

тліючому розряді з нестационарним живленням. – Хмельницький: Вісник ХНУ;- 2011;- №5; С. 10-13.

8. Пастух І. М. / І. М. Пастух, О. С. Здибель Практична апробація положень теорії азотування в тліючому розряді // Вісник Хмельницького національного університету. - Хмельницький, 2007. - №1. – С. 7-25.

9. Пастух І. М. / М. В. Лук'янюк, В. О. Курская Перспективи керування формування поверхневих трибо технічних систем при азотуванні в тліючому розряді з нестационарним живленням. – Хмельницький: Вісник ХНУ;- 2011;- №6; С. 114-119.

Статтю представляє: д.т.н. Пастух І.М.

Надійшла: 20.02.2012 р.

УДК 621.791.754

О.О. АБРАМОВ, В.В. ЗАВГОРОДНИЙ, А.А. ВИЧАВКА

Хмельницький національний університет

ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ВОЛОГОСТІ ВУГЛЕКИСЛОГО ГАЗУ НА ПРОБИВНИЙ ЗАГОР І ПАРАМЕТРИ ЕЛЕКТРИЧНОГО РОЗЯДУ МІЖ МІДНИМИ ЕЛЕКТРОДАМИ

Представлені результати виконаної роботи з визначення співвідношення величин максимальних проміжків між мідними струмоведучими електродами, які пробиваються електричним розрядом за напруги 80 В у середовищі вуглекислого газу різної вологості. Наведені значення відносного пробивного зазору, напруги пробую і струму електричних розрядів у міжелектродних проміжках.

The paper represents results of the work aimed at finding relationship of values of the maximal spaces between conductive copper electrodes which are broken through by electric discharge under 80 V voltage in carbon dioxide medium having various humidity. The values are stated for relative break through gap, breaking through voltage and currents of electric charges in spaces between electrodes.

Ключові слова: вуглекислий газ, вологість, електричний розряд, пробивний зазор.

Вступ

Склад і стан газового середовища, яке застосовується для захисту зони механізованого дугового зварювання, надають значний вплив не тільки на якість формованих зварних з'єднань, але і на працездатність зварювальних пальників і, перш за все, наконечників їх струмопідвідних мундштуків.

Відомо, що при дуговому зварюванні металевих матеріалів широке застосування знайшли вуглекислий газ та його суміші з аргоном (зазвичай 20–18% вуглекислого газу і 80–82 % аргону). Приведені гази мають неоднакові властивості і, зокрема, різний опір електричному пробую за наявності різниці потенціалів між елементами електричного ланцюга. Такими елементами при механізованому зварюванні плавким електродом у середовищі вуглекислого газу є наконечник струмопідвідного мундштука зварювального пальника (наконечник служить анодом) і рухомий по його поверхні в зону зварювання електродний дріт.

При помітному зношуванні наконечника зварювального пальника різко послаблюється контакт поверхні його отвору з електродним дротом, внаслідок чого в зазорі, що утворюється між ними, виникає іскріння [1–3]. Якщо іскріння набуває систематичний характер, то воно приводить до виділення значної теплової енергії на поверхні отвору наконечника, розм'якшенню, розплавленню і навіть випаровуванню її деяких ділянок. Все це викликає значний нагрів і посилення електроерозійного зношування поверхні наконечника [2; 4]. Руйнуюча дія електроерозії на наконечник зварювального пальника підвищується зі зменшенням електричної стійкості газового середовища, внаслідок чого зростає величина пробивного зазору, кількість самих розрядів стає більше, і вони охоплюють значні площі.

У літературі є суперечливі відомості про напругу, достатню для пробую повітряного проміжку між поверхнею отвору наконечника і електродним дротом струмопідвідного мундштука. У роботі [5] стверджується, що пробой невеликих повітряних проміжків при напрузі між електродами менше 250 В може виникати тільки при замиканні цього проміжку великими або дрібними механічними частинками. Автор [6] вважає, що до реалізації початку іскрового розряду можуть призводити також утворення «контактних містків». По результатам досліджень [7] величина безконтактного пробую повітряного міжелектродного проміжку при напрузі менше 300 В знаходиться в межах від 10^{-6} до 10^{-3} см і залежить від стану поверхні контактуючої пари. Проте автори [8] вважають, що для виникнення електричного розряду між контактами у повітрі мінімально необхідними є струм 0,5 А і напруга 15–20 В.

