



УКРАЇНА

(19) UA (11) 58023 (13) A

(51) 7 G01K7/02, B23K11/02

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ
НА ВІНАХІДВИДАЄТЬСЯ ПІД
ВІДПОВІДАЛЬНІСТЬ
ВЛАСНИКА
ПАТЕНТУ

(54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ВЕЛИЧИНИ ХОЛОДНОГО КОНТАКТНОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО ОПОРУ

1

2

(21) 2002076238

(22) 26 07 2002

(24) 15 07 2003

(46) 15 07 2003, Бюл. №7, 2003 р

(72) Білобородченко Володимир Іванович

(73) НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ "ЛЬВІВСЬКА
ПОЛІТЕХНІКА", Білобородченко Володимир Івано-
вич

(57) Спосіб визначення величини холодного контактного електричного опору, в якому затискають деталі між електродами зварювального пристрою, вимірюють величину холодного контактного електричного опору $R_{0i}=R_{0 \min}$ при мінімально припустимому значенні зусилля стиснення $P_{0i}=P_{0 \min}$, а величину опору R_{0j} з надійною імовірністю $Q=0,95$ для будь-якого значення зусилля стиснення P_{0j} , більшого за P_{0i} , визначають за параметрами функції відмови $F(P_0)$ контакту деталей, відповідної до розподілу Вейбулла, та за визначеними статистично довірчими поліноміальним зв'язком між твердістю НВ контактного матеріалу і математичним очікуванням $M[F(P_0)]$ функції відмови, універсальним медіанним значенням параметра її кривини $M[p^*]$, а далі визначають параметр масштабу функції відмови $\theta^* = M[F(P_0)]P^*$ та її значення для зусилля стиснення $P_{0i}=P_{0 \min}$ і приращення $\Delta F(P_0)$ для решти значень зусиль стиснення та відповідно холодний контактний електричний опір R_{0j} в межах довірчого інтервалу за г-коефіцієнтами табульованого розподілу Вейбулла, який відрізняється тим, що вимірюють величину холодного контактного електричного опору R_{0ji} ($i=1,2$) в 2-х суміжних реперних точках (1,2) при відповідних зусиллях стис-

кання $P_{e1ci}=P_{e \min}$, P_{e2ci} електродів зварювального пристрою, крок Δ між якими становить 2,5 10 % діапазону зміни технологічно доцільного зусилля стиснення ($P_{e \min}$ $P_{e \max}$), визначають оцінку p^* -параметра функції розподілення для кожного з контактних матеріалів C_i ($i=1,2$) за виразом

$$\left(1 + \frac{R_{02i}}{R_{01i}}\right) \exp\left(\frac{P_{e1ci}}{M[F(P_{0ci})]}\right)^{p^*} - \exp\left(\frac{P_{e2ci}}{M[F(P_{0ci})]}\right)^{p^*} = \frac{R_{02i}}{R_{01i}} \quad (1)$$

де $M[F(P_{0ci})]$ - математичне очікування функції розподілення для кожного контактних матеріалу $c1, c2$, визначають значення функції розподілення $F(P_{eji})$ для всіх j -значень технологічно доцільного діапазону зусиль стиснення, відповідних кроку Δ окремо для кожного з контактних матеріалів за виразом

$$F(P_{eji}) = 1 - \exp\left[-\frac{P_{eji}}{M(P_{eci})}\right]^{p^*} \quad (2)$$

визначають величину холодного контактного опору R_{0ji} для кожного значення зусилля стиснення P_{ej} за виразом

$$R_{0e} = \frac{R_{0j-1ci}}{F(P_{ej-1})} [F(P_{eji}) - F(P_{ej-1ci})] \quad (3)$$

