

УДК 669.187

ДОСЛІДЖЕННЯ ВОЛЬТ-АМПЕРНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ДУГИ, ЩО ГОРИТЬ В АРГОННОМУ СЕРЕДОВИЩІ¹

Ю. С. Баранова, Є. О. Дуда

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»

В роботі розглянуто два випадки горіння дуги в атмосфері аргону. Був використаний термодіфузійний катод з дифузійною та контрагованою прив'язкою та наведені вольт–амперні характеристики горіння дуг.

В работе рассмотрены два случая горения дуги в атмосфере аргона. Был использован термоэмиссионный катод с диффузионной и контрагованной привязкой и представлены вольтамперные характеристики горения дуг.

In this work are presented two kinds burning of arcs in argon atmosphere. Thermo–emission cathode was used with diffusion and (контрагованной) cording. Also we have volt–ampere characteristics burning these arcs.

Вступ

Швидкий розвиток технічних галузей промисловості, необхідність створення принципово нових високоякісних сталей та сплавів, пошук нових енергозберігаючих та матеріалозберігаючих способів отримання якісної металопродукції, вирішення екологічних проблем потребує розширення робіт, пов'язаних із новими технологіями отримання високоякісного металу. Зараз у світі відомі такі електричні джерела теплоти, як електрична дуга, електричний опір, електронно–променева гармата, плазмотрон. Використання останнього знайшло широке застосування у металургійній та хімічній галузях для рудної плавки, плавлення та рафінування металів і сплавів, процесів відновлення, нанесення покриттів і тугоплавких сполук, синтезу різних речовин тощо [1].

Дослідження процесів, що відбуваються у дугах плазмотронів мають довгу історію. Їх результати узагальнені у цілому ряді оглядів та монографій [2–3]. Проте, не зважаючи на великий обсяг наукових розробок у сфері плазмової технології, існує цілий ряд питань, що і досі є

¹ – роботу виконано під керівництвом к.т.н., доцента Ю. Я. Готвянського, Національний технічний університет України „КПІ”

недостатньо вивченим. Одним із таких питань є довільний не передбачений перехід дуги постійного струму із термоемісійним катодом між двома (а можливо і більше) видами горіння дуги, які характеризуються різними формами катодної прив'язки.

Ця проблема є актуальною, так як із розвитком автоматизації процесів плазмово–дугового переплаву всі роботи по регулюванню та контролюванню параметрів плавки ведуться не вручну, а машинізовано. Дуже важливо при допомозі математичних моделей та запрограмованих обчислень дуже точно передбачити зміну параметрів горіння дуги, адже на них впливає велика кількість факторів.

Теоретична частина

Термоемісійні катоди знаходять широке застосування у різних плазмових пристроях: електродугових двигунах, МГД–генераторах та, головним чином, у металургійних генераторах низькотемпературної плазми (плазмотронах). Багато у чому саме термоемісійні катоди визначають ресурс роботи всіх цих пристроїв [4].

Раніше було доведено, що існує дві форми прив'язки дуги до термоемісійного катоду: дифузійна та контрагована [2–3]. Дифузійною прив'язкою вважають ту, у якій менша густина струму. Проте обидві ці прив'язки не завжди можуть охоплювати всю поверхню катоду, що звернена до аноду. Тому їх часто називають «катодною плямою» або просто «плямою».

Катодна пляма по суті є ділянкою на поверхні катоду, що яскраво світиться. Вона виникає при переході тліючого розряду до дугового розряду внаслідок зміни основного механізму генерації електронів: у найпростішому випадку автоелектронна емісія змінюється термоелектронною емісією, зона емісії практично по всій поверхні катоду стягується у малу катодну пляму. Температура в області цієї прив'язки різко збільшується і досягає значень температури плавлення або возгонки. В залежності від матеріалу та геометрії катода і величини струму, окрім термоелектронної емісії, можливі ще інші механізми при переході тліючого розряду в дуговий. Наприклад, це може бути вибухова електронна емісія [5].

Термін «катодна пляма» є загальноприйнятим для позначення нестационарної прив'язки дуги до холодного катоду у вакуумі або газовому середовищі. Прив'язка до холодного катоду відрізняється від прив'язки до термоемісійного катоду більш високим значенням густини струму, значнішою швидкістю ерозії та станом прикатодної плазми.

Ця різниця є дуже суттєвою, бо максимальна густина іонного струму на катод обмежується тиском плазмоутворюючого газу. Якщо ж

плазмоутворююча речовина генерується за рахунок ерозії катоду, тоді густина іонного струму обмежується тиском ерозійних металічних парів. Цей тиск визначається внутрішніми самоузгодженими процесами у катодній плямі.