Величина напруги пробую залежить також від роду газу і його стану. У літературі [9] наведені значення критичної напруги, достатні для реалізації пробую проміжку між струмопідвідними матеріалами в деяких газах (у тому числі вуглекислому), які можуть знаходитися в зварювальній зоні (табл. 1).

Залежно від області застосування, а також за фізико-хімічними показниками двооксид вуглецю газоподібний й рідкий (CO_2) згідно ГОСТ 8050-85 випускають трьох марок: зварювальний (не менш 99,5 % CO_2), харчовий (не менш 98,8 % CO_2) і технічний (не менш 98,5 % CO_2). Для зварювання повинні

застосовуватися тільки зварювальний і харчовий двооксид вуглецю. Їх склад строго регламентується. Тем не менш при відхиленні технологічного процесу отримання газу або при застосуванні технічного сорту вуглекислий газ у балонах може вміщувати значну кількість вологи, яка при зварюванні буде насичувати рідкий метал воднем і приводити до утворення тріщин і пір у зварних з'єднаннях. Крім того, присутність вологи в вуглекислому газі повинна негативно відобразитися на працездатності наконечників струмопідвідних мундштуків зварювальних пальників, тому що вона знижує електроопір газових середовищ і, слідові, сприяє інтенсифікації електроерозійних процесів.

Таблиця 1

Напруга пробую деяких газів відносно повітря при однаковій вологості

Газ	Відносна пробивна напруга	Газ	Відносна пробивна напруга
SF ₆	2,3–2,5	N ₂	1,0
SO ₂	1,9–2,3	CO ₂	0,9

Проте дані про електричну стійкість вуглекислого газу при його різній вологості, а також величині пробивного зазору в цьому газі при зварювальних напругах в літературі відсутні. Тому визначення таких даних а також даних про особливості прояву електричних розрядів в зоні контакту поверхні наконечника з електродним у вуглекислому газі, на наш погляд, є актуальною задачею.

Методика і результати дослідження

Для з'ясування впливу вологості вуглекислого газу на величину пробивного зазору між мідними електродами, що імітують поверхні отвору мідного наконечника струмопідвідного мундштука зварювального пальника та електродного дроту, спроектована і виготовлена наступна дослідна установка (рис. 1).

