

---

## **Визначення величини зварювального та підігрівуючого імпульсів струму при відновленні кулачків муфт**

### **Олександр Тіхонов**

Кафедра сервісної інженерії та технології матеріалів в машинобудуванні імені  
О.І. Сідашенка / факультету мехатроніки та інжинірингу, Державний біотехнологічний  
університету, Харків, Україна  
ORCID 0000-0001-7209-8375

### **Іван Рибалко**

Кафедра сервісної інженерії та технології матеріалів в машинобудуванні імені  
О.І. Сідашенка / факультету мехатроніки та інжинірингу, Державний біотехнологічний  
університету, Харків, Україна  
ORCID 0000-0002-3663-019X

### **Олександр Мартиненко**

Кафедра сервісної інженерії та технології матеріалів в машинобудуванні імені  
О.І. Сідашенка / факультету мехатроніки та інжинірингу, Державний біотехнологічний  
університету, Харків, Україна  
ORCID 0000-0002-3047-8254

### **Для цитування цієї статті:**

Тіхонов Олександр, Рибалко Іван, Мартиненко Олександр. Визначення величини зварювального та підігрівуючого імпульсів струму при відновленні кулачків муфт. International Science Journal of Engineering & Agriculture. Vol. 3, No. 2, 2024, pp. 85-95. doi: 10.46299/j.isjea.20240302.07

**Надійшла до редакції:** 25 січня 2024 р.; **Схвалено:** 28 лютого 2024 р.;

**Опубліковано:** 01 квітня 2024 р.

---

**Анотація:** Застосовувані в даний час способи наплавлення для відновлення кулачків мають значну трудомісткість механічної обробки, велика витрата присадного матеріалу і низькі показники міцності відновлених рельєфів. Метою роботи є підвищення якості приварки присадного матеріалу і формоутворюючого осадження за рахунок ефективних засобів концентрації тепла в тілі відновлюючого рельєфу на базі розрахунку параметрів процесу. Найбільш перспективний спосіб відновлення кулачків муфт полягає у приварюванні присадного матеріалу до вершини кулачка з одночасною формотворчою осадкою профілю. При обробці на зовнішній поверхні рельєфу розміщуються матеріал присадки і приварюють його електроконтактним способом. Для поліпшення якості приварювання присадного матеріалу, зменшення зносу електродів та оптимізації процесу формоутворення кулачка перший зварювальний імпульс струму забезпечує приварювання матеріалу до вершини кулачка і частково використовується в початковому періоді деформації, а другий зварювальний імпульс визначає завершення процесу формоутворення з одночасною осадкою. Враховуючи аналогію процесів тепловиділення при електроконтактному зварюванні, за основу запропонованої методики розрахунку зварювального та підігрівуючого імпульсів струму при відновленні електроконтактного приварювання з одночасною формотворчою осадкою, прийнята методика розрахунку величини зварювального струму на основі рівняння теплового балансу О.С. Гельмана. Описано методику розрахунку основних параметрів режиму відновлення кулачків муфт електроконтактним приварюванням випадкового

матеріалу з одночасною формотворчою осадкою на основі рівняння теплового балансу. Наведені результати добре узгоджуються з діючими значеннями зварювального та підігрівуючого імпульсів струму, отриманих у процесі експериментального відновлення деталей і дозволяють використовувати їх для розрахунку температурних полів у тілі деталі.

**Ключові слова:** кулачкові муфти, відновлення, електроконтактне зварювання, зварювальний імпульс струму, підігрівуючий імпульс струму, формоутворення.

---

## 1. Вступ

Застосовувані в даний час способи наплавлення для відновлення кулачків мають значну трудомісткість механічної обробки, велика витрата присадного матеріалу і низькі показники міцності відновлених рельєфів.

Способи пластичної деформації вимагають загального нагріву деталі, застосування складного та дорогого нагрівального та пресового обладнання, а також складних, низько універсальних та швидко зношуваних штампів.

Враховуючи недоліки існуючих способів відновлення рельєфних поверхонь, запропоновано спосіб відновлення деталей з рельєфною поверхнею [1], що забезпечить: скорочення витрати присадного матеріалу; зменшення трудомісткості механічної обробки; підвищення якості відновлення.

Зазначене досягається тим, що поєднується процес електроконтактного наплавлення присадного матеріалу та одночасної формотворчої осадки профілю. При цьому скорочується деформація незношеної частини профілю, локалізується нагрів у тілі рельєфу та зберігаються початкові властивості основного матеріалу на бічних поверхнях рельєфу.

Враховуючи аналогію процесів тепловиділення при електроконтактному зварюванні, за основу запропонованої методики розрахунку зварювального та підігрівуючого імпульсів струму при відновленні електроконтактного приварювання з одночасною формотворчою осадкою [2], прийнята методика розрахунку величини зварювального струму на основі рівняння теплового балансу, запропонованого О.С. Гельманом [3] і що отримала подальший розвиток у ряді робіт [4-9].

## 2. Об'єкт і предмет дослідження

Об'єктом дослідження були кулачкові муфти сільськогосподарських машин. Предмет дослідження – визначення технологічних параметрів електроконтактного зварювання і підігріву відновлюваного рельєфу при формоутворюванні.

Недоліком існуючого способу є те, що присадний матеріал проплавляється на малу глибину і деформується незначно. Тобто тепло не концентрується у зоні відновлення. Це вказує на підтвердження загальних закономірностей зварювання матеріалу різної товщини: значне відведення тепла в тіло електрода з боку тонкої деталі; специфічний розподіл струму обох деталях.

## 3. Мета та задачі дослідження

Метою роботи є підвищення якості приварки присадного матеріалу і формоутворюючого осадження за рахунок ефективних засобів концентрації тепла в тілі відновлюваного рельєфу на базі розрахунку параметрів процесу.

Для досягнення поставленої мети у роботі намічені до вирішення такі завдання:

- розробити методику розрахунку теплових полів на підставі вивчення залежності розподілу щільності струму в рельєфі від конфігурації та конструкції осаджуючого електрода;
- вивчити залежність теплофізичних властивостей матеріалу від температури деталі та

апроксимувати їх у зручний для розрахунків вид;

- вивчити теплові процеси, що відбуваються в тілі відновлюваної деталі на підставі розрахункових методів та запропонувати спрощену методику розрахунку зварювального та підігрівуючого імпульсів струму в процесі відновлення кулачків муфти.

#### 4. Аналіз літератури

Зчіпні муфти з прямокутним профілем кулачка знайшли широке застосування у конструкціях сільськогосподарських машин та механізмів [10]. Вони виготовляються зі сталей, що забезпечують високу твердість кулачків після термічної або хіміко-термічної обробки і при цьому мають задовільну зварюваність. Для досліджень вибрано кулачкові з прямозубим профілем муфти, виготовлені зі сталі 20ХНР і піддані зміцненню методом хіміко-термічної обробки (нітроцементация) на глибину 0,8-1,2мм.

Найбільш перспективний спосіб відновлення кулачків муфт полягає у приварюванні присадного матеріалу до вершини кулачка з одночасною формотворчою осадкою профілю. При обробці на зовнішній поверхні рельєфу розміщуються матеріал присадки і приварюють його електроконтактним способом. Для поліпшення якості приварювання присадного матеріалу, зменшення зносу електродів та оптимізації процесу формоутворення кулачка перший зварювальний імпульс струму забезпечує приварювання матеріалу до вершини кулачка і частково використовується в початковому періоді деформації, а другий зварювальний імпульс визначає завершення процесу формоутворення з одночасною осадкою[1].

#### 5. Методи досліджень

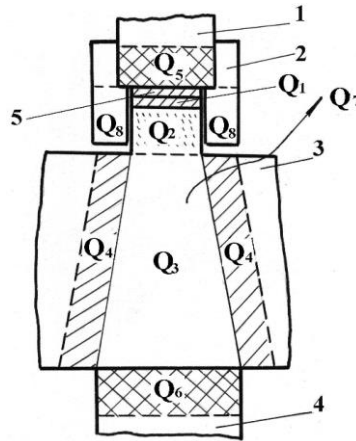
У разі відновлення рельєфних поверхонь деталей розрахунок зварювального та підігрівального струму доцільно проводити на ділянках «присадний матеріал-осаджуючий електрод», «рельєф деталі-деталь» і «деталь-підвідний електрод».

Визначення величини струму зварного та підігрівуючого імпульсів струму базуються на вирішенні рівняння теплового балансу. Загальне рівняння теплового балансу при відновленні рельєфних деталей має такий вигляд.

Теплота  $Q_{ee}^{36}$ , що виділяється при протіканні зварювального струму через ділянку між осаджуючим і підвідним електродом у процесі відновлення деталі електроконтактним зварюванням з одночасною формотворчою осадкою (на прикладі відновлення кулачків відновленні муфти блокування диференціала, деталь №50-2409015А) витрачається: наплавлення 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 підводить; втрати тепла за рахунок теплопровідності в навколишній метал муфти  $Q_4$ , що осідає  $Q_5$  і підводить  $Q_6$  електроди, а також втрати тепла в навколишню атмосферу  $Q_7$ .

Таким чином, кількість тепла, що виділяється при зварюванні матеріалу з вершиною рельєфу на першому етапі відновлення можна записати.

$$Q_{ee}^{36} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_7. \quad (1)$$



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

## 6. Результати досліджень

У момент проходження підігрівального імпульсу струму на етапі пластичного деформування рельєфу, що відновлюється, витрати теплоти на плавлення зварювального ядра немає, так як під час проміжної паузи воно кристалізувалося, внаслідок чого і присадний матеріал і рельєф являють собою єдине ціле. Тому втрати теплоти на нагрівання тіла рельєфу враховуються на весь його об'єм, а також обсяг присадного матеріалу  $Q_2^{nid}$ . Крім того, в процесі проходження підігрівного імпульсу струму частина тепла витрачається на нагрівання формуючої насадки осажуючого електрода за рахунок теплопровідності  $Q_8^{pid}$ . Таким чином, рівняння теплового балансу при протіканні імпульсу струму, що підігріває, набуде наступного вигляду:

$$Q_{ee}^{nid} = Q_1^{nid} + Q_2^{nid} + Q_3^{nid} + Q_4^{nid} + Q_5^{nid} + Q_6^{nid} + Q_7^{nid} + Q_8^{nid}. \quad (2)$$

Враховуючи незначні втрати тепла у довкілля ( $Q_7, Q_7^{nid}$ ) і тіло формуючої насадки осажуючого електрода ( $Q_8^{pid}$ ) під час проходження підігрівального імпульсу струму їх величинами нехтуємо.

Тоді рівняння теплового балансу при проходженні зварювального та підігрівального імпульсів струму під час відновлення рельєфу набудуть вигляду:

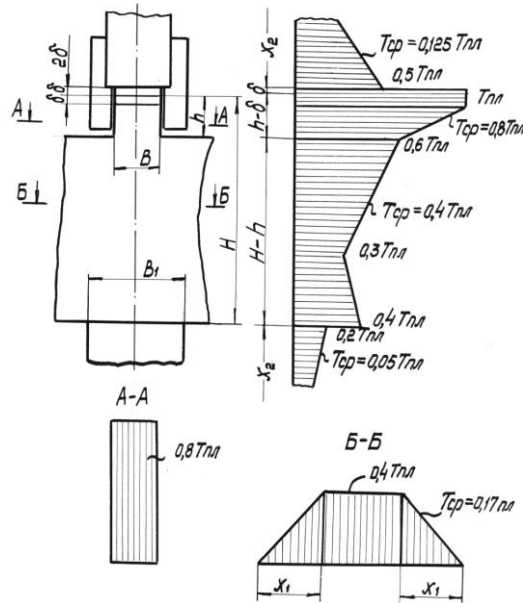
$$\begin{aligned} Q_{ee}' &= Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6; \\ Q_{ee}^{nid}' &= Q_2^{nid} + Q_3^{nid} + Q_4^{nid} + Q_5^{nid} + Q_6^{nid}; \end{aligned} \quad (3)$$

