

Харківський національний
автомобільно-дорожній університет
Кафедра
Технології металів та матеріалознавства



ЕЛЕКТРИЧНА ЗВАРЮВАЛЬНА ДУГА

Частина 1

Лекція з дисципліни «Теорія зварювальних процесів»

Автор: к.т.н, доцент
Петренко Андрей
Николаевич

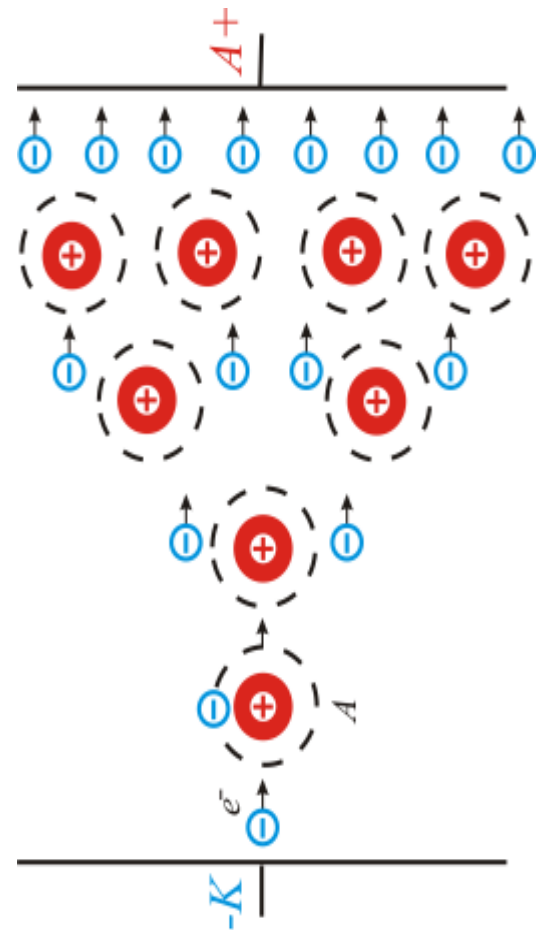
Lect_4_21MC_TSP_PAN_06_02_2016

План лекції

- Вступ
- Види розрядів у газах
- Характеристики дуги
- Будова електричної дуги
- Розподіл падіння напруги в дузі
- Загальна характеристика фізичних процесів у дузі
- Вольтамперна характеристика дуги