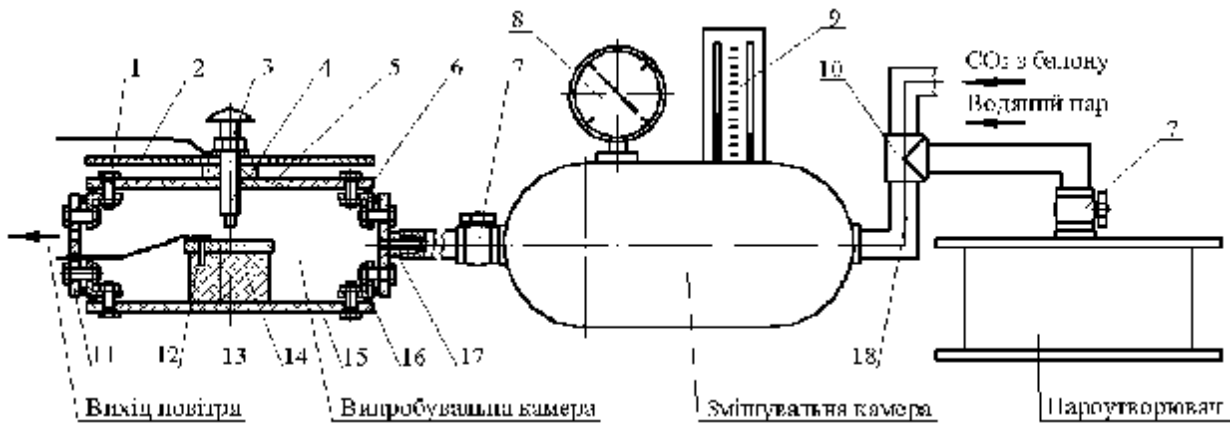


Рис. 1. Схема дослідної установки для визначення пробивного зазору

Установка складається з чотирьох основних частин: випробувальної і змішувальної камер, пароутворювача і балону з вуглекислим газом (останній на рисунку не показаний). Корпус випробувальної камери виконаний у вигляді прямокутного паралелепіпеду розміром 160×160×80 мм з кутків 16. До корпусу з допомогою болтів 1 кріпляться верхня 5, нижня 15 гетинаксові кришки і бічні стінки 11. Для забезпечення можливості безпосереднього нагляду за виникненням розряду бічні стінки виготовлені з плексигласу. У середині нижньої кришки до неметалевої підставці 14 за допомогою гвинта 12 кріпиться нижній електрод – мідна пластина 13 і клема для підведення до ній потенціалу зі знаком (-).

Підставка 14 приклеєна до кришки епоксидною смолою. Для забезпечення герметичності камери між її кришками й корпусом у камері передбачено ущільнення 6 з пористої гуми. До верхньої кришки гвинтами прикріплена текстолітова шайба (на схемі не позначена), в яку вставлена сталеві гайка (на схемі не показана) і залита епоксидною смолою. У гайку ввернуто сталеві шпилька 4 з дуже дрібним різьбленням М8×0,5, до якої приєднана електрична клема зі знаком (+). До нижнього торця шпильки за допомогою різьблення кріпиться верхній електрод – штир (на схемі не позначений) довжиною 10 мм і діаметром 5 мм із міді М1. При обертанні шпильки штир має можливість рухатися до мідної пластини й у кінцевій точці впертися в неї. У такий спосіб забезпечується електричний контакт між двома мідними деталями. Вибір міді у якості матеріалу для випробувань зв'язано з тим, що у зварювальному наконечнику електричний контакт становить між самим наконечником, виготовленим з міді, та покритим міддю зварювальним дротом.

На верхню частину шпильки через просвердлений отвір насаджений вимірювальний диск 2, якій за допомогою притискної гайки 3 підтискується до клеми. На верхню частину вимірювального диска нанесений лімб у вигляді окружності, розділеної на 72 частини для того, щоб ціна розподілу однієї частини становила 5°. При повороті вимірювального диска на один розподіл шпилька зі штирем переміщається на 0,0069 мм. Таким чином, забезпечується можливість одержувати зазори величиною порядку десятих і сотих

часток міліметра.

У випробувальну камеру суміш вуглекислого газу й водяного пару певної вологості надходила зі змішувальної камери – сталевий ємності об'ємом 20 літрів, оснащеної приладами для вимірювання тиску (манометром 8) і вологості (психрометром 9). Вуглекислий газ відбирався зі стандартного балону.

Джерелом водяної пари служив пароутворювач. Нагрів води до пари в пароутворювачі здійснювався газовим полум'ям. Для з'єднання випробувальної й змішувальної камер, балону і пароутворювача між собою використовувалися гумові сполучні шланги 18, штуцер 17 і трійник 10. Регулювання величини подачі водяної пари й суміші виконувалося за допомогою кульових кранів 7.

Оскільки зварювання в середовищі вуглекислого газу здійснюється на постійному струмі зворотної полярності, для експерименту в якості джерела живлення вибрали зварювальний випрямляч ВКСМ-1000. Електрична схема підключення всіх складових від джерела живлення при дослідженнях величини пробивного зазору між електродами у випробувальній камері представлена на рис. 2. До складу схеми крім випрямляча входять чотири послідовно включених баластових реостати РБ-302 для зниження струму короткого замикання (на схемі позначені РБ), вольтметр й амперметр.

