

8. Аномальный массоперенос и возникновение ЭДС в металлах при импульсном ударном нагружении / В. П. Бевз, В. Ф. Мазанко, О. В. Филатов и др. // Металлофизика и новейшие технологии. – 2006. – Т. 28 (специальный выпуск). – С. 271-277.

УДК 621.791.3

М.Г. Болотов, канд. техн. наук

Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ГЕОМЕТРИЧНИХ ТА ЕЛЕКТРИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОРОЖНИСТОГО КАТОДУ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ НАГРІВУ В УМОВАХ ЗВАРЮВАННЯ

Досліджено вплив геометричних параметрів порожнистого катода на енергетичну ефективність під час зварювання в тліючому розряді.

Вступ. Можливість нагріву в тліючому розряді з порожнистим катодом була показана ще в 1879 році англійським ученим В. Круксом. У його пристрої тепловий ефект досягається шляхом гальмування на зразку, що піддається впливу, швидких електронів, які набувають свою швидкість у області катодного падіння потенціалів (зоні темного катодного простору), прилеглої до півсферичних сегментів катода.

Проте минуло більше сотні років, перш ніж виникла необхідність у використанні таких джерел теплоти, які могли б забезпечити температуру порядку 2000 °С.

До теперішнього часу тліючий розряд з порожнистим катодом активно використовується в різних фізичних експериментах, спектроскопії, в процесах хіміко-термічної обробки металів, газорозрядних електронно-променевих гарматах, електровакуумних приладах і т. д.

Дослідження, проведені в роботах [1; 2] показали можливість застосування тліючого розряду з порожнистим катодом і в умовах зварювання тиском.

Стабільність параметрів режиму, простота технічної реалізації, контролю й управління процесом нагріву, широкий діапазон регулювання технологічних параметрів, малі капітальні витрати роблять тліючий розряд з порожнистим катодом досить ефективним джерелом нагріву для дифузійного зварювання і паяння.

Результати експериментальних порівнянь ефективності різних джерел енергії для дифузійного зварювання, виконані в роботі [3] показують, що тліючий розряд з порожнистим катодом за своїми енергетичними показниками в 3-4 рази перевищує радіаційне (як найбільш поширене) джерело нагріву, в той же час дещо поступається нормальному тліючому розряду.

У зв'язку з цим виникають питання, пов'язані з пошуком способів підвищення енергетичних характеристик тліючого розряду з порожнистим катодом (ТРПК) в умовах зварювального нагріву.

Постановка завдання. Метою роботи є дослідження впливу геометричних характеристик порожнистого катода на ефективність нагріву в умовах зварювання.

Методи та результати. Результати досліджень, виконані в роботі [4], показують, що величина ефективного ККД нагріву в ТРПК визначається, в основному, умовою виходу електронів з катодної порожнини в результаті викривлення траєкторії їх руху, внаслідок дії двох електричних полів.

Для оцінки впливу такого механізму втрат на величину ефективного ККД у цій роботі були проведені досліді з конструктивною зміною схеми нагріву.

Здійснювався нагрів сталевого стрижня діаметром 0,008 м і довжиною 0,04 м, який знаходився у вільно підвішеному стані всередині катода діаметром 0,04 м, висотою 0,04 м. Струм розряду підтримувався постійним на рівні 0,075 А. Температурний стан контролювали ХА- термопарою.

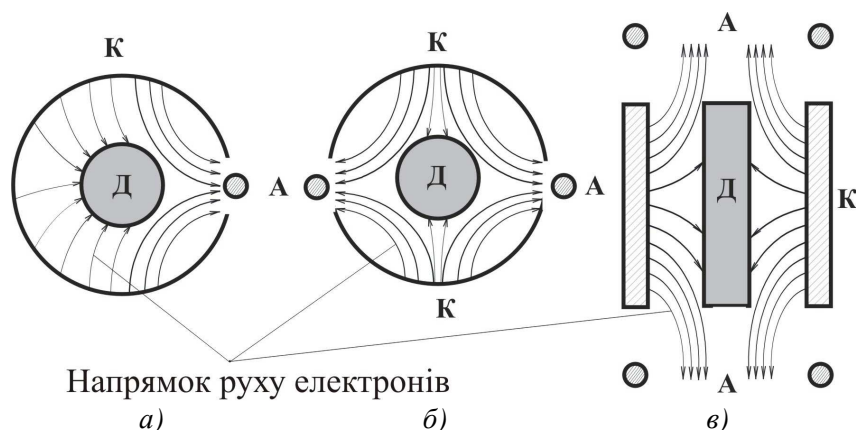


Рис. 1. Схема нагріву тліючим розрядом у порожнистому катоді:

а) схема з одним каналом виходу електронів; б, в) схеми з двома каналами виходу електронів:
 А – анод; К – катод; Д – деталь

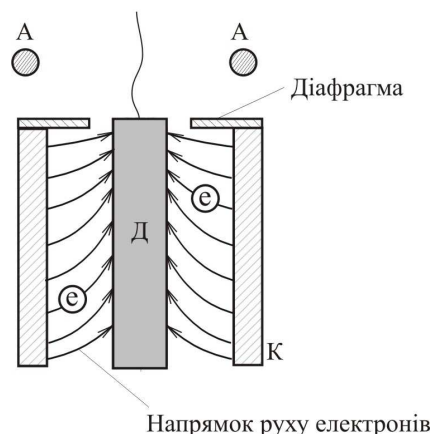
У першому випадку використовували порожнистий катод з прорізом уздовж утворюючої і розташуванням анода вздовж прорізу (рис. 1, а). В цьому випадку утворювався один канал виходу електронів, з викривленням траєкторії електронів у бік анода, перпендикулярно поверхні катода і деталі. Величина ефективного ККД для цієї схеми нагріву становила $\eta_0 = 0,35...0,37$.

У подальших досліджах використовували схеми нагріву з двома каналами виходу електронів. У одному з варіантів використовували порожнистий катод, що складається з двох неповних кільцевих сегментів (рис. 1, б), які знаходяться під одним і тим же потенціалом. У іншому варіанті використовували класичну схему, але з розташуванням додаткового анода поблизу другого відкритого торця катода (рис. 1, в).

Результати експериментів показали, що величина ефективного ККД у обох останніх варіантах становила $\eta_0 = 0,32...0,33$, що на 3...4 % нижче, ніж за наявності одного каналу втрат електронів.

З метою підвищення осциляції електронів усередині катодної порожнини, тобто для перешкоди їх відтоку на анод, вихідний отвір катодної порожнини був накритий сталеву діафрагмою з прорізом по центру для проникнення потоку іонів, бомбардуючих катод і можливості розміщення деталі всередині порожнини. Здійснювався нагрів тієї ж деталі. Величина струму становила 0,075 А. Діафрагма також знаходилася під катодним потенціалом. Схема нагріву представлена на рисунку 2.

Рис. 2. Схема нагріву тліючим розрядом з накритим металевою діафрагмою порожнистим катодом: А – анод;
 К – катод; Д – деталь



Результати експериментів показали, що величина ефективного ККД за цією схемою не перевищує $\eta_0 = 0,35...0,37$, що відповідає попереднім результатам нагріву.

У роботі також розглядався вплив геометричних характеристик порожнистого катода на ефективність нагріву в ТРПК.

У зв'язку з тим, що циліндрична форма катода найбільш проста в реалізації і прийнятна для зварювального нагріву деталей циліндричної форми, тому всі дослідження проводили шляхом зміни апертури катодної порожнини та її висоти.

На першому етапі досліджувався вплив діаметра катодної порожнини, величина якої в наших досліджах змінювалася в межах від 0,02 м до 0,05 м. Висота катода при

цьому залишалася незмінною і становила 0,04 м. Здійснювався нагрів сталевого стрижня діаметром 0,008 м і довжиною 0,04 м.

Результати досліджень показують, що збільшення діаметра катодної порожнини від 0,02 м до 0,05 м, при постійному діаметрі деталі, призводило до зниження величини ефективного ККД нагріву з 0,49 до 0,3 відповідно.

У цьому випадку поряд з підвищенням відтоку електронів через відкритий торець порожнини може бути присутня й інша складова втрат, пов'язана з втратою енергії електронів за рахунок збільшення числа їх зіткнень з атомами та іонами газу під час збільшення відстані катод-деталь при більшому діаметрі катода (рис. 3).