Кількість теплоти  $Q_1$ , що витрачається при нагріванні до температури плавлення  $T_{nl}$  шару матеріалу заввишки  $2\delta$ , площею поперечного перерізу рівної площі підстави кулачка, що відновлюється (рис.2) (для спрощення розрахунків розглядали розворот кулачкової муфти довжиною  $L$  [3, 7, 9] визначали за формулою:

$$Q_1 = B \cdot L \cdot 2\delta \cdot C \cdot \gamma \cdot T_{nl} \quad (4)$$

де  $B$  – ширина кулачка;

$L$  – довжина кулачка;  
 $\delta$  – товщина присадного матеріалу;  
 $C$  – теплоємність матеріалу муфти;  
 $\gamma$  – щільність матеріалу муфти;  
 $T_{пл}$  – температура плавлення матеріалу.



**Рис.2.** Схема розподілу температури для розрахунку чинного значення зварювального імпульсу струму при відновленні муфти блокування диференціала.

Теплота  $Q_2$ , що витрачається на нагрівання металу у вигляді шару заввишки  $(h-\delta)$  до середньої температури  $0,8 T_{пл}$  і площею основи рівної площі поперечного перерізу кулачка, що відновлюється, визначали за формулою:

$$Q_2 = B \cdot L \cdot (h - \delta) \cdot C \cdot \gamma \cdot 0,8 \cdot T_{пл} \quad (5)$$

$h$  – висота кулачка муфти.

Кількість теплоти  $Q_3$ , що витрачається на нагрівання металу, у вигляді шару висотою  $(H-h)$ , до середньої температури  $0,4 T_{пл}$  і площею у вершини, що дорівнює площі основи кулачка, а в нижній частині рівної площі контакту електрода, що підводить з деталлю, визначали за формулою :

$$Q_3 = \left( \frac{B_1 - B}{2} \right) \cdot (H - h) \cdot L \cdot C \cdot \gamma \cdot 0,4 \cdot T_{пл} \quad (6)$$

де  $B_1$  – ширина вершини контакту електрода, що підводить;

$H$  – висота деталі.

Теплота  $Q_4$ , що витрачається на нагрівання ділянки металу шириною  $X_1$  навколишнього шару із середньою температурою  $0,4 T_{пл}$ , при цьому середня температура цієї ділянки  $0,1 T_{пл}$  визначається за формулою:

$$Q_4 = (H - h) \cdot 2X_1 \cdot L \cdot C \cdot \gamma \cdot K_1 \cdot 0,1 \cdot T_{пл} \quad (7)$$

де  $X_1$  – шар матеріалу, де помітно підвищення температури. Значення  $X_1$  визначається

часом зварювання  $t_{зв}$ , а також температуропровідністю матеріалу [4, 7, 9.] та  $X_1 = 4\sqrt{a \cdot t_{зв}}$ ..

Для низьколегованих та низьковуглецевих сталей  $X_1=1,2$ , для алюмінієвих сплавів  $X_1 = 3,1\sqrt{t_{зв}}$ . та для міді  $X_1 = 3,3\sqrt{t_{зв}}$ .  $K_1$  – коефіцієнт враховує той факт, що середня температура навколишнього стовпчика матеріалу дещо нижча за середню температуру  $0,1 T_{nl}$   $K_1 = 0,8$  [4, 9].

Втрати тепла  $Q_5$  на нагрівання шару матеріалу осідає електрода висотою  $X_2$  і площею основи рівної площі основи кулачка, що відновлюється, визначаються за формулою:

$$Q_5 = B \cdot L \cdot X_2 \cdot C_{el} \cdot \gamma_{el} \cdot K_2 \cdot 0,125 \cdot T_{nl} \quad (8)$$

де  $C_{el}$ ,  $\gamma_{el}$  – відповідно теплоємність та щільність електродного матеріалу;

$K_2$  – коефіцієнт, що враховує форму осідає електрода  $K_2 = 1$  [4, 7, 9];

$X_2 = 4\sqrt{a_{el} \cdot t_{el}}$  – відстань від поверхні контакту електрода, де помітно підвищення температури  $X_2 = 3,3\sqrt{t_{зв}}$  [4, 9].

