + ВТ3-1

Дослідження поверхні сталі 12Х18Н10Т на растровому електронному мікроскопі показали, що до іонного очищення вона покрита глобулями не змочуючих поверхню забруднень (рис. 3, а), а після очищення відкривається її тонкий мікрорельєф (рис. 3, б). Звичайно, на цих зображеннях не видні тонкі прозорі шари адсорбованих газів й окислів, що утворилися на поверхні вже після іонної обробки.

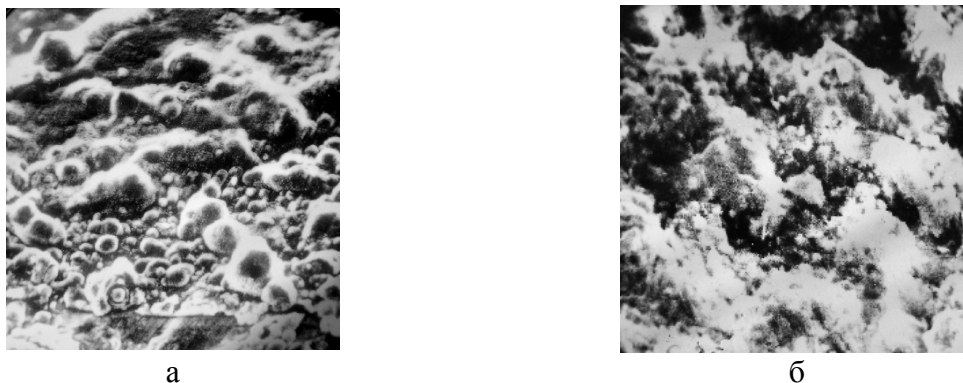


Рис. 3. Рельєф поверхні сталі 12Х18Н10Т до (а) і після (б) іонної обробки ($\times 5000$)

Дослідження змочуваності поверхні тієї ж сталі дистильованою водою, що наноситься у вигляді краплі масою 0,02 г, свідчить про помітне зниження крайового кута після іонної обробки як у порівнянні з вихідною поверхнею, так і після промивання її ацетоном (рис. 4). При цьому шорсткість поверхні сталі в результаті іонної обробки, виміряна за допомогою профілографа-профілометра типу А1 моделі 252, збільшилася щодо первісної шорсткості $R_z = 0,04 \dots 0,06$ мкм досить незначно (не більш, ніж на 10...15 %). У зв'язку із цим, більш імовірною є активація поверхонь, викликана зміною їхнього хімічного складу.

Перевірку цього припущення робили на зразках з малолегованого алюмінієвого сплаву АМц, виготовлених з листового гарячокатаного прокату. Алюміній зручний для цих цілей тим, що на його поверхні завжди присутній шар природного окису товщиною порядку 3 нм. В умовах гарячої прокатки або відпалу на повітрі товщина цього шару зростає до 15 нм [9] і він може бути досить легко виявлений сучасними вимірювальними засобами. Хімічний склад поверхні й поверхневого шару зразків до й після іонної обробки визначали методом спектроскопії оже-електронів за допомогою інструментального комбайна LAS-2000 фірми «Riber» (виміри виконані в ІЕЗ ім. Е. О. Патона НАН України). Результати вимірів наведені на рис. 5, де видно, що в результаті іонної обробки склад поверхні помітно змінився.

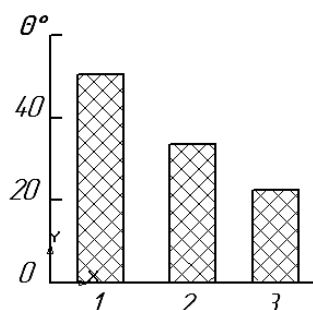


Рис. 4. Зміна кута змочування поверхні сталі в залежності від способу її обробки: 1 – вихідна поверхня; 2 – промивання поверхні ацетоном; 3 – іонна обробка поверхні

Найбільш істотно результати обробки проявляються в зменшенні товщини прошарку, що відокремлює чистий алюміній від поверхні, і що представляє, очевидно, поверхневу оксидну плівку. Останнє підтверджується тим, що саме на цю глибину доводиться максимальна

концентрація кисню в поверхневому шарі, загальний вміст якого після іонної обробки також помітно знизився. Можна вважати, що аналогічним чином у процесі іонного бомбардування відбувається видалення або істотне зменшення товщини менш стійких, ніж Al_2O_3 , окисних плівок хрому й титана на поверхні досліджуваних сталевих і титанових зразків. Це повинне сприяти їхньому руйнуванню й подрібненню в процесі утворення фізичного контакту й макропластичної деформації при дифузійному зварюванні.

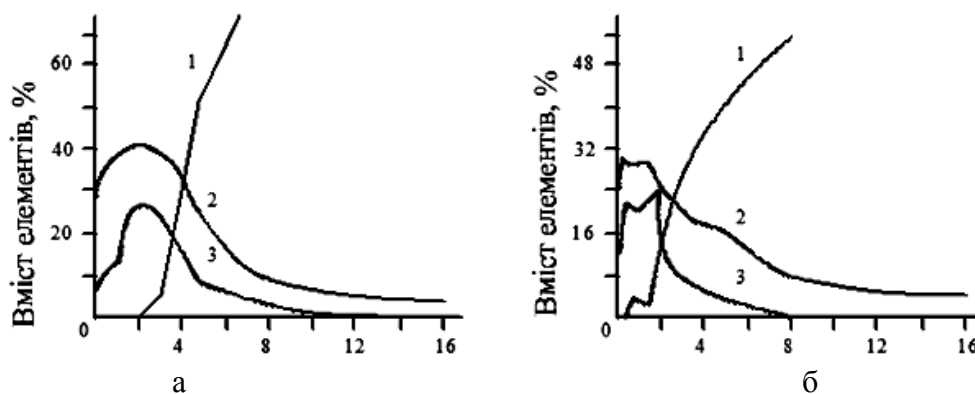


Рис. 5. Концентраційні профілі розподілу елементів у поверхневих шарах сплаву АМц до (а) і після (б) іонної обробки поверхні (по осі абсцис зазначений час виміру у хв.):

1 – алюміній; 2 – кисень; 3 – алюміній в Al_2O_3

Отримані результати дозволяють рекомендувати застосування в єдиному циклі іонного очищення й дифузійного зварювання однорідних і різнорідних металів і сплавів. Найбільш ефективна така технологія при зварюванні активних металів, а також, з'єднань, у зоні зварного контакту яких є присутнім недостатня кількість елементів-відновників й/або відсутній такий потужний прискорювач процесів масопереносу, як помітний градієнт концентрації легуючих або матричних компонентів, що входять до складу матеріалів, що зварюються.

ВИСНОВКИ

Застосування іонного бомбардування для очищення й активації поверхонь, що зварюються, як технологічної операції, що передуює з'єднанню металів, є ефективним способом інтенсифікації процесу зварювання тиском і підвищення якості зварних з'єднань.

Процеси іонного очищення поверхонь, що з'єднують, і дифузійного зварювання можуть виконуватися послідовно в єдиному циклі у зварювальній вакуумній камері, що розширює технологічні можливості дифузійного зварювання й забезпечує підвищення її продуктивності на 20...30 %.

ЛІТЕРАТУРА

1. Шоршоров М. Х. О природе физико-химических процессов в сварных и паяных соединениях / М. Х. Шоршоров, Ю. Л. Красулин // Сварочное производство. – 1967. – № 12. – С. 1–4.
2. Котельников Д. И. Сварка давлением в тлеющем разряде / Д. И. Котельников. – М. : Металлургия, 1981. – 116 с.
3. Физико-химические свойства элементов / Под ред. Г. В. Самсонова. – Киев : Наукова думка, 1965. – 807 с.
4. Физико-химические свойства окислов / Под ред. Г. В. Самсонова. – М. : Металлургия, 1969. – 456 с.
5. Адамсон А. В. Физическая химия поверхностей / А. В. Адамсон. – М. : Мир, 1979. – 568 с.
6. Мусин Р. А. Диффузионная сварка жаропрочных сплавов / Р. А. Мусин, В. Н. Анциферов, В. Ф. Квасницкий. – М. : Металлургия, 1979. – 208 с.
7. Пешков В. В. Влияние окисных пленок на взаимодействие контактных поверхностей при диффузионной сварке титана / В. В. Пешков, М. Н. Подоприхин, В. Н. Милютин // Сварочное производство. – 1983. – № 12. – С. 4–5.
8. Мазур А. И. Процессы сварки и пайки в производстве полупроводниковых приборов / А. И. Мазур, В. П. Алехин, М. Х. Шоршоров. – М. : Радио и связь, 1981. – 224 с.
9. Никитинский А. М. Пайка алюминия и его сплавов / А. М. Никитинский. – М. : Машиностроение, 1983. – 189 с.