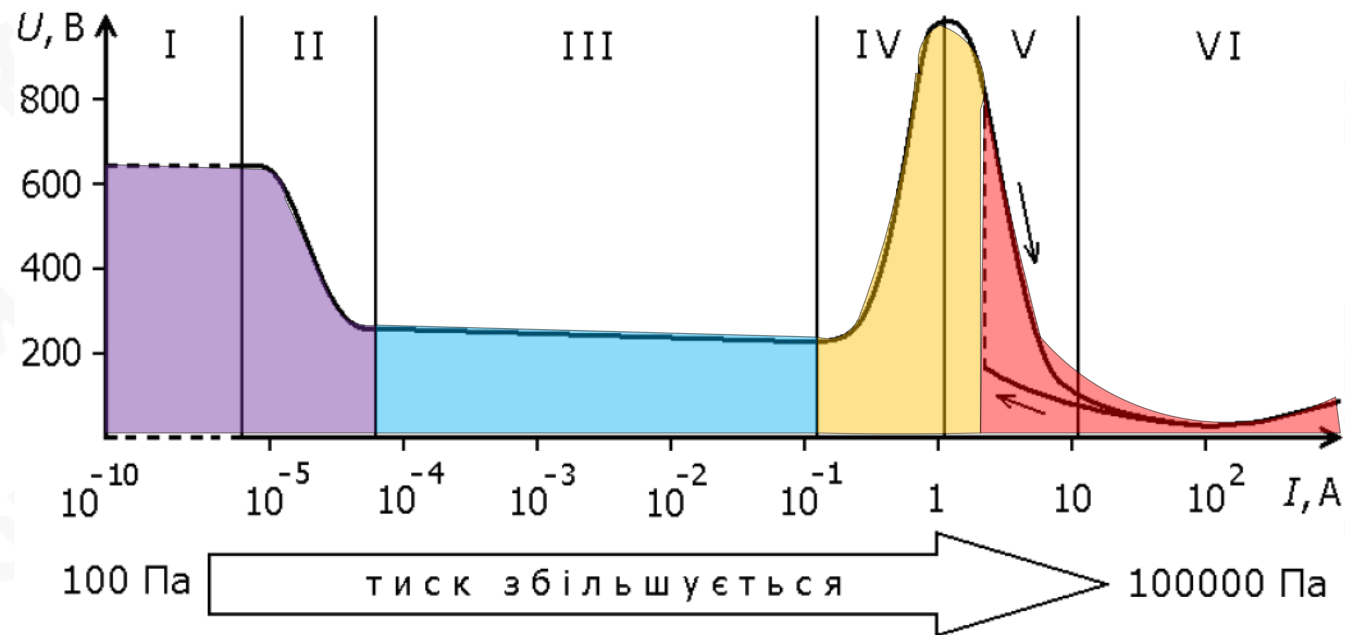
Вступ

- **Електрична дуга** – найбільш поширене джерело зварювального нагрівання для зварювання плавленням.
- Електрична дуга – один із видів електричного розряду в газах.
 - Розрядом називається всякий направлений рух заряджених часток в газах.
- Для того, щоб розряд відбувся потрібно створити різницю потенціалів між деякими електродами і забезпечити постачання електричної енергії до цих електродів.
- Електродами можуть служити будь які матеріали, але для того, щоб розряд був стійким (продовжувався тривалий час) електроди повинні бути провідниками. Позитивний електрод називають *анодом*, негативний – *катодом*.



Види розрядів у газах

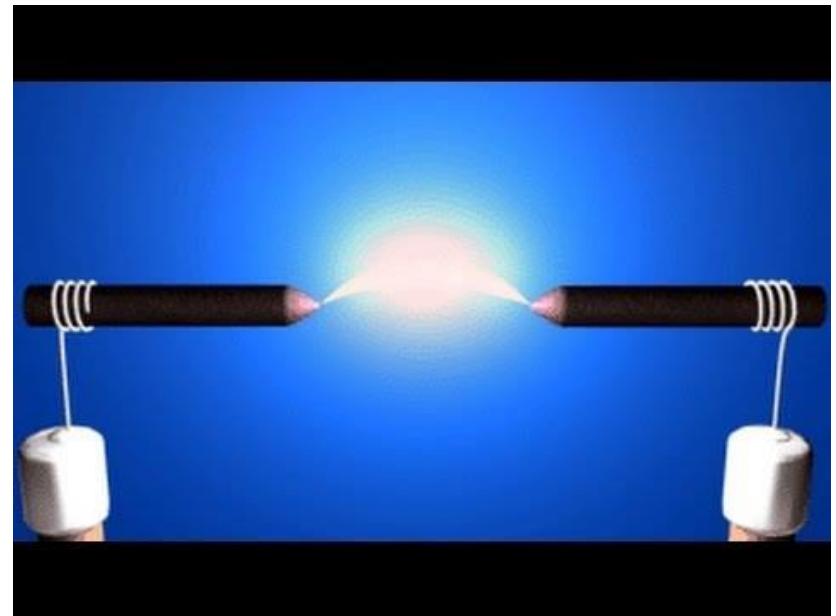
- Відомо **кілька типів електричних розрядів** у газах, які поділяються залежно від **величини струму, падіння напруги** та інших характеристик



- U – падіння напруги на електродах, I – струм через газовий простір.
- Види розрядів: I – темновий; II – перехідний до тліючого, III – нормальний тліючий; IV – аномальний тліючий; V – перехідний до дугового; VI – дуговий.

Види розрядів у газах

- **Тліючий розряд** у колбі лампи (у розрядженій атмосфері)
 - Застосовується переважно для освітлення – люмінісцентні лампи, “неонові” та ін.
- **Дуговий розряд** між двома графітовими електродами (при нормальному, атмосферному тиску)
 - Застосовується також для освітлення, зварювання та ін.