визначають величину холодного контактного опору в контакті двох матеріалів $c1, c2$ для всіх значень зусилля стиснення з кроком Δ за виразом

$$\bar{R}_{0e} = \frac{R_{0e1} + R_{0e2}}{2} \quad (4)$$

Вінахід стосується галузі зварювання тиском, зокрема виробництва контактних мікроточкових з'єднань радіоелектроніки та прецизійного приладобудування, і може бути використаний у виготовленні зварного "гарячого спаю" термоперетворювачів, в тому числі тугоплавких металів та сплавів, що застосовуються у вимірюванні температур високоенергетичних об'єктів

Відомий спосіб визначення величини холодного контактного електричного опору, в якому, деталі затискають між електродами зварювального при-

строю, вимірюють величину холодного контактного електричного опору $R_{0i}=R_{0 \min}$ при мінімально припустимому значенні зусилля стиснення $P_{0i}=P_{0 \min}$, а величину опору R_{0j} з надійною імовірністю $Q=0,95$ для будь-якого значення зусилля стиснення P_{0j} , більшого за P_{0i} , визначають за параметрами функції відмови $F(P_0)$ контакту деталей, відповідної до розподілу Вейбулла, та за визначеними статистично довірчими поліноміальним зв'язком між твердістю НВ контактного матеріалу і математичним очікуванням $M[F(P_0)]$ функції відмови, універсаль-

(13) A

(11) 58023

(19) UA

ним медіанним значенням параметру Π кривини $M[p^*]$, а далі визначають параметр масштабу функції відмови $\theta^* = M[F(P_o)]^{p^*}$ та Π значення для зусилля тиснення $P_{oi}=P_{o\ min}$ і прирощення $\Delta F(P_o)$ для решти значень зусиль стиснення, та відповідно холодний контактний електричний опір R_{oi} в межах довірчого інтервалу за Γ -коефіцієнтами табульованого розподілу Вейбулла [Деклараційний патент №42414 А G01K7/02, B23K11/02 Білобородченко В І Спосіб визначення величини холодного контактного електричного опору Оpubлікований 15 10 2001 Бюл №9]

Проте такий спосіб визначення величини холодного контактного електричного опору, базований на оцінці параметру кривини розподілення $M[p^*]=0,933$, при різних матеріалах контактної пари забезпечує лише певну точність прогнозування величини холодного контактного електричного опору, з умови, що відношення твердості контактних матеріалів не більшого 2:1. Це пов'язано зі значно відмінними значеннями оцінки параметру кривини розподілення $M[p^*]$ для різних груп технічних матеріалів. Так для міді та мідних сплавів його варіація становить 0,615 - 1,268, для сталей відповідно 0,833 - 0,895, нікелю та титану 0,863 - 1,118, для групи твердих тугоплавких термогальванічних матеріалів, наприклад ніхрому та вольфрам-ренийових сплавів - 0,995 - 1,040. Оскільки для виготовлення термоперетворюючих пристроїв в якості комутаційних та компенсаційних ланцюгів в контакт використовуються власне сполучення мідних сплавів та термогальванічних матеріалів твердістю відповідно HB200 - HB 3280 - 3450, то першочергово втрачає свою надійність, за умовами контактування, більш м'який матеріал. Таким чином визначена величина холодного контактного електричного опору стає складно залежною від умов деформування та укорінення матеріалів контактної пари. В такому випадку невірно оцінена величина холодного контактного електричного опору, як одна з початкових базових умов необхідних для визначення оптимальних режимів мікроконтактного зварювання тиском, зокрема вибір значення зусилля стиснення, особливо у випадку протікання короточасних імпульсів зварювального струму та незначних зусиль стиснення, характерних для контактного зварювання деталей малих перерізів, провокує порушення основної умови стабільної якості результатів зварювання - відповідності енергії необхідної для формування зварної точки та енергії, що виділена між електродами зварювального пристрою (енергетичний баланс процесу формування зварного з'єднання)

Таким чином не забезпечується стабільність та якість процесу формування контактного мікрозварного з'єднання, а відповідно не досягається, з рештою рівних умов, підвищена експлуатаційна надійність мікрозварних контактних з'єднань, в тому числі термоперетворювальних пристроїв