Втрати тепла  $Q_6$  на нагрівання шару матеріалу підвідного електрода висотою  $X_2$  і площею основи рівної площі контакту підвідного електрода з деталлю, визначаються за формулою:

$$Q_6 = B_1 \cdot L \cdot X_2 \cdot \gamma_{el} \cdot C_{el} \cdot K_2 \cdot 0,05 \cdot T_{nl} \quad (9)$$

Складові теплового балансу при проходженні імпульсу струму, що прогріває, розраховуються виходячи з необхідності нагріву відновлюваного рельєфу до температури  $T_{nid}=0,75T_{nl}$ . У зв'язку з цим схема розподілу температури на момент закінчення підігрівуючого імпульсу струму має вигляд (рис.3).

Кількість теплоти  $Q_2^{nid}$ , що витрачається на нагрівання кулачка, що відновлюється, і привареного до нього присадного матеріалу висотою  $(h+\delta)$  та площею поперечного перерізу рівної площі основи кулачка до температури  $T_{nid}=0,75T_{nl}$  (при цій температурі  $\varepsilon = 0,5$  та процес пластичної деформації протікає найбільш раціонально), визначається за формулою [11-14]:

$$Q_2^{nid} = B \cdot L \cdot (h + \delta) \cdot C_1 \cdot \gamma \cdot (T^{nid} - T_2), \quad (10)$$

де  $T_2$  – середня температура шару матеріалу в момент початку підігріву;

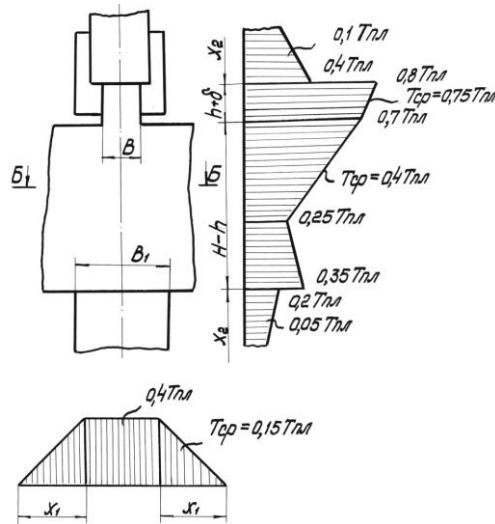
$C_1$  – тепломісткість стовпчика металу при температурі  $T_2$  [15].

Кількість теплоти  $Q_3^{nid}$ , необхідне для нагрівання шару металу висотою  $(H-h)$  до середньої температури  $0,4 T_{nl}$  (рис.3) і площею у вершини, що дорівнює площі основи кулачка, що відновлюється, а в нижній частині рівної площі контакту підводить електрода з деталлю, розраховується за формулою [16, 17]:

$$Q_3^{nid} = \left( \frac{B_1 - B}{2} \right) \cdot (H - h) \cdot L \cdot C_2 \cdot \gamma \cdot (0,4 \cdot T_{nl} - T_3), \quad (11)$$

де  $T_3$  – середня температура шару матеріалу в момент початку проходження підігрівуючого імпульсу струму;

$C_2$  – тепломісткість шару металу при  $T_3$ .



**Рис.3.** Схема розподілу температури для розрахунку підігрівного імпульсу струму при відновленні муфти блокування диференціала.

Інші складові теплового балансу при проходженні імпульсу струму, що підігріває, визначаються за формулами:

$$Q_4^{nid} = (H - h) \cdot 2X_1^{nid} \cdot L \cdot C_3 \cdot \gamma \cdot (0,15T_{nl} - T_4), \tag{12}$$

де  $X_1^{nid} = 4\sqrt{a \cdot t_{nid}}$  – відстань, де помітно підвищення температури або  $X_1 = 1,2\sqrt{t_{nid}}$  ;  
 $t_{nid}$  – час проходження підігрівного імпульсу струму;  
 $C_3$  – теплоємність шару металу при  $T_4$ ;  
 $T_4$  – середня температура шару металу завтовшки  $X_1$  в момент початку підігріву.