Характеристики дуги

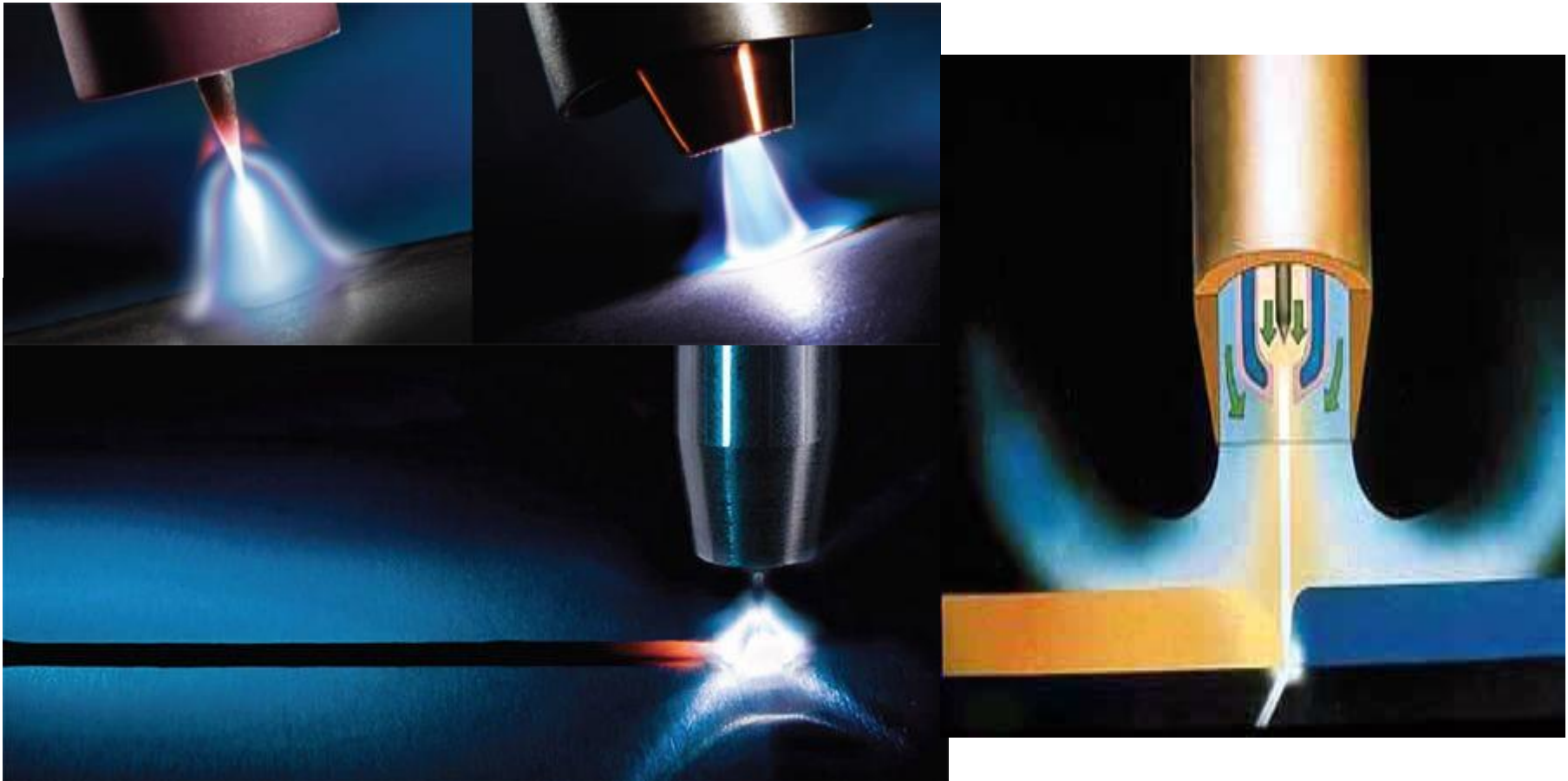
- Електрична дуга **називається дугою** через характерну вигнуту форму, яка виникає завдяки впливу конвекційних потоків нагрітого газу, в якому горить дуга, та від взаємодії заряджених часток дуги з магнітним полем самої дуги.
- Дуговий розряд **відрізняється** від інших видів електричних розрядів у газах наступними параметрами:
 - *висока температура $T \gg 4000 \dots 50\,000$ К;*
 - *значна сила струму $I \gg 50 \dots 10\,000$ А;*
 - *низька напруженість електричного поля $E \gg 10 \dots 60$ В/см.*