В основу винаходу поставлено задачу створення способу визначення холодного контактного електричного опору, в якому достовірно оцінювання його величини та її розкиду при контакті матеріалів різної твердості дозволило би за рахунок визначення величини холодного контактного електричного опору для кожного матеріалу контактної пари встановити надійний діапазон варіації технологічно доцільного значення зусилля стиснення електродів зварювального пристрою, досягти стабільності і якості процесу формування контактного мікрозварного з'єднання, що забезпечує, з рештою рівних умов, підвищену експлуатаційну надійність мікрозварних контактних з'єднань, в тому числі термоперетворювальних пристроїв

Поставлена задача вирішується тим, що в способі визначення величини холодного контактного електричного опору, в якому, деталі затискають між електродами зварювального пристрою, вимірюють величину холодного контактного електричного опору $R_{oi}=R_{o\ min}$ при мінімально припустимому значенні зусилля стиснення $P_{oi}=P_{o\ min}$, а величину опору R_{oi} з надійною імовірністю $Q=0,95$ для будь-якого значення зусилля стиснення P_{oi} , більшого за P_{oi} , визначають за параметрами функції відмови $F(P_o)$ контакту деталей, відповідної до розподілу Вейбулла, та за визначеними статистично довірчими поліноміальним зв'язком між твердістю HB контактного матеріалу і математичним очікуванням $M[F(P_o)]$ функції відмови, універсальним медіанним значенням параметру Π кривини $M[p^*]$ визначають параметр масштабу функції відмови $\theta^* = M[F(P_o)]^{p^*}$ та Π значенням для зусилля стиснення $P_{oi}=P_{o\ min}$ і прирощення функції відмови $\Delta F(P_o)$ для решти значень зусиль стиснення, та відповідно холодний контактний електричний опір R_{oi} в межах довірчого інтервалу за Γ -коефіцієнтами табульованого розподілу Вейбулла, згідно винаходу вимірюють величину холодного контактного електричного опору R_{oi} ($i=1,2$) в 2-х суміжних реперних точках (1,2) при відповідних зусиллях стиснення $P_{e1ci}=P_{e\ min}$, P_{e2ci} електродів зварювального пристрою, крок Δ між якими становить 2,5 - 10% діапазону зміни технологічно доцільного зусилля стиснення ($P_{e\ min}$ - $P_{e\ max}$), визначають оцінку p^* -параметру функції розподілення для кожного з контактних матеріалів C_i ($i=1,2$) за виразом

$$\left(1 + \frac{R_{o2ci}}{R_{o1ci}}\right) \exp\left(\frac{P_{e1ci}}{M[F(P_{o1ci})]}\right)^{p^*} - \exp\left(\frac{P_{e2ci}}{M[F(P_{o1ci})]}\right)^{p^*} = \frac{R_{o2ci}}{R_{o1ci}} \quad (1)$$

де $M[F(P_{o1ci})]$ математичне очікування функції розподілення для кожного контактних матеріалу C_1 , C_2 , визначають значення функції розподілення $F(P_{e1ci})$ для всіх j -значень технологічно доцільного діапазону зусиль стиснення, відповідних кро-

ку Δ окремо для кожного з контактних матеріалів за виразом

$$F(P_{e1ci}) = 1 - \exp\left(-\frac{P_{e1ci}}{M[F(P_{e1ci})]}\right)^{p^*} \quad (2)$$

визначають величину холодного контактного опору R_{0ci} для кожного значення зусилля стискування P_{ej} за виразом

$$R_{0ci} = \frac{R_{0i-1ci}}{F(P_{ej-1})} [F(P_{ejci}) - F(P_{ej-1ci})] \quad (3)$$

визначають величину холодного контактного опору в контакт двох матеріалів $c1, c2$ для всіх значень зусилля стискування з кроком Δ за виразом

$$\bar{R}_0 = \frac{R_{0i1} + R_{0i2}}{2} \quad (4)$$

Це дозволяє здійснювати контактне точкове мікрозