

Харківський національний  
автомобільно-дорожній університет  
Кафедра  
Технології металів та матеріалознавства



# ДЖЕРЕЛА ЗВАРЮВАЛЬНОГО НАГРІВАННЯ

Лекція з дисципліни «Теорія зварювальних процесів»

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

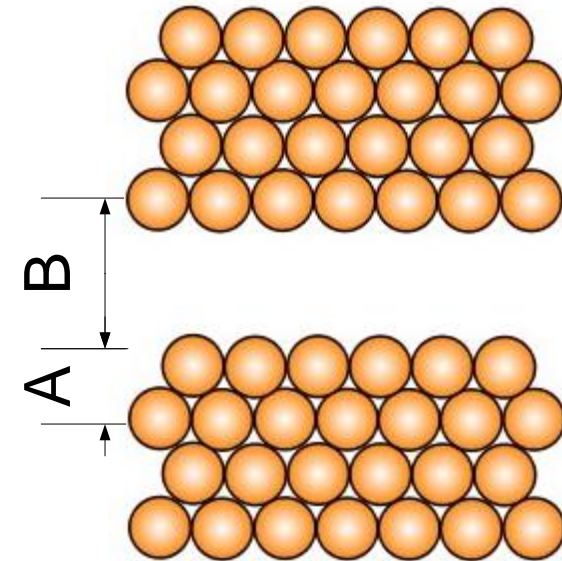
Lect\_3\_21MC\_TSP\_PAN\_06\_02\_2016

# План лекції

- Вступ
- Загальні характеристики джерел зварювального нагрівання
- Ступінь нагрівання та мінімальні температури
- Баланс енергій зварювального процесу
- Баланс енергії зварювальної дуги
- Ефективність зварювальних джерел нагрівання
- Заключення

# Вступ

- Для того, щоб зварне з'єднання відбулося, частки (іони, атоми, молекули) з'єднаних поверхонь повинні бути зближені на відстань одного порядку з параметром кристалічної ґратки і, крім того, активовані: для можливості взаємодії вони повинні подолати сили поверхневого натягу. Все це потребує значних енергетичних витрат. Причому, вони повинні бути здійснені саме в місці з'єднання.
- **Найпростіший спосіб** збільшення енергії поверхневих часток – **це нагрівання**. Лише в дуже обмежених випадках для формування зварного з'єднання вистачає тиснення (при холодному зварюванні), але й при цьому в місці стискання, при досягненні матеріалом стану пластичної течії, виділяється досить значна кількість теплоти. Таким чином, нагрівання зварюваних поверхонь практично завжди є **необхідною (або супутньою) умовою виконання зварного з'єднання**.

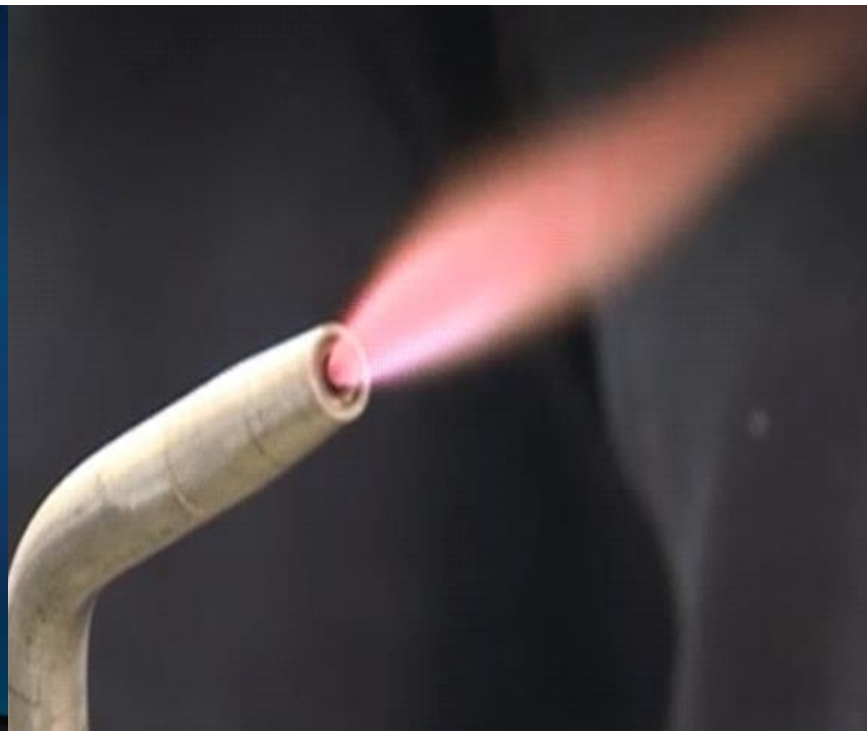
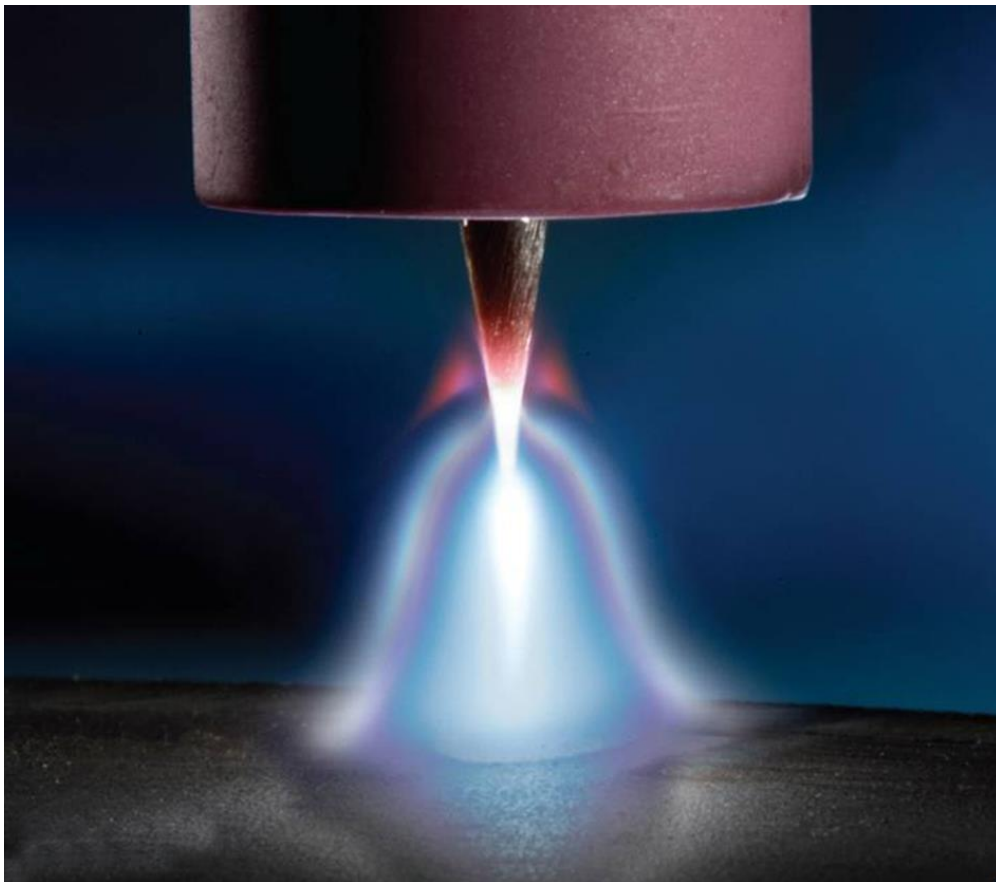


# Загальні характеристики джерел зварювального нагрівання

- Різні джерела нагрівання використовуються при виконанні різних способів та видів зварювання. Це можуть бути:
  1. газове полум'я;
  2. світлові, лазерні та електронні промені;
  3. контактний електричний опір;
  4. розплавлений метал, чи розплавлений шлак;
  5. електрична дуга, та її різновиди - плазма, мікроплазма;
  6. теплоти хімічних реакцій - термітних чи вибухових;
  7. теплота, що утворюється за рахунок тертя (зварювання тертям, ультразвукове);

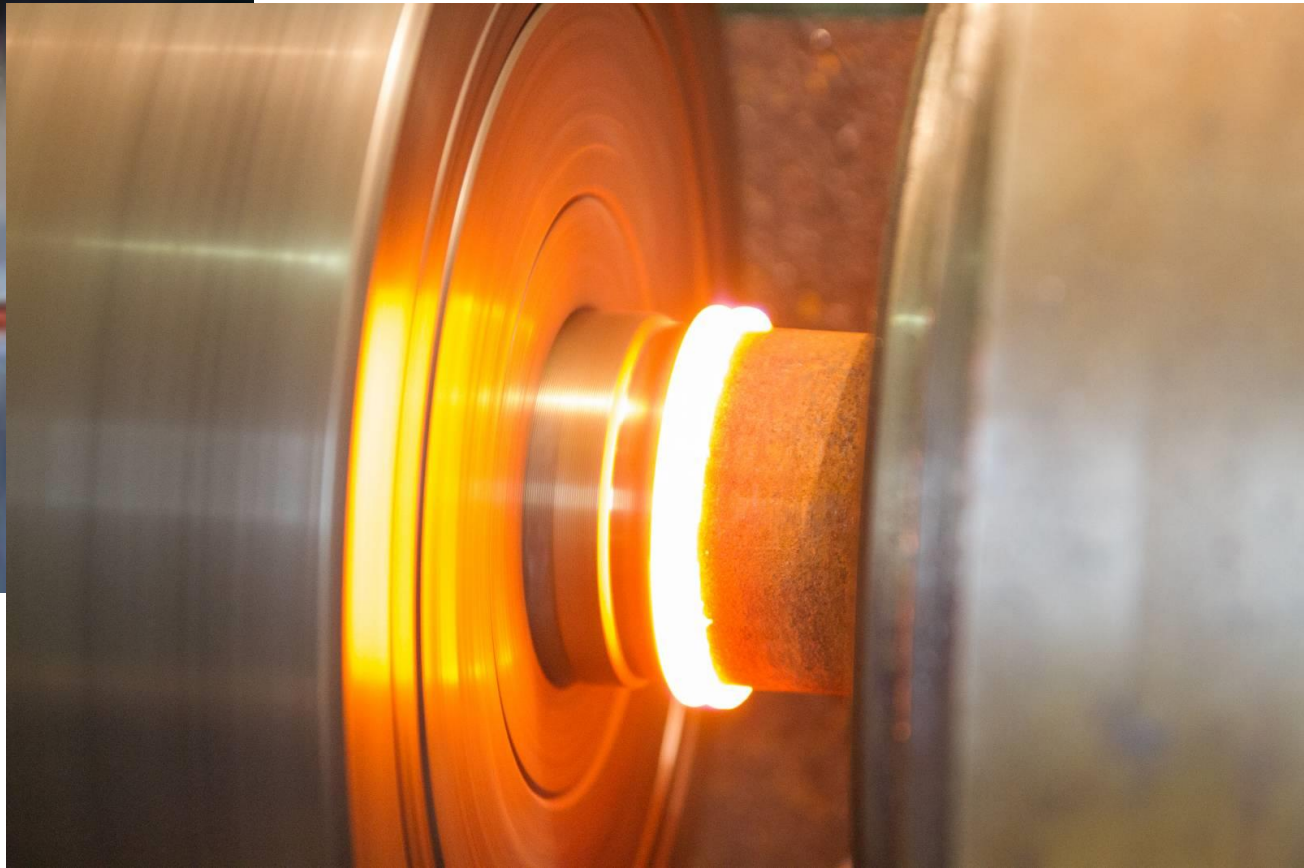
# Загальні характеристики джерел зварювального нагрівання

- Зварювальна дуга (вольфрамовий електрод в інертному газі)
- Полум'я газового пальника



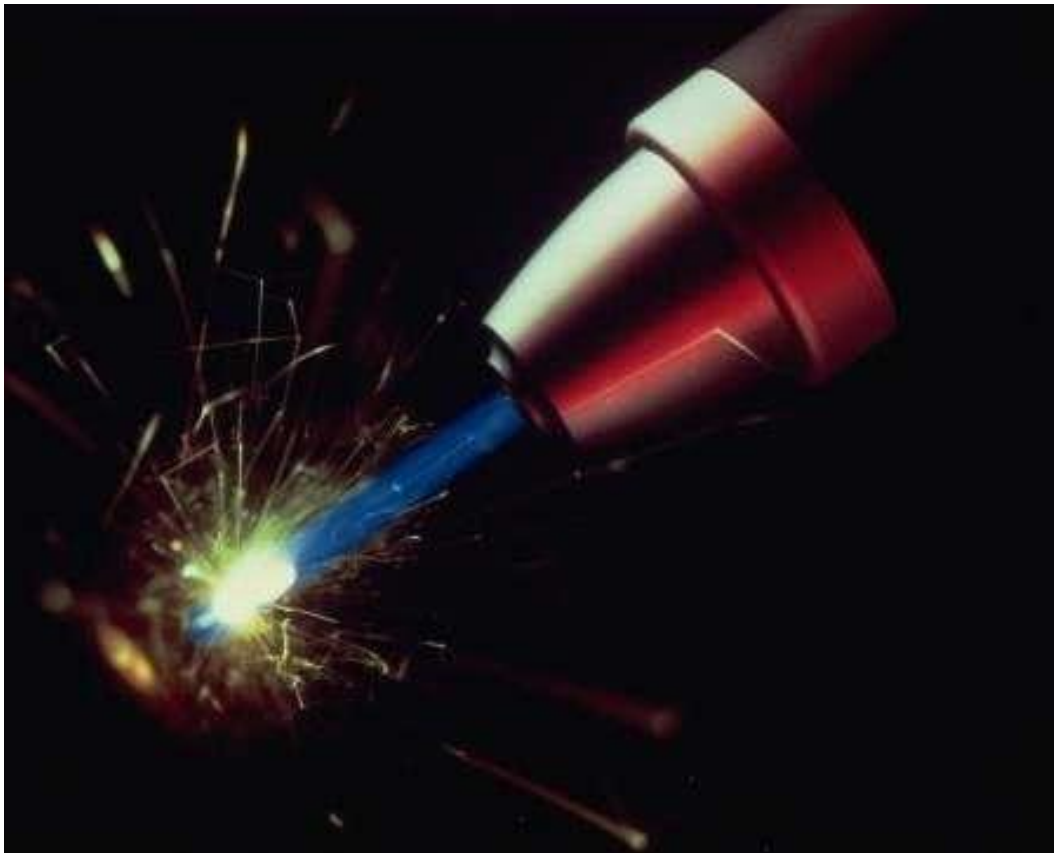
# Загальні характеристики джерел зварювального нагрівання

- Розігрвання металу під час точкового контактного зварювання та зварювання тертям.



# Загальні характеристики джерел зварювального нагрівання

- Нагрівання зварювальним лазером та плазмовим струменем



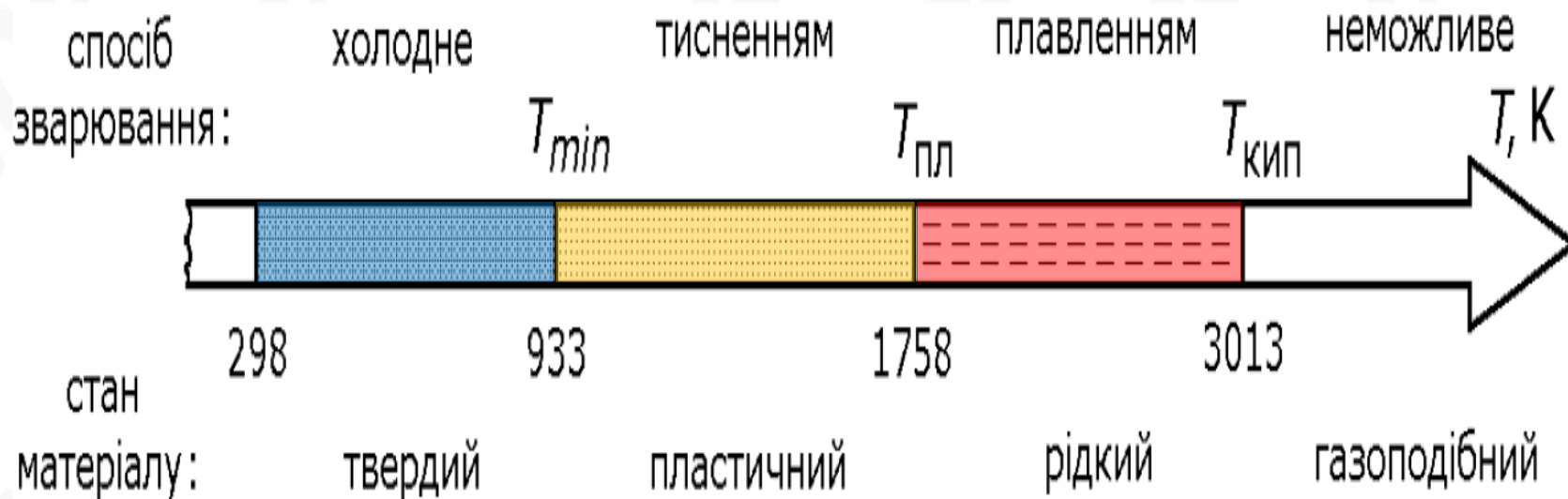
# Ступінь нагрівання та мінімальні температури

- В усіх випадках, не дивлячись на величезні відмінності і в фізичних принципах отримання енергії, і в способах доставки її в зону зварювання, справедливі деякі положення, які в загальному вигляді описують взаємодію джерела нагрівання і зварюваного виробу.
- Зазвичай зварювання виконується з місцевим нагріванням виробу до деякої температури ( $T_M$ ), яка необхідна для з'єднання.
  1. при зварюванні **плавленням** –  $T_{ПЛ} < T_M < T_{КИП}$ ,
  2. при зварюванні **тиском** -  $T_{МИН} < T_M < T_{ПЛ}$



# Ступінь нагрівання та мінімальні температури

- На рисунку позначені ці температури і представлені температурні інтервали для низьковуглецевої сталі:
  1. при зварюванні плавленням –  $T_{пл} < T_M < T_{кип}$ ,
  2. при зварюванні тиском –  $T_{мин} < T_M < T_{пл}$