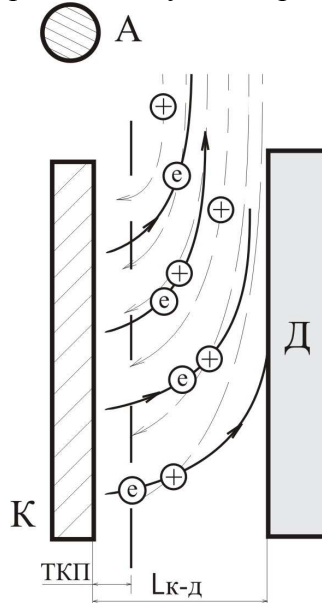


Рис. 3. Електричне поле тліючого розряду з порожнистим катодом:
e – напрямок руху електронів; + – напрямок руху іонів; ТКП – темний катодний простір;
 $L_{к-д}$ – відстань катод – деталь; А – анод; К – катод; Д – деталь

Згідно з кінетичною теорією газів довжина вільного пробігу електронів в газі становить [5; 6]:

$$\lambda_e = 4\sqrt{2}\lambda_a, \quad (1)$$

де λ_a – довжина вільного пробігу атома, яка, згідно з тією ж теорією становить:

$$\lambda_a = \frac{1}{\sqrt{2}\pi d^2 n}, \quad (2)$$

де, у свою чергу, $\sqrt{2}\pi d^2 n = Q$ – газокінетичний переріз атомів (молекул), який для аргону становить $Q = 59 \cdot 10^{-20} \text{ м}^2$, для азоту $Q = 62 \cdot 10^{-20} \text{ м}^2$; n – щільність атомів (молекул) газу, м^{-3} .

Вважаючи, що $n = P/kT$, де P – тиск газу, Па; k – постійна Больцмана ($k = 1,38 \cdot 10^{-23}$); T – температура газу, яка в нашому випадку становить $T \approx 573 \dots 873 \text{ К}$, можна перетворити вираз (1) до вигляду:

$$\lambda_e \approx 4\sqrt{2} \frac{kT}{PQ}. \quad (3)$$

Розрахунки, виконані згідно з (3) для аргону, показали, що довжина вільного пробігу електронів при тиску газу 26...53 Па становить $\lambda_e = 0,004 \dots 0,002 \text{ м}$. Тобто, під час збільшення діаметра катода від 0,02 м до 0,05 м кількість зіткнень електронів зростає в 3...4 рази, що безумовно повинно відбитися на їх кінцевій швидкості і, відповідно, енергії зіткнення з поверхнею деталі.

Для проведення подальших досліджень були використані циліндричні порожнисті катода діаметром 0,04 м заввишки 0,025 м, розташовані, як показано на схемі (рис. 4).

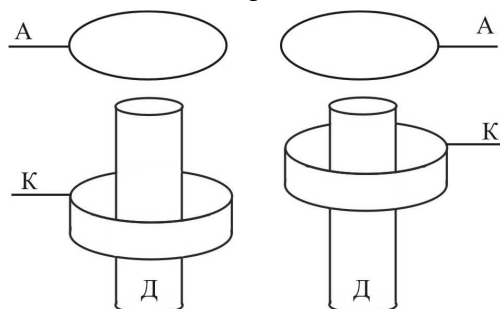


Рис. 4. Схема нагріву тліючим розрядом з порожнистим катодом довжиною 0,025 м:

А – анод; К – катод; Д – деталь

Отримані результати показують, що використання катода висотою 0,025 м, встановленого поблизу верхнього торця деталі, забезпечує ефективний ККД на рівні $\eta_0 = 0,29$, що на 3 % вище ніж його розташування по центру деталі ($\eta_0 = 0,26$). Це обумовлено тим, що в наших експериментах термопара розміщувалася саме в верхньому торці деталі, що неминуче призводило до зростання швидкості (скорочення часу) нагріву.

Використання катодів довжиною менше 0,02 м не є доцільним, оскільки емітовані з поверхні катода електрони не затримуватимуться всередині порожнини і відразу вирушають на анод. Ефект порожнистого катода буде слабшати і, відповідно, ефективність джерела нагріву падатиме.

Використання катодів великої довжини (в яких $L \gg D$) також не рекомендується, оскільки при чималій довжині катодної трубки всі nereкомбіновані іони впадуть на бічну поверхню катода, розташовану поблизу до вхідного отвору. У зв'язку з цим емісія електронів, що беруть участь у нагріві деталей, виникатиме лише на вказаній поверхні. Це призведе до зниження величини ефективного ККД нагріву.

Також у роботі проводилися дослідження з циліндричним порожнистим катодом, виконаним із сталевий сітки діаметром 0,02 м, заввишки 0,04 м і розміром вічка 0,25 мм. Зовнішня поверхня сітки впритул прилягала до керамічної ізоляційної трубки, що перешкоджало осциляції заряджених часток в отвори сітки. Експеримент проводили на тій же деталі. Струм розряду підтримувався на рівні 0,075 А.

Отримані результати показали, що ефективність нагріву з використанням сітчастого катода на 4...6 % нижче, ніж при нагріві в суцільному порожнистому катоді. Так величина ефективного ККД нагріву з використанням такого катода коливається в межах $\eta_0 = 0,29...0,33$. Це може бути пов'язано із зменшенням площі емітуючої поверхні порожнистого катода, і, відповідно, кількості електронів, що беруть участь в процесі нагріву.

Висновки. Встановлено, що однією з причин зниження ефективності нагріву в тліючому розряді з порожнистим катодом, поряд із відтоком електронів у напрямку до аноду, є втрата енергії електронів за рахунок збільшення числа їх зіткнень з атомами й іонами газу під час збільшення відстані катод-деталь.

Встановлено вплив геометричних характеристик катодної порожнини на величину ефективного ККД нагріву в тліючому розряді з порожнистим катодом.

Список використаних джерел

1. Болотов Г. П. Дослідження стійкості тліючого розряду з порожнистим катодом в умовах зварювання. / Г. П. Болотов, М. Г. Болотов // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. – 2008. – № 36. – С. 100.

2. Болотов Г. П. Розрахункове визначення температури нагріву деталей при дифузійному зварюванні в тліючому розряді з порожнистим катодом. / Г. П. Болотов, М. Г. Болотов // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. – 2009. – № 40. – С. 23-29.

3. Болотов Г. П. Порівняльна оцінка ефективності джерел енергії для дифузійного зварювання у вакуумі. / Г. П. Болотов, М. Г. Болотов // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. – 2010. – № 42. – С. 144-147.
4. Болотов М. Г. Ефективність нагріву при зварюванні в тліючому розряді з порожнистим катодом. / М. Г. Болотов, Т. Р. Ганєєв // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. – 2012. – № 55. – С. 126-131.
5. Смирнов Б. М. Физика слабоионизированного газа / Б. М. Смирнов. – М.: Наука, 1978. – 416 с.
6. Каганов И. Л. Ионные приборы / И. Л. Каганов. – М.: Энергия, 1972. – 525 с.

УДК 621.791.052

Л.Б. Шрон, канд. техн. наук

В.Б. Богуцкий, канд. техн. наук

Б.Л. Шрон

Б.В. Богуцкий

Севастопольский национальный технический университет, г. Севастополь, Украина

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ УГЛОВ И РАДИУСОВ ПЕРЕХОДА ШВА К ОСНОВНОМУ МЕТАЛЛУ В СТЫКОВЫХ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ

В статье приведена методика исследования геометрических параметров зоны сопряжения стыкового шва с основным металлом и характер их распределения по фронту шва.

Постановка проблемы. Работоспособность сварных соединений в условиях усталостного и хрупкого разрушения в значительной степени зависит от локального повышения напряжений в зонах конструктивных и технологических концентраторов. Несмотря на то, что стыковые соединения обеспечивают меньшую концентрацию напряжений по сравнению с другими типами соединений, но и у них из-за концентрации напряжений наблюдается резкое снижение сопротивления усталости. Решающее значение при этом приобретает плавность сопряжения шва с основным металлом.

Анализ литературы. Экспериментальные данные большинства исследователей свидетельствуют о том, что основное влияние на концентрацию напряжений в стыковых швах и их сопротивление усталости оказывают угол перехода шва к основному металлу φ и радиус сопряжения r (рис. 1). В ряде работ решающим фактором, определяющим сопротивление усталости сварных соединений, считается угол перехода φ . При увеличении его от нуля (без усиления) до 60° сопротивление усталости стыковых соединений среднеуглеродистых сталей снижается в среднем в 2,5 раза.

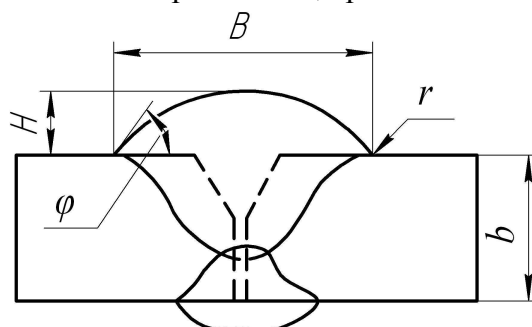


Рис. 1. Основные геометрические параметры усиления стыкового шва

Некоторые исследователи связывают сопротивление усталости стыковых сварных соединений с коэффициентом формы усиления γ , который при определенных условиях может характеризовать величину угла φ . Так, в работах Д.И. Навроцкого и Л.А. Мордвинцева установлено, что для стыковых сварных соединений низкоуглеродистой стали существует прямая зависимость между величиной φ и числом циклов до разрушения. В