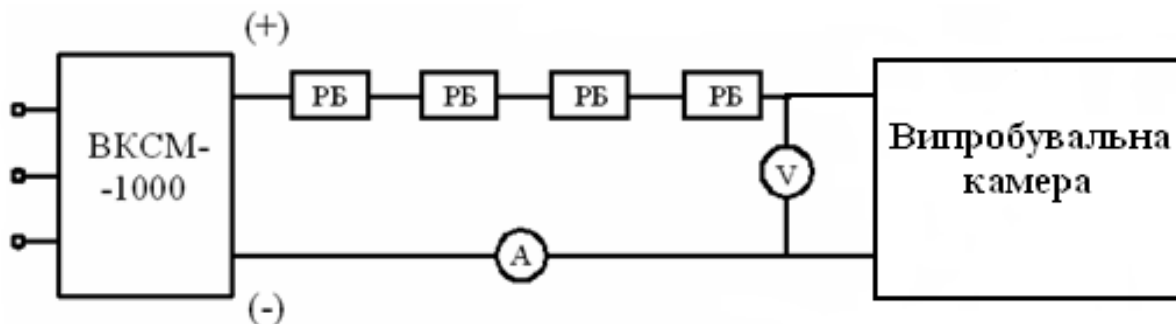


Рис. 2. Електрична схема із зображенням випробувальної камери для визначення величини пробивного зазору

Для визначення пробивного проміжку між електродами у середовищі вологого вуглекислого газу він на шляху з балону спочатку змішувався з паром із пароутворювача у трійнику, а потім подавався в змішувальну і випробувальну камери для витіснення з них повітря. Після такого «промивання» краник 7 на випробувальній камері, редуктор 8 на балоні і кран 7 пароутворювача (рис. 1) переводилися в закриті положення. У змішувальній камері вимірювалася вологість вуглекислого газу (така вологість утворювалася також у випробувальній камері), після чого на клемі подавалася напруга джерела живлення для визначення пробивного проміжку.

В першу чергу, на установці проведено визначення пробивного проміжку між електродами у камері з вуглекислим газом вологістю 60 % (прийнятий за еталон) на підставі показчиків сухого й вологого термометрів психрометра по id – діаграмі. Для цього до електродів, розташованих на клемі пристрою й валику повороту вимірювального диска, з випрямляча подавалася напруга 80 В. При зближенні електродів на деяку величину у газовому просторі між ними виникав пробій. Сигналом до виникнення цього явища служили поява струму в ланцюзі та його реєстрація амперметром, а також зниження напруги, яка фіксувалася мілівольтметром.

Всі гази випробувалися на пробивний зазор по чотири рази, при цьому фіксувалися напруга пробією і струм розряду. Напруга в момент пробією при випробуваннях коливалася від 35 до 55 В, сила струму розряду – в межах 5–20 А.

За отриманими результатами для кожного з газів розраховувалися середні значення контрольованих параметрів. Для порівняння стійкості газу різної вологості в електричному полі величина міжелектродного проміжку, при якому здійснювався пробій вуглекислого газу вологістю 60 %, була прийнята за одиницю. Стійкість вуглекислого газу з іншою вологістю оцінювалася порівнянням зі стійкістю вуглекислого газу з вологістю 60 % – відносним пробивним зазором k , який розраховувався за формулою

$$k = \frac{\Delta l_{\Gamma}}{\Delta l_{\Pi}}, \quad (1)$$

де Δl_{Γ} – величина пробивного зазору досліджуваного газу;

Δl_{Π} – величина пробивного зазору вуглекислого газу з вологістю 60 %.

Результати випробувань і розрахунків представлені в табл. 2.

Дані табл. 2 показують, що підвищення вологості вуглекислого газу, що знаходиться у проміжку між мідними електродами, з 60% до 100 % призводить до зменшення його опору електричному пробією у 5 разів і зменшення напруги пробією в 1,6 рази. У той же час підвищення вологості газу у названому діапазоні супроводжується збільшенням величини струму розряду у 4 рази.