Методика дослідження і обговорення результатів

У якості об'єкту дослідження у роботі було обрано катод із вольфраму циліндричної форми. Один із торців цього електроду контактує із дуговим розрядом, а інший – холодний торець охолоджується теплоносієм. Вздовж циліндричної поверхні катоду рухається плазмоутворюючий газ – аргон. Процеси теплообміну у такому катоді є досить складними. Тут присутні і поверхневий і об'ємний механізми підведення теплоти. Поверхневий механізм реалізується за рахунок теплового потоку із прикатодної плазми через плями прив'язки, об'ємний – забезпечується через джоулеве тепловиділення при протіканні струму в тілі катоду. Окрім цього, у енергетичному обміні приймають участь відведення тепла від поверхні катоду шляхом випромінювання та конвекції, а також відведення теплоти через торець, що охолоджується водою.

Данні по дослідженню цієї роботи були отримані у Фізико-технічному інституті ім. А.Ф.Йоффе Російської Академії Наук [6]. При проведенні експерименту вільно горіла аргонова дуга постійного струму при атмосферному тиску у водоохолоджуваній камері із нержавіючої сталі із внутрішнім діаметром 180 та висотою 200 мм. Катодний стрижень був виготовлений із вольфрамового прутка діаметром 2 мм. Використовувався вольфрам марки ОЧВ 99,976% чистоти. Відрізок прутка із довжиною 14–15 мм. запресовувався у мідний водоохолоджувальний тримач на глибину 5 мм. Таким чином, довжина частини катодного стрижня, що виступала, складала 9–10 мм. Робочій кінець не заточувався і мав по краю заокруглення радіусом 0,25 мм.

Під час протікання експерименту вимірювалися струм і напруга горіння дуги, а також осьові розподілення температури поверхні катодного стрижня та прикатодної плазми. Напруга горіння дуги із фіксованим струмом на свіжому катоді встановлювалась протягом 10 хв. За даними [3], це може бути пов'язано із процесом рекристалізації у тілі катодного стрижня. Після звершення процесу стабілізації при незмінних інших умовах напруга залишається сталою протягом декількох десятків хвилин. Можна припустити, що зміна встановленої напруги пов'язана зі зміною форми поверхні катодного стрижня, яка викликається процесами масопереносу. Зміна форми катодної поверхні може змінювати умови теплообміну між тілом катоду та поверхнею, яка контактує із плазмою.

Через це може змінюватися і прикатодне падіння потенціалу.

Величина напруги, яка встановилася при деякому фіксованому значенню сили струму залежить від форми катодної плями ті її розташування відносно осі симетрії катоду. При фіксованому значенні сили струму напруга, що встановлювалася на дузі із контрагованою катодною прив'язкою, могла відрізнятись від одного досліду до іншого у межах 1–2 В.

Безпосередньо при проведенні таких дослідів форма поверхні катоду постійно жорстко контролювалася та, у випадку необхідності, проводилася заміна катодних стрижнів. Тому, ми вважаємо, що різниця у напругах пов'язується із відмінністю в локалізації катодної плями. Зміна положення прив'язки відносно осі симетрії катоду спричинювала зміну форми дугового каналу та структуру анодної прив'язки. Саме це призводило до зміни падіння напруги на плазмовому каналі та у прианодній області горіння дуги. У дугах із дифузійною прив'язкою цей ефект був вираженим слабше, оскільки не спостерігалось значне зміщення катодної плями із осі симетрії.

Для виявлення впливу форми катодної плями на напругу горіння дуги були проведені вимірювання встановленої напруги U при різних струмах – вольт–амперні характеристики дуги (ВАХ). Серед усіх вимірювань нами були відібрані такі результати, де дані отримувались в дугах із катодною прив'язкою, що була розташована поблизу осі симетрії електроду. Отримані результати наведені на рис. 1.

Кожна точка на цьому графіку є результатом усереднення результатів більш ніж трьох вимірів. Вертикальними лініями відмічено діапазон розкиду результатів окремих дослідів. Причиною розкиду, на нашу думку, є різниця у локалізації катодної плями та відмінність у довжинах міжелектродного проміжку для різних дослідів. Така відмінність щонайбільше могла досягати 0,25 мм.

На цьому рисунку видно, що напруга на дузі залежить від форми катодної прив'язки, виключаючи область струмів поблизу $I = 120$ А. Слід відмітити, що це є саме та область електричних струмів, у якій спостерігалися періодичні переходи між двома формами катодної плями.

Зліва від цієї області (при менших струмах) напруга дуги із контрагованою катодною прив'язкою нижча, ніж із дифузійною, а справа – вище. В дослідженому нами діапазоні струмів різниця не перевищувала 1 В.

ВАХ дуги у обох досліджуваних видах горіння дуги – із катодною плямою в дифузійній та контрагованій (вісесиметричній) формах – складаються із двох ділянок. Одна ділянка спадаюча, а друга – зростаюча. Характеристики перетинаються при струмах $I=120$ А. При менших та при

більших значеннях сили струму характеристики відрізняються у різні сторони. Ця різниця є досить невеликою (від декількох десятків часток вольту до одного вольту). При вимірюванні напруги в окремих дослідах спостерігався спонтанний перехід між різними формами катодної плями. Напруга при такому переході змінювалась в залежності від струму у більшу чи меншу сторону у хорошій відповідності з результатами усереднення, що приведені на рис. 1.

