**УДК 612.315**

# DETERMINATION OF THE TEMPERATURE IN THE BODY OF THE PARTS DURING THE RESTORATION OF THE RELIEF SURFACES OF THE PARTS BY ELECTRIC CONTACT WELDING WITH SIMULTANEOUS DEPOSITION

# ВИЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРИ В ТІЛІ ДЕТАЛІ ПРИ ВІДНОВЛЕННІ РЕЛЬЄФНИХ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ ЕЛЕКТРОКОНТАКТНИМ ЗВАРЮВАННЯМ З ОДНОЧАСНИМ ОСАДЖУВАННЯМ

**Тіхонов Олександр, Крамська Лариса**

*Державний біотехнологічний університет,*
*вул. Алчевських, 44, м. Харків, 61002*

Враховуючи аналогію процесів тепловиділення при контактному шовному, точковому та рельєфному зварюванні, за основу розрахунку зварювального та підігрівального струму при електроконтактному зварюванні з одночасною формотворчою осадкою прийнята методика розрахунку величини зварювального струму на основі рівняння теплового балансу, запропонована О.С. Гельманом для контактного точкового зварювання і що отримала подальший розвиток у ряді робіт [1-4].

У разі відновлення рельєфних поверхонь деталей запропонованим способом розрахунок зварювального та підігрівуючого струму доцільно проводити на ділянках «присадний матеріал-осаджувальний електрод», «рельєф деталі-деталь» і «деталь-підвідний електрод».

Теплота $Q_{EE}^{3B}$, що виділяється при протіканні зварювального струму через ділянку між осаджуючим і підводним електродом у процесі відновлення деталі електроконтактним зварюванням з одночасною формоутворюючою осадкою витрачається на: плавлення матеріалу в обсязі зварювального ядра між присадним матеріалом і вершиною кулачка, що відновлюється $Q_1$ (рис. 1); нагрівання тіла кулачка, без урахування обсягу зварювального ядра $Q_2$; нагрівання тіла муфти $Q_3$ нижче кулачка до контакту з електродом, що підводиться; втрати тепла за рахунок теплопровідності в навколишній метал муфти $Q_4$, осаджуючий $Q_5$ і підводячий $Q_6$ електроди, а також втрати тепла в навколишню атмосферу $Q_7$.

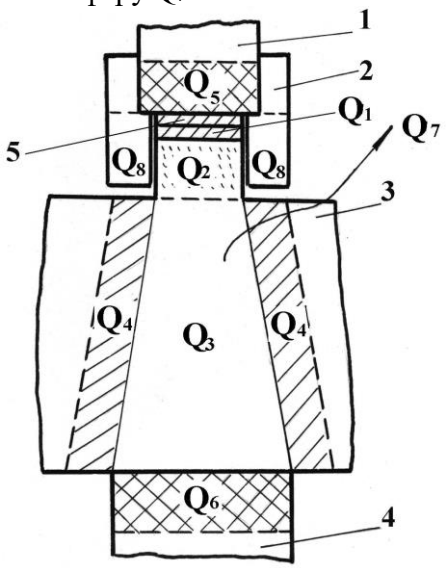


Рис. 1. Зони розподілу теплоти по ділянках між електродами в момент проходження зварювального імпульсу: 1 - осаджуючий електрод; 2 - формоутворююча насадка; 3-деталь; 4 - підвідний електрод; 5 - присадний матеріал

Знаючи складові теплового балансу при проходженні зварювального та підігріваючого імпульсів струму, можна розрахувати їхнє діюче значення за законом Джоуля-Ленца [1-4].

Температура є одним із найважливіших параметрів технологічних процесів виготовлення та відновлення деталей машин, що обумовлює необхідність застосування великої кількості методів та технічних засобів її вимірювання.

До контактних методів та приладів, що дозволяють вимірювати температуру твердих тіл, відносяться [47, 48]:

- метод вимірювання температури, заснований на розширенні та зміні тиску робочої речовини. Пристроями для реалізації цього методу є різні конструкції рідинні термометри, що дозволяють фіксувати температуру від 200 до 759ºС;

- метод вимірювання температури, заснований на суворій залежності електрорушійної сили термоелектричного термометра від температури речовини. Межі вимірювання температури різними термометрами від 200 до 2500ºС та більше. За характером термоелектричні термометри поділяються на дві групи: термопари з благородних та неблагородних матеріалів;

- метод вимірювання температури на основі властивості речовини змінювати свій електричний опір із зміною температури. Термометри опору, засновані на цьому методі, дозволяють вимірювати температуру в межах від 260 до 750ºС, а в окремих випадках до 1000ºС;

- метод пірометрії, заснований на тепловому випромінюванні. Прилади, що використовуються для цього дозволяють вимірювати температуру від 300 до 6000ºС і вище.

Перераховані методи вимірювання температури мають недоліки, що знижують їхнє практичне застосування для вивчення теплових процесів, що відбуваються в зоні зварювання і в тілі відновлюваної деталі під час електроконтактної наплавлення присадного матеріалу та осаду зношеного рельєфу.

По-перше, всі зазначені методи і прилади для вимірювання температури мають значну інерційність. Так, згідно з ГОСТ 6616, малоінерційними термопарами вважаються такі, у яких показник теплової інерції не перевищує 5с. Для первинних перетворювачів пірометрів різних типів час встановлення показань без урахування інерційності вторинного приладу коливається від 0,53 до 27,6с в інтервалі температури візованого тіла від 1000 до 1700ºС [1-4], що ускладнює отримання реальної температури в певний момент процес тепловиділення коливається від 0,01 до 2,0с.

По-друге, теплоприймачі, що застосовуються при контактних методах вимірювання температури, впливають на розподіл температури в контрольованих областях тіла, що негативно може позначитися при електроконтактному зварюванні, при якому тепловиділення в тій чи іншій точці залежить від розподілу щільності струму та опору матеріалу.

По-третє, при вимірюванні контактними методами температури всередині тіла з невеликим об'ємом, та ще й, якщо в них існують великі температурні перепади, характерні для електроконтактного зварювання та наплавлення, виникають значні труднощі, пов'язані із застосуванням теплоприймачів малих розмірів.

По-четверте, контактні вимірювальні прилади слабо опираються механічним впливам, мають порівняно нетривалий термін служби за високих температур у зв'язку з зростанням агресивних властивостей середовища. Крім того, термопари, що застосовуються для вимірювання температур до 2000ºС, відрізняються високою вартістю [1-4].

Таким чином, визначення температури деталей при відновленні їх електроконтактним зварюванням з одночасним осадженням пов'язане з рядом труднощів, пов'язаних в першу чергу з малими розмірами області, що нагрівається, і дуже коротким проміжком часу нагріву. Тому виникає необхідність оцінки теплових явищ, що відбуваються в тілі деталі, яка відновлюється електроконтактним зварюванням з одночасною осадкою. Найбільш прийнятні в таких випадках розрахункові методи дослідження температурних полів на умовній фізичній моделі процесу, що прийнято в цій роботі.

При аналітичній побудові просторово-часового температурного поля, що відображає дійсний розподіл температур при контактному зварюванні, необхідно забезпечити такі умови [28-30, 50, 51]:

- відповідність розрахункової і дійсної кількості тепла, що генерується в одиницю часу в деталях, що зварюються в будь-якій стадії процесу;
- розподіл цього тепла, узгоджений у кожний момент часу з електричним та температурними полями в деталях;
- достатньо точний облік явищ теплопередачі і в першу чергу теплопередачі в електроди (при цьому повинні бути прийняті до уваги розміри та форма електродів).

У загальному випадку температурне поле при зварюванні описується рівнянням теплопровідності на основі закону теплопровідності Фур'є:

$$\lambda\left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 T}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 T}{\partial z^2}\right)=\frac{\partial T}{\partial t}c\gamma\,, \tag{1}$$

де T – температура;

t – час;

x, y, z – змінні координати;

c, $\gamma$, $\lambda$ - відповідно теплоємність, щільність та теплопровідність.

При точковому зварюванні, коли джерело теплоти нерухоме, диференціальне рівняння теплопровідності в циліндричних координатах записується в наступній формі:

$$\frac{\partial T}{\partial t}=\frac{\lambda}{c\gamma}\left(\frac{\partial^2 T}{\partial z^2}+\frac{\partial^2 T}{\partial r^2}+\frac{1}{r}\frac{\partial T}{\partial r}\right)+\frac{i^2\rho}{c\gamma}\,. \tag{2}$$

У лівій частині цього рівняння – швидкість зміни температури у будь-якій точці з'єднання, у правій – сума приватних похідних, що враховують теплообмін теплопровідністю всередині тіла: доданок $\frac{i^2\rho}{c\gamma}$ виражає підвищення температури за рахунок дії джерела теплоти, пов'язаного з проходженням струму щільністю і через власний опір деталі.

У окремому випадку нагрівання металу прохідним електричним струмом за умови плоскої задачі описується наступним рівнянням [28, 46].

$$\frac{\partial T}{\partial t}=\frac{\lambda}{c\gamma}\left(\frac{\partial^2 T}{\partial x}+\frac{\partial^2 T}{\partial y}\right)+\frac{i^2\rho}{c\gamma} \tag{3}$$

Проте, дотримання умов побудови просторово-часового температурного поля веде до неможливості розв'язання диференціального рівняння теплопровідності. Для цієї мети зазвичай використовують чисельні та наближені методи вирішення.

*1. Сідашенко О.І. Тіхонов О.І., Лузан С.О. та інші. Технологія ремонту машин та обладнання. Курс лекцій. Навч. посібник. Харків: ХНТУСГ, 2017, 361 с.*

*2. Сідашенко О.І, Науменко О.А., Скобло Т.С., Тіхонов О.В. та інш.; за ред.. Сідашенка О.І, за ред. Науменка О.А. Ремонт машин та обладнання: підручник. 2-ге вид., перероб. і доп. К.: Агроосвіта, 2014, 665 с.*

*3. Тихонов А.А. Мартыненко Д.А. Влияние макрогеометрии рабочей поверхности осаживающего электрода на распределение тока. Материалы международного форума молодежи «Молодежи и сельскохозяйственная техника в XXI веке». Харьков: ХНТУСХ, 2006, С.62.*

*4. Тихонов А.В. Электрод для восстановления изношенных рельефных поверхностей деталей // Методы восстановления изношенных деталей сельскохозяйственных машин. Сб. науч. тр. МИИСП. М., 1986, С.72 – 77.*