Параметри електричного розряду у вуглекислому газі різної вологості

Склад досліджуваного газу	Вологість газів ψ , %	Відносний пробивний зазор k	Напруга джерела живлення U , В	Напруга пробою U , В	Струм розряду I_p , А
CO ₂	60	1,0	80	55	5
CO ₂ + водяний пар	75	2,1	80	50	8
CO ₂ + водяний пар	85	2,9	80	45	10
CO ₂ + водяний пар	95	4,1	80	40	15
CO ₂ + водяний пар	100	5,0	80	35	20

Висновки

Встановлені співвідношення величин пробивних зазорів між мідними струмоведучими електродами у середовищі вуглекислого газу різної вологості. Визначено, що підвищення вологості цього газу з 60 % до 75, 85 і 100 % при напруги 80 В приводить до зменшення його стійкості проти виникнення електричних розрядів відповідно у 2,1; 2,9; 4,1 і 5 рази, що в умовах зварювання буде приводити до інтенсифікації електроерозії і підвищення зносу струмопідвідних наконечників зварювальних пальників. Виміряні значення параметрів електричних розрядів.

Література

1. Бригидин В.Я. О работе токоподводящих наконечников при дуговой сварке / В.Я. Бригидин // Сварочное производство. – 1979. – № 8. – С. 20–21.
2. Чубуков А.А. Влияние износа наконечника на технологические параметры процесса сварки / А.А. Чубуков // Сварочное производство. – 1980. – № 1 – С. 26–27.
3. Дмитрик В.В. Токоподводящие мундштуки из порошковых материалов для сварочных горелок / В.В. Дмитрик, С.И. Притула. // Автоматическая сварка. – 2005. – № 3. – С. 44–47.
4. Воропай Н.М. Технологические свойства омедненной сварочной проволоки / Н.М. Воропай, М.В. Бринюк. – 2002. – № 4 (26). – С. 16–20.
5. Афанасьев Н.В. Влияние материала упрочняющего электрода на износостойкость упрочненного слоя и сопряженной детали / Афанасьев Н.В., Головейко А.Г., Путан Л.А. – Минск, 1955. – С. 99–108.
6. Стекольников И.С. Исследование начальной стадии разряда при очень малых электродных промежутках / Стекольников И.С. – М., изд-во АН СССР, ОНТ, 1950, № 7. – С. 985–995.
7. Намитоков К.К. Некоторые вопросы физики процесса электрической эрозии металлов в низковольтных импульсных разрядах / Намитоков К.К. – М., Изд-во АН СССР, 1963. – С. 56–68.
8. Электрическая эрозия силовых контактов и электродов / [Буткевич Г.В., Белкин Г.С., Ведешенков Н.А., Жаворонков М.А.]. – М. : «Энергия», 1978. – 256 с.
9. Таблицы физических величин / Под ред. И.К. Кикоина. – М. : Атомиздат, 1976. – 1004 с.

Рецензент: д.т.н. Диха О.В.
Надійшла 15.2.2012 р.

УДК 621

Г.Б. ПАРАСКА, Н.Г. СУРЬЯНИНОВ, Е.В. СЛАБЕНКО

Хмельницький національний університет

ПРИЛОЖЕНИЕ МЕТОДА ГРАНИЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ К ЗАДАЧЕ ИЗГИБА ДЛИННОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ

Исследуется модель цилиндрической оболочки, состоящей из бесчисленного множества поперечных изгибаемых элементарных полосок. Получены выражения для фундаментальных ортонормированных функций в совокупности с функциями Грина, которые вместе с вектором нагрузки будут использоваться для решения краевых задач изгиба.

There is investigated a model of cylindrical shell, constituted from innumerable set of cross-cut bendable elementary strips. There have been obtained statements for fundamental orthonormed functions with Green's functions, which up with the load vector will be used for solving boundary problems of bend.

Ключевые слова: метод граничных элементов, изгиб длинной цилиндрической оболочки

Как известно [2], напряженное состояние цилиндрической оболочки и соответствующая теория ее расчета существенно зависят от длины оболочки. В случае длинной оболочки, опертой по криволинейным краям и нагруженной произвольной плавно изменяющейся нагрузкой, ее напряженное состояние близко к балочному. При неравномерном распределении нагрузки вдоль оболочки и по сечению такой подход дает