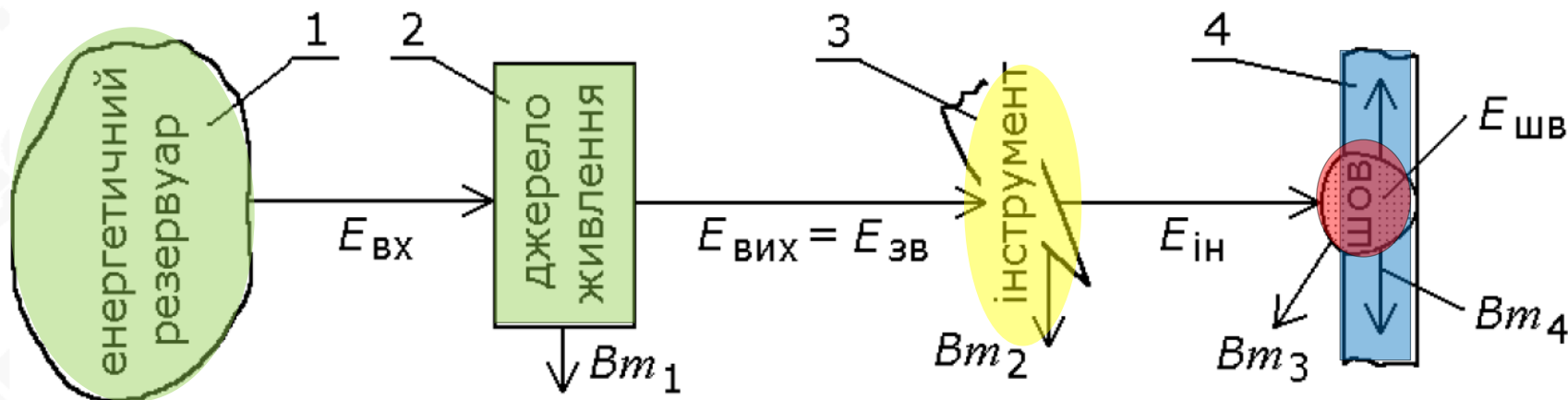


# Баланс енергій зварювального процесу

- Для зварювального нагрівання використовують перетворення різних видів енергії (електричну, механічну, хімічну та їх комбінації) в теплову, яка власне й використовується для нагрівання з'єднуваних поверхонь.
- Зрозуміло, що коли маємо справу з переходом енергії від одного об'єкта до іншого, найбільш загальні закони функціонування таких процесів диктує термодинаміка.
  - Відповідно до законів термодинаміки, теплота при цьому переходить від джерела нагрівання, де температура вища, до зварюваного матеріалу, де температура нижча, частково розсіюючись в навколишнє середовище

# Баланс енергій зварювального процесу

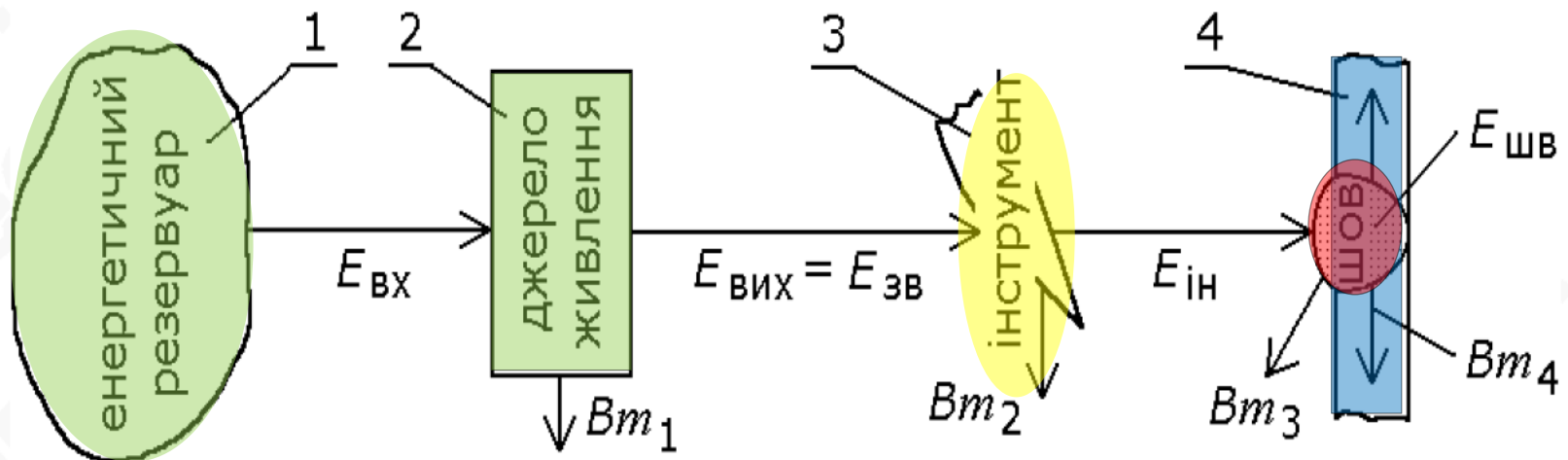
- **Джерело енергії** (назвемо його умовно енергетичний резервуар) постачає енергію ( **$E_{вх}$** ) джерелу живлення, яке перетворює її у вид, зручний для використання даним способом зварювання.



- 1 - електрична мережа; енергія хімічна, енергія механічна і т. п;
- 2 - трансформатор, випрямляч, газовий пальник, електронна гармата, лазер і т. п;
- 3 - електрична дуга, газове полум'я; промінь світловий, електронний і т. п;
- 4 - зварювані деталі.

# Баланс енергій зварювального процесу

- Джерело живлення передає енергію ( $E_{вх}$ ) інструменту, який безпосередньо діє на зварювані деталі. Енергію, яку отримує від джерела живлення зварювальний інструмент прийнято вважати саме тією, яка витрачається на зварювання ( $E_{зв}$ ).

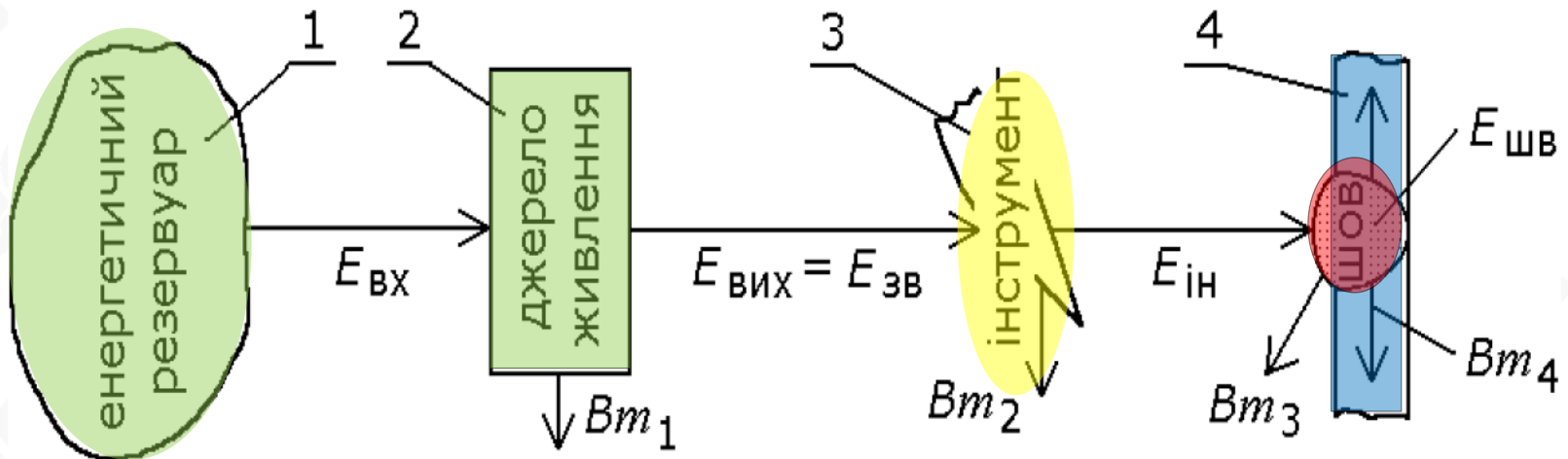


- Таким чином, будуть справедливі наступні вирази:

$$E_{вих} = E_{зв} \quad E_{вих} = E_{зв} = E_{вх} - Bm_2$$

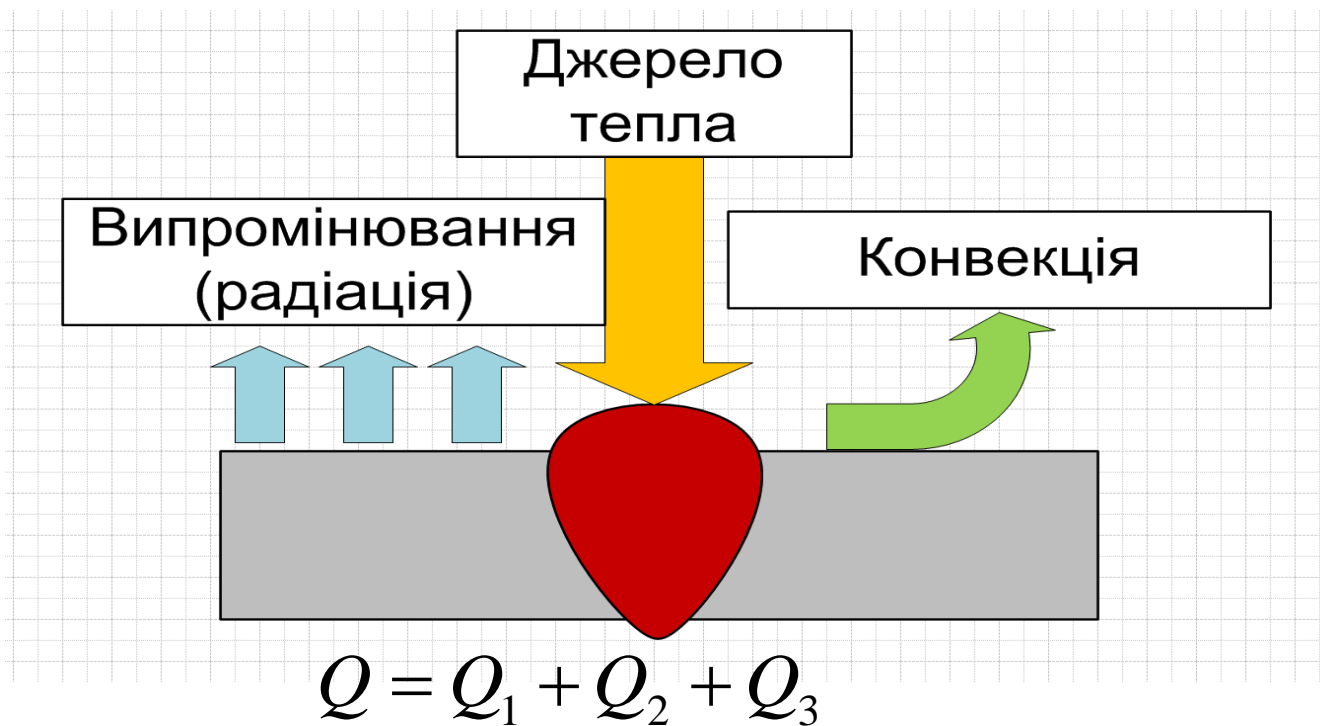
# Баланс енергій зварювального процесу

- На шляху від джерела живлення через зварювальний інструмент до деталей частина енергії теж безповоротно розсіюється в навколишнє середовище ( $Bm_2$ ). Тому зварюваних деталей досягає енергія інструменту ( $E_{ін}$ ), яка нагріває їх, розплавляє і, фактично, виконує зварне з'єднання:



- Безпосередньо від зварного шва частина енергії теж безповоротно втрачається: на випаровування перегрітого та розбризування розплавленого металу ( $Bm_3$ ), на теплопровідність всередину зварюваного металу, втрати тепла на конвекцію, випромінювання і т.ін. ( $Bm_4$ ).