Характеристики дуги

- Залежність величини падіння напруги між електродами від величини струму в електричному колі $U = f(I)$, як, наприклад, на рисунку вище, називається **вольт-амперною характеристикою розряду** (скорочено, ВАХ).
 - Якщо така характеристика побудована в умовах стабільного існування розряду і при постійній відстані між електродами, вона називається **статична вольт-амперна характеристика**.
- Стан електричної зварювальної дуги прийнято визначати такими параметрами:
 - величина струму I , [А];
 - напруга на дузі U , [В];
 - довжина дуги L , [м];
 - густина струму i , [А/м²];
 - статична вольт-амперна характеристика дуги (ВАХ):
 $U = f(I)$ при $L = L \text{ const}$.
 - Останній показник є найважливішим з параметрів дуги. Залежно від обставин існування дугового розряду ВАХ може бути спадаючою, пологоспадаючою, жорсткою та зростаючою.

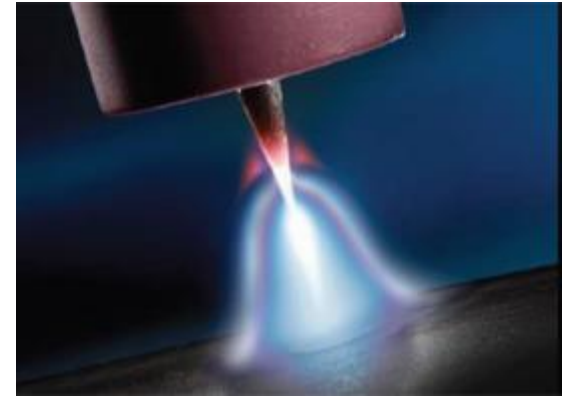
Характеристики дуги

- Вигляд та схематичне зображення зварювальної дуги, що горить у захисному газі



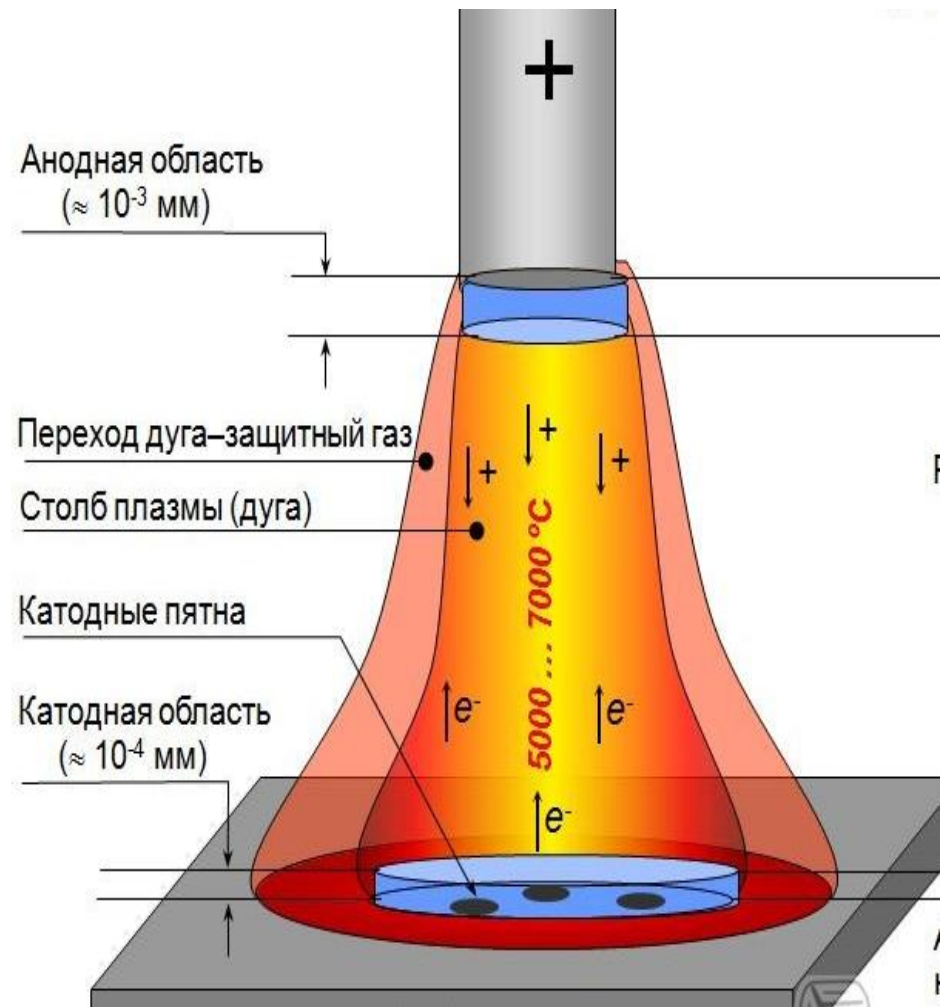
Характеристики дуги

- Розрізняють дугу **вільну**, (таку, що вільно розширюється) і **стиснену**.
- **Вільною**, або такою, що вільно розширюється, називають дугу, поперечний розмір, якої не обмежений у жодному своєму перетині, в тому числі й діаметром електродів. Вільна дуга є в значній мірі саморегульована система, вона являє собою нелінійний провідник і не відповідає Закону Ома.
 - Більшість зварювальних дуг належать до вільних якщо зварювальний струм порівняно невисокий (ручне зварювання, напівавтомтичне)
- **Стисненою** називають дугу, поперечний розмір, якої обмежений хоча б в одному зі своїх перетинів. Стиснена дуга за своїми електричними властивостями наближається до звичайних провідників і (у певних межах) підкоряється Закону Ома.
 - Стиснена дуга зустрічається у зварювальних плазмотронах, при автоматичному зварюванні на високих щільностях струму.



Будова електричної дуги

- Відповідно до розподілу напруги розрізняють і три області в дуговому розряді:
- **катодну,**
- **анодну**
- **стовп дуги.**
 - При цьому з огляду на те що катодна і анодна зони мають дуже малі розміри ($10^{-3} \dots 10^{-4}$ мм) іноді вольтамперну характеристику зварювальних дуг подають як функцію розміру стовпа розряду.