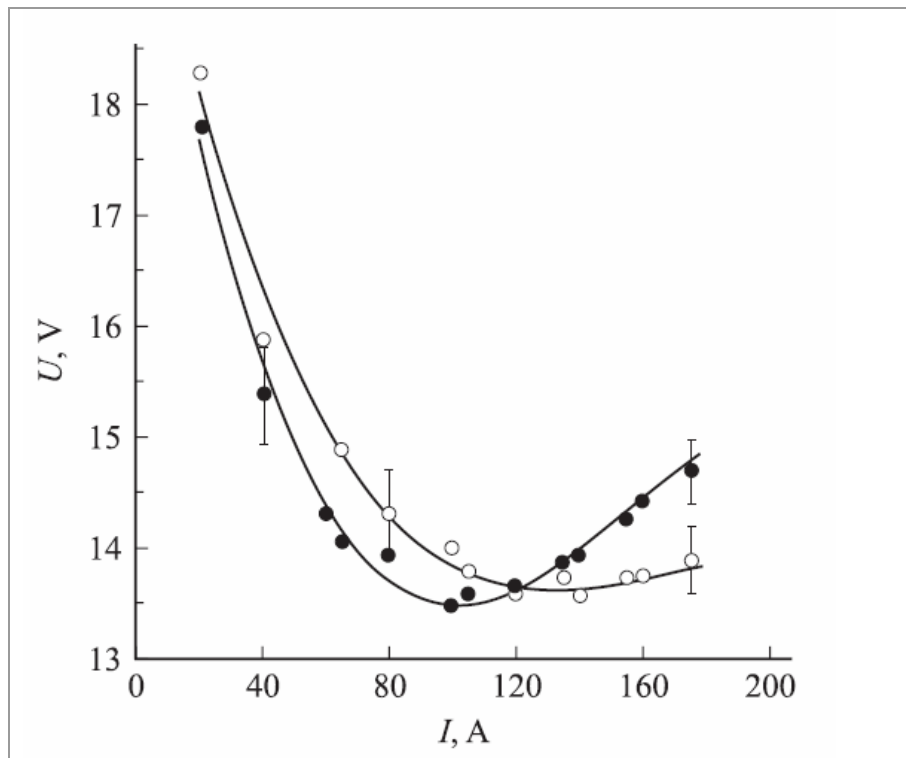


Рис. 1. Вольт–амперні характеристики дуги,

- – із катодною прив'язкою у дифузійній формі,
- – із катодною прив'язкою у контрагованій формі.

Характеристики було знято в таких умовах, що їх можна зіставити: і дифузійна, і контрагована плями були розташовані приблизно на осі симетрії, що забезпечувало візуально ідентичну форму дугового каналу та анодної прив'язки. Це дає причину вважати, що відмінність у напругах, які відповідають різним формам катодної плями, пов'язана із різницею у падінні напруги в прикатодній області в обох цих формах прив'язки.

Висновки

1. Напруги горіння дуги за умови утворення катодної плями із дифузійною або контраговою катодною прив'язкою очевидно відрізняються, хоча величина розходження є невеликою. ВАХ для

кожного випадку перетинаються між собою. Цю точку слід розглядати, як точку розгалуження.

2. Отримані результати дозволяють вважати, що існування двох видів горіння аргонової дуги атмосферного тиску із термоємнішим катодом з чистого вольфраму є результатом існування точок розгалуження.

Література

1. Основи металургійного виробництва металів і сплавів: Підручник / Д.Ф. Чернега, В.С. Богушевський, Ю.Я. Готвянський та ін.; За ред. Д.Ф. Чернеги, Ю.Я. Готвянського. – К.: Вища шк., 2006 – 503 с.:іл..
2. Паневін І.Г., Хвесюк В.І., Назаренко І.П. Теорія і розрахунок приелектродних процесів. Низькотемпературна плазма. Новосибірськ: Наука, 1992. Вип. 10. 197 с.
3. Зимін А.М., Назаренко І.П., Паневін І.Г., Хвесюк В.І. Математичне моделювання катодних процесів. Низькотемпературна плазма. Новосибірськ: Наука, 1993. Вип.11. 194 с.
4. <http://www.mai.ru/conf/aerospace/internetconf/modules.php?name=Forums&file=vi ewtopic&p=1001>
5. http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc_physics/1296/КАТОДНОЕ
6. Н.К. Митрофанов, С.М. Школьнік // Дві форми прив'язки дуги постійного струму в аргоні до термоємнішого катода// Журнал технічної фізики. 2006 №77. Вип. 6. С. 34 – 44.