# Баланс енергій зварювального процесу



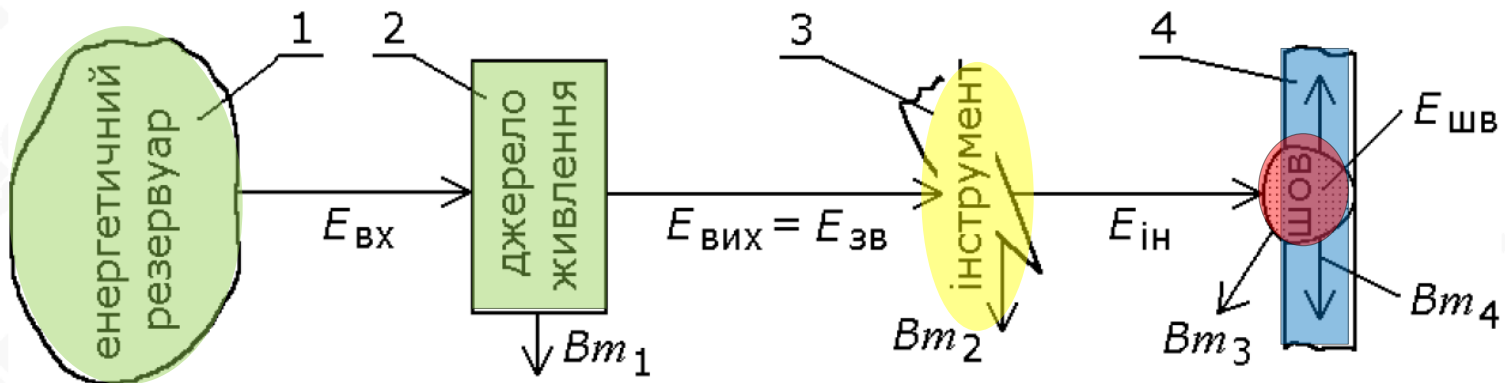
$Q_1$  – тепло, що витрачається на нагрівання та плавлення металу;

$Q_2$  – тепло, що втрачається за рахунок конвекції з поверхні тіла;

$Q_3$  – тепло, що втрачається на теплове випромінювання

# Баланс енергій зварювального процесу

- На виконання **власне зварного шва** (проплавлення зварюваного металу) витрачається енергія ( $E_{шв}$ ):



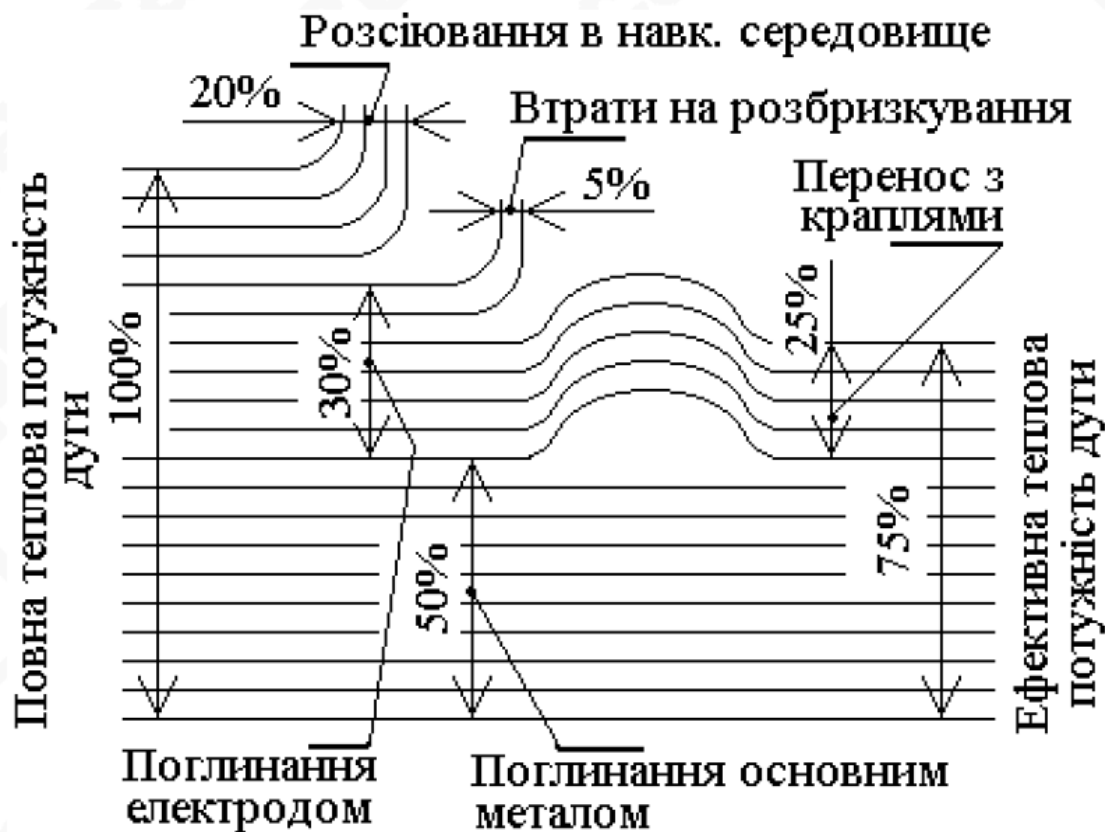
$$E_{шв} = E_{ін} - Bm_3 - Bm_4$$

Таким чином, на виконання безпосередньо зварного шва витрачається значно менше енергії, ніж її споживається джерелом живлення від енергетичного резервуара.