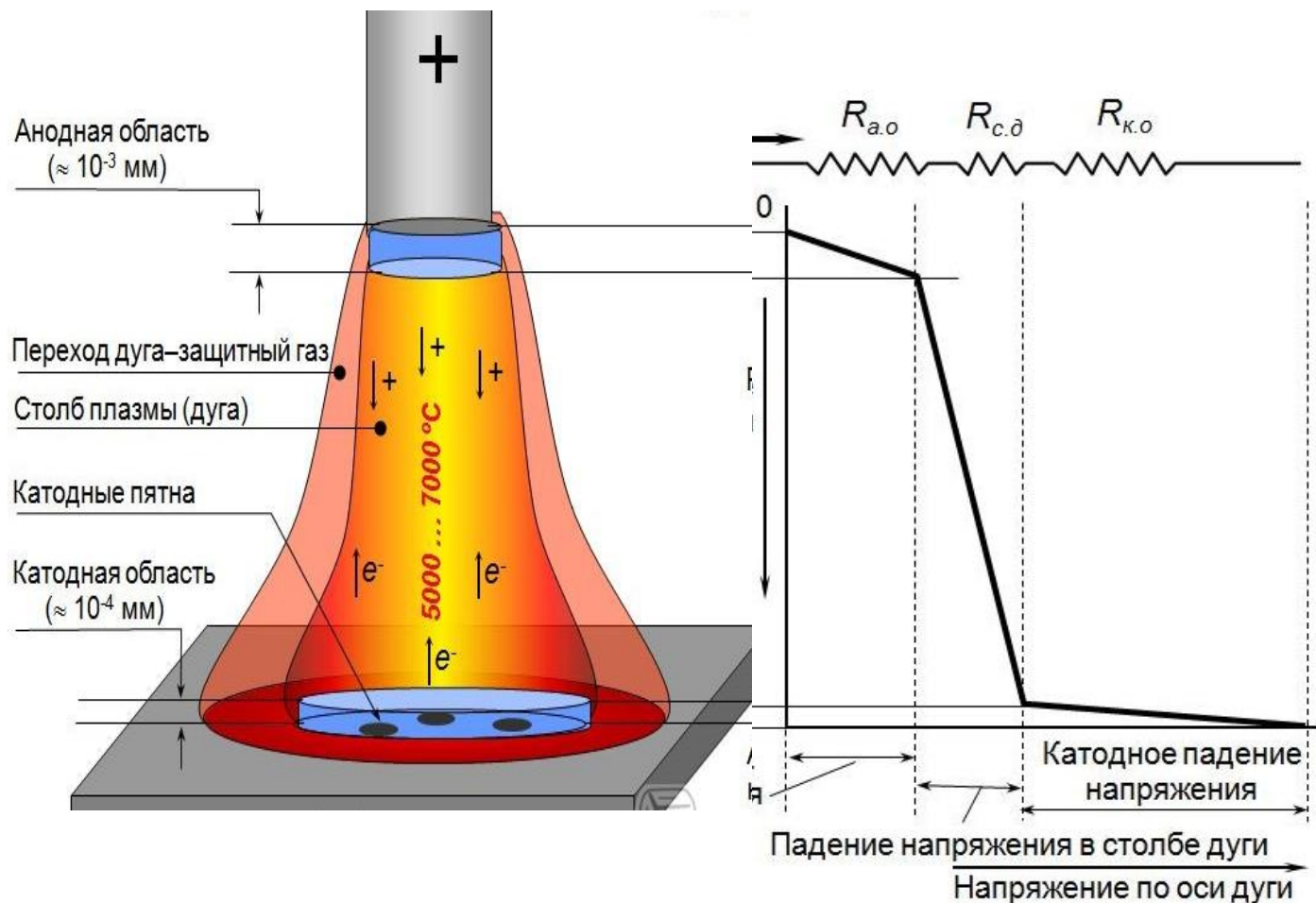
Будова електричної дуги

- **Катодною** областю називають поверхню катода та прилягаючий до неї простір, довжина якого відповідає пробігу електрона від поверхні катода до першого зіткнення з нейтральним атомом стовпа дуги.
- **Анодною** областю називають поверхню анода та прилягаючий до неї простір, довжина якого відповідає пробігу електрона від останнього зіткнення з атомом стовпа дуги до поверхні анода.
- **Стовпом** дуги називають простір між приелектродними областями, заповнений електрично нейтральним іонізованим газом.
 - Стовп дуги займає практично всю довжину дуги, за винятком дуже малих за розмірами приелектродних областей. Приелектродні області вирізняються насамперед значними величинами напруженості електричного поля: $E = dU/dI$, яка може сягати мільйонів вольт на сантиметр.



Розподіл падіння напруги в дузі

Відповідно до цього поділу розрізняють: катодне падіння напруги (U_K); анодне падіння напруги (U_A); напруги падіння напруги стовпа дуги (U_{CT}).



Розподіл падіння напруги в дузі

З огляду на малу довжину катодної та анодної областей ($10^{-5} \dots 10^{-4}$ см), падіння напруги стовпа дуги часто подають як функцію повної довжини дуги і напруженості електричного поля в стовпі дуги

$$U_{СТ} = E_{СТ} \cdot L_{Д}$$

Загальне падіння напруги на дузі прийнято подавати як суму трьох складових по областям дуги:

$$U_{Д} = U_{К} + U_{А} + U_{СТ}$$

Наприклад, для ручного дугового зварювання сталевим покритим електродом (дуга горить у повітрі, насиченому парами заліза) характерні такі значення:

- катодне падіння напруги: 14 В;
- анодне падіння напруги: 2,5 В;
- напруженість електричного поля в стовпі дуги: 25 В/см.