$$Q_5^{nid} = B \cdot L \cdot X_2^{nid} \cdot C_{el}^{nid} \cdot \gamma_{\gamma} \cdot \gamma_{\epsilon} \cdot \gamma_{\delta} \cdot (0,1T_{nl} - T'_{el}), \tag{13}$$

де  $T'_{el}$  – середня температура шару металу електрода на початку підігріву;  
 $C_{el}^{nid}$  – теплоємність матеріалу осаджуючого електрода при  $T'_{el}$  ,  $X_2^{nid} = 4 \cdot \sqrt{a_{el} \cdot t_{nid}}$  – відстань, де помітно підвищення температури.  $X_2^{nid} = 3,3 \cdot \sqrt{t_{nid}}$  .

$$Q_6^{nid} = B_1 \cdot L \cdot X_2^{nid} \cdot C_{el}^{nid'} \cdot \gamma_{el'} \cdot K_2 \cdot (0,05T_{nl} - T''_{el}), \tag{14}$$

де  $T''_{el}$  – середня температура стовпчика матеріалу підводить електрода на початку підігріву;

$C_{el}^{nid'}$  – теплоємність металу підводить електрода при  $T_{el}$ .

Знаючи складові теплового балансу при проходженні зварювального та підігрівуючого імпульсів струму, можна розрахувати їхнє діюче значення за законом Джоуля-Ленца за формулами [3, 4, 9, 18]:

$$I_{3\epsilon} = \sqrt{\frac{Q_{ee}^{3\epsilon}}{K_3 \cdot R_{0,кон}^{3\epsilon} \cdot t_{3\epsilon}}}, \tag{15}$$

$$I_{ni\delta} = \sqrt{\frac{Q_{ee}^{ni\delta}}{K_3 \cdot R_{\delta,кон}^{ni\delta} \cdot t_{ni\delta}}}, \quad (16)$$

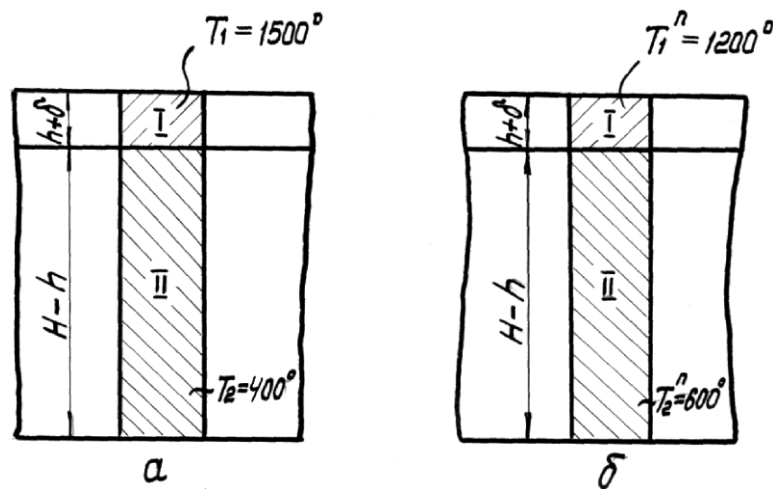
де  $K_3$  – коефіцієнт, що враховує зміну опору під час проходження імпульсів струму,  $K_3=1,1$  [4];

$R_{\delta,кон}^{3\delta}$ ,  $R_{\delta,кон}^{ni\delta}$  – опір деталі під час проходження зварювального та підігрівуючого імпульсів струму відповідно;

$t_{3\delta}$ ,  $t_{ni\delta}$  – технологічно доцільний час зварювального та підігрівуючого імпульсів струму;

Значення  $R_{\delta,кон}^{3\delta}$ ,  $R_{\delta,кон}^{ni\delta}$  визначаються виходячи з таких припущень:

1. Приймаємо, що опір деталей можна у вигляді двох пластин завтовшки  $(h-\delta)$  та  $(H-h)$  (рис. 4). При цьому при проходженні зварювального струму кожна пластина нагрівається до температури  $T=1500^\circ$  і  $T=400^\circ$ .



**Рис. 4.** Схема розрахунку електричного опору: а – в момент проходження зварювального імпульсу струму; б – в момент проходження підігрівного імпульсу струму.

2. У момент проходження підігрівного імпульсу струму кожна пластина нагрівається до  $T_1^n=1200^\circ$  та  $T_2^n=600^\circ$ . Крім того, зона нагрівання пластин має площу перерізу, рівну площі перерізу кулачка, що відновлюється.

Тоді

$$R_{\delta,кон}^{3\delta} = \frac{K_n \cdot A_\delta \cdot H_1}{L \cdot B} \cdot (\rho_1 - \rho_2), \quad (17)$$

де  $A_\delta$  – коефіцієнт електроопору деталей для випадку відновлення рельсфних поверхонь приймаємо рівним 0,35-0,5;

$K_n$  – коефіцієнт, що враховує нерівномірність нагрівання деталей ( $K_n = 0,85$ );

$\rho_1^n, \rho_2^n$  – відповідно питомий опір для температур  $T_1$  та  $T_2$ ;  $H_1 = (H + \delta)$ .

$$R_{\delta,кон}^{ni\delta} = \frac{K_n \cdot A_\delta \cdot H_1}{L \cdot B} \cdot (\rho_1'' - \rho_2''), \quad (18)$$

$\rho_1'', \rho_2''$  – питомий опір для температур  $T_1^n$  і  $T_2^n$  відповідно.



## 7. Перспективи подальшого розвитку досліджень

В подальших дослідження необхідно відкоригувати значення теплофізичних властивостей зварювальних матеріалів та коефіцієнтів щодо відстані де проходить підвищення температури при відновленні. На базі цих даних спростити розрахунок параметрів відновлення деталей електроконтактним зварюванням з формотворним осадженням.

## 8. Висновки

Запропонований розрахунок зварювального та підігрівального імпульсів струму стосовно відновлення кулачкової муфти блокування диференціала трактора, деталь №50-2409015А електроконтактним зварюванням з одночасною формотворчою осадкою показав, що діюче значення зварювального імпульсу струму при  $t_{зв}=1,72с$  знаходиться в межах от 14610 до 17400А. Чинне значення підігрівального імпульсу струму при  $t_{нід}=1,5с$  знаходиться в межах 14240-15941А. Наведені результати добре узгоджуються з діючими значеннями зварювального та підігрівального імпульсів струму, отриманих у процесі експериментального відновлення деталей і дозволяють використовувати їх для розрахунку температурних полів у тілі деталі.

---

### Список літератури:

- 1) Тихонов, А.В. (1985) Восстановление кулачков муфты блокировки дифференциала трактора МТЗ -50. Сб. науч. тр. МИИСП: Технология повышения долговечности восстанавливаемых деталей, 85-88.
- 2) Пилипенко, Н.С., Тихонов, А.В., Цехмистер, И.М. (1984) Двухимпульсный режим контактной сварки при восстановлении деталей с рельефной поверхностью. Сб.науч.тр. МИИСП: Прогрессивные технологические способы и процессы восстановления деталей сельскохозяйственной техники, 42-46.
- 3) Гельман, А.С. (1960) Технология и оборудование контактной электросварки. М.: Машгиз, 367.
- 4) Орлова, Б.Д. (1975) Технология и оборудование контактной сварки. М.: Машиностроение, 536.
- 5) Орлова, Б.Д. (1986) Технология и оборудование контактной сварки. М.: Машиностроение, 352.
- 6) Гуляев, А.И. (1978) Технология точечной и рельефной сварки сталей. М.: Машиностроение, 246.
- 7) Козлов И.К. (2013) Область применения и оптимизация технологии рельефной Т-образной сварки. Фундаментальные исследования, № 11-5, 875-879.
- 8) Болгарский, А.В., Мухачев, Г.А., Щукин, В.К. (1975) Термодинамика и теплопередача. М.: Высшая школа, 495.
- 9) Катаев, Р.Ф., Милютин, В.С., Близник, М.Г. (2015) Теория и технология контактной сварки. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 144.
- 10) Архипов, О.Г., Горбатенко, Ю.П., Мариношенко, О.П., Галабурда, Н.І. (2021) Муфти. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 204. Available at: [https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/45679/1/Mufty\\_2021.pdf](https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/45679/1/Mufty_2021.pdf)
- 11) Губкин, С.И. (1960) Пластическая деформация металлов. Том 2. М.: Металлургиздат, 381.
- 12) Унксова, Е.П., Овчинникова, А.Г. (Ред.) (1983) Теория пластических деформаций металлов. М.: Машиностроение, 598.
- 13) Шофман, Л.А. (1961) Основы расчета процессов штамповки и прессования. М.: Машгиз, 340.
- 14) Козловский, С.Н., Орлов, В.Д., Чакалев, А.А., Малимонов, В.И. (1988) Методика

программирования сварочного усилия при точечной сварке на стадии нагрева. Известия высших учебных заведений, №10, 123-127.

15) Неймарк, Б.Е., Воронин, Л.К. и др. (1971) Теплофизические свойства твердых веществ. М.: Наука, 563.

16) Гуляев, А.И. (1985) Технология и оборудование контактной сварки. М.: Машиностроение, 256.

17) Крамська, Л.І., Тіхонов, О.В. (2022) Визначення температури в тілі деталі при відновленні рельєфних поверхонь деталей електроконтактним зварюванням з одночасним осаджуванням. Матеріали III Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції «Інноваційні технології розвитку машинобудування та ефективного функціонування транспортних систем», 77-79.

18) Тихонов, А.А. Мартыненко, Д.А. (2006) Влияние макрогеометрии рабочей поверхности осаживающего электрода на распределение тока. Материалы международного форума молодежи «Молодежи и сельскохозяйственная техника в XXI веке», 62.

---

## **Determination of the value of the welding and heating pulses of the current during the restoration of the clutch cams**

### **Oleksandr Tihonov**

Department of service engineering and technology of materials in mechanical engineering named after O.I. Sidashenko / Faculty of Mechatronics and Engineering, State Biotechnological University, Kharkiv, Ukraine  
ORCID 0000-0001-7209-8375

### **Ivan Rybalko**

Department of service engineering and technology of materials in mechanical engineering named after O.I. Sidashenko / Faculty of Mechatronics and Engineering, State Biotechnological University, Kharkiv, Ukraine  
ORCID 0000-0002-3663-019X

### **Oleksandr Martynenko**

Department of service engineering and technology of materials in mechanical engineering named after O.I. Sidashenko / Faculty of Mechatronics and Engineering, State Biotechnological University, Kharkiv, Ukraine  
ORCID 0000-0002-3047-8254

---

**Abstract:** Currently used surfacing methods for restoring cams have a significant labor-intensive mechanical processing, a large consumption of filler material and low indicators of the strength of the restored reliefs. The purpose of the work is to improve the quality of welding filler material and form-forming deposition due to effective means of heat concentration in the body of the restored relief based on the calculation of process parameters. The most promising way to restore the clutch cams is to weld filler material to the top of the cam with a simultaneous molding of the profile. During processing, the additive material is placed on the outer surface of the relief and welded by the electric contact method. To improve the quality of filler material welding, reduce electrode wear, and optimize the cam forming process, the first welding current pulse provides welding of the material to the top of the cam and is partially used in the initial deformation period, and the second welding pulse determines the completion of the forming process with simultaneous deposition. Taking into account the analogy of the processes of heat generation during electric contact welding, as the basis of the proposed method of calculating the welding and heating current pulses during the restoration of electric contact welding with a simultaneous forming deposit, the method of calculating the value of the welding current based on the heat balance equation of O.S. Helman. The method of calculating

the main parameters of the mode of recovery of the clutch cams by electrocontact welding of the fit material with simultaneous forming deposit based on the heat balance equation is described. The given results are in good agreement with the current values of the welding and heating pulses of the current obtained in the process of experimental restoration of the parts and allow them to be used to calculate the temperature fields in the body of the part.

**Keywords:** cam couplings, recovery, electric contact welding, welding current pulse, heating current pulse, forming.

---