# Баланс енергії зварювальної дуги

Тепловий баланс зварювальної дуги при ручному дуговому зварюванні

$= I_{зР} 150...250 \text{ А}, U_{л} = 20...25 \text{ В}$  (досліди Рикаліна М.М.)





# Ефективність зварювальних джерел нагрівання

- Якщо виконується якась робота, тоді співвідношення енергії, витраченої на корисну роботу, до спожитої енергії характеризують **коефіцієнтом корисної дії** (ККД) системи, яка виконує цю роботу.
- Залежно від того, що вважають корисною роботою, а що – спожитою енергією, в зварювальній науці і техніці прийнято розрізняти такі коефіцієнти корисної дії:
  - 1. Ефективний коефіцієнт корисної дії** джерела зварювального нагрівання
  - 2. Термічний коефіцієнт корисної дії** джерела зварювального нагрівання
  - 3. Термодинамічний коефіцієнт корисної дії** процесу зварювання

# Ефективність зварювальних джерел нагрівання

*Ефективний коефіцієнт корисної дії джерела зварювального нагрівання.*

Це є відношення енергії, витраченої джерелом зварювального нагрівання на нагрівання і плавлення зварюваного металу ( $E_{ін}$ ) до енергії, спожитої джерелом зварювального нагрівання від джерела живлення ( $E_{зв}$ ):

$$\eta = \frac{E_{ін}}{E_{зв}}$$

Цей показник характеризує ефективність використання джерела зварювального нагрівання (інструменту) для процесу зварювання і для розповсюджених способів зварювання, як правило, не перевищує значень 80...90 %.

# Ефективність зварювальних джерел нагрівання

**Термічний коефіцієнт корисної дії джерела зварювального нагрівання.**

Це є відношення енергії, витраченої лише на проплавлення зварюваного металу ( $E_{шв}$ ) до енергії, яку витрачає джерело зварювального нагрівання (інструмент) ( $E_{ін}$ ):

$$\eta_m = \frac{E_{шв}}{E_{ін}}$$

Цей показник характеризує ефективність проплавлення зварюваного металу джерелом зварювального нагрівання (інструментом) і для розповсюджених способів зварювання, як правило, не перевищує значень 40...50 %.

# Ефективність зварювальних джерел нагрівання

Термодинамічний коефіцієнт корисної дії процесу зварювання. Це є відношення енергії, яка витрачається тільки на проплавлення зварюваного металу ( $E_{шв}$ ) до енергії, яка споживається джерелом зварювального нагрівання ( $E_{зв}$ ):

$$\eta_{тд} = \frac{E_{шв}}{E_{зв}}$$

Цей показник характеризує ефективність всього процесу виконання зварного з'єднання і для розповсюджених способів зварювання, як правило, не перевищує значень 20...30 %. Неважко бачити, що між цими коефіцієнтами справедливе співвідношення.

$$\eta_{тд} = \eta \cdot \eta_{т}$$

# Заклучення

- У зварювальній техніці особливо у теплових розрахунках важливо знати ефективний та термічний ККД процесу зварювання. Причому останній залежить від багатьох факторів (розміри деталі, умови зварювання та ін.). Це ускладнює задачу знаходження термічного коефіцієнту.
- Потрібно особливо підкреслити, що саме термодинамічний ККД характеризує долю енергії, витраченої на виконання тільки зварного шва, відносно енергії, виділеної джерелом живлення на зварювальний процес в цілому. Саме цей коефіцієнт показує співвідношення енергії, спожитої лише для корисної роботи (зварний шов виконано) та енергії, витраченої джерелом живлення (що покаже лічильник, грубо кажучи).
- Насправді енергетичні витрати процесу зварювання будуть ще більшими, бо не враховано ККД самого джерела живлення.

# Питання для самоперевірки

- Які джерела енергії ви знаєте?
- Чому важливо нагрівання металу в процесі зварювання?
- Назвіть приклади способів зварювання що можуть використовувати практично виключно механічну енергію?
- Чому неможливо зварювання в холодному стані?
- Поясніть схему балансу енергії зварювального процесу в цілому?
- На яких етапах втрачається енергія при зварюванні?
- Поясніть поняття зварювальний інструмент?
- Що таке конвекція?
- Що таке радіація?
- Поясніть суть розподілу енергії на прикладі зварювальної дуги?

# 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](mailto:petrenkoandrew@mail.ru)**

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