Розподіл падіння напруги в дузі

При цьому напруженість електричного поля в катодній області буде:

$$E_K = U_K / S_K = 14 \text{ В} / 10^{-5} \text{ см} = 1,4 \times 10^6 \text{ В/см};$$

а напруженість електричного поля в анодній області буде дорівнювати:

$$E_A = U_A / S_a = 2,5 \text{ В} / 10^{-4} \text{ см} = 2,5 \times 10^4 \text{ В/см}.$$

Такий розподіл напруженості характерний наприклад для ручного дугового зварювання:

- катодне падіння напруги: 14 В;
- анодне падіння напруги: 2,5 В;
- падіння напруги у стовпі дуги: 10 В.

Надасть можливість оцінити приблизний розподіл потужності, що при значенні струму у 100А буде приблизно такий:

- Катодна зона: 1400 Вт.
- Анодна зона : 300 Вт.
- Стовп дуги: 1000 Вт.

Загальна характеристика фізичних процесів у дузі

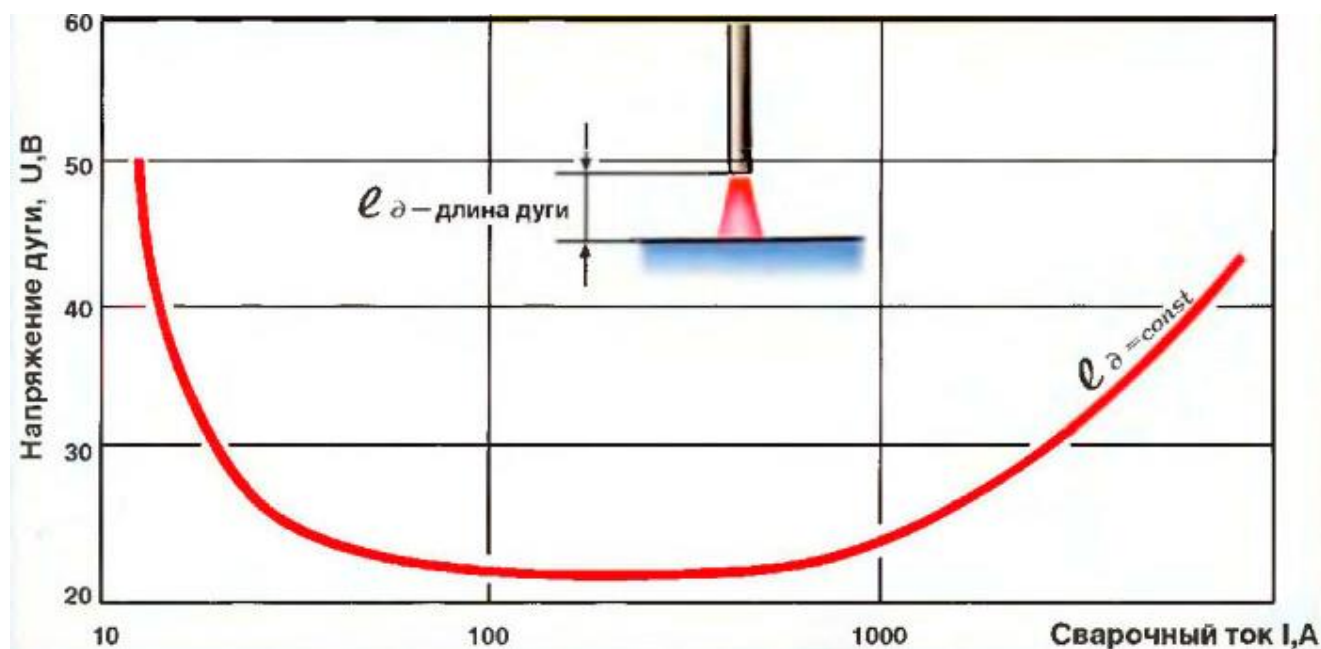
- Різні, надто відмінні між собою, фізичні процеси протікають у різних областях дуги, що й спричинило такий поділ її на окремі області. В загальному й спрощеному вигляді їх можна описати таким чином:

Вільні електрони, які є в металах при високій температурі катода, покидають його під дією електричного поля. Електричним полем катодної області електрони розганяються і, стикаючись з атомами стовпа дуги, іонізують їх. При високій температурі атоми стовпа можуть іонізуватися й іншими шляхами: зіткненням, фотоіонізацією.

Електрони, які утворюються при іонізації, будучи зарядженими негативно, пересуваються у стовпі дуги під дією електричного поля (це явище називається спеціальним терміном - **дрейф**) в напрямку від катода (-) до анода (+). Наблизившись до анода, електрони, під дією місцевого електричного поля анодної області, попадають в нього. Іони, маючи позитивний заряд, рухаються (**дрейфують**) в протилежну сторону, бомбардуючи катод.

Вольтамперна характеристика дуги

Оскільки дуга має нелінійну проводимість то залежність струму і напругення (вольтамперна характеристика) має вигляд відмінний від прямої лінії і має декілька зон.



Відповідно до різних кутів нахилу розрізняють три ділянки вольтамперної характеристики:

- I – круто-спадаюча;
- II – полого-спадаюча;
- III – зростаюча.

Вольтамперна характеристика дуги

- **I)** при малих струмах (« до 100 А) із збільшенням струму інтенсивно зростає число заряджених часток, головним чином, через нагрівання й збільшення емісії електронів із катода, а значить і відповідного зростання об'ємної іонізації у стовпі дуги. Опір стовпа дуги при цьому зменшується і падає потрібна для підтримки розряду напруга. Діаметр стовпа дуги із збільшенням струму – зростає.
 - Характеристика дуги (ВАХ) в цьому випадку – спадаюча.
- **II)** при подальшому зростанні струму і обмеженому перетині електродів діаметр стовпа дуги стає сумірний з діаметром електродів і стовп уже не може цілком вільно розширятися. Стовп дуги є дещо стиснутим і об'єм газу, який бере участь у переносі зарядів, зменшується. Це призводить до меншої швидкості росту числа заряджених часток. Напруга дуги стає мало залежною від струму.
 - Характеристика дуги цьому випадку – пологоа.

Вольтамперна характеристика дуги

- **III**) подальше зростання струму призводить до вичерпання термостійкої здатності катода. Кількість заряджених часток не збільшується. Діаметр дуги обмежується діаметром електродів і більше не може збільшуватись. Опір дуги стає позитивним (+R) і практично постійним. З'являється високоіонізована **стиснена плазма**, яка за властивостями близька до металевих провідників. Третю ділянку іноді називають узагальнено омічною частиною ВАХ дуги, маючи на увазі, що вона, як і металеві провідники підкоряється закону Ома.
 - Вольт-амперна характеристика дуги в цьому випадку – зростаюча.
- Більш докладно фізичні процеси в областях дуги будуть розглянуті в наступних розділах.

Питання для самоперевірки

- Як називають позитивний електрод?
- Як називають негативний електрод?
- Чим відрізняється дуговий розряд від інших видів електричних розрядів?
- Якими параметрами визначають стан електричної дуги?
- Яку дугу називають вільною?
- Яку дугу називають стисненою?
- Який з видів дугового розряду підкоряється закону Ома?
- Який з видів дугового розряду не підкоряється закону Ома?
- Довжина якої з областей дуги є найбільша?
- Довжина якої з областей дуги є найменша?
- Що спричиняє появу об'ємного позитивного заряду в катодній області?

Рекомендована література

- **В.М. Коперсак Теорія процесів зварювання-1. Джерела зварювального нагрівання та теплові процеси при зварюванні. К., 2011. – 384 с.**
- Теория сварочных процессов. Под. ред. В.В.Фролова.- М.: Высш. шк., 1988.- 560 с.
- Багрянский К.В., Добротина З.А., Хренов К.К. Теория сварочных процессов.- 2-е изд. переработ.- Киев: Вища. шк., 1976.- 424 с.



Кафедра технології металлов и матеріалознавства

Петренко Андрей Николаевич

E-mail: petrenkoandrew@mail.ru

**г. Харьков, ул. Петровского, 25, ХНАДУ, КАФЕДРА ТМ и М
Тел. 097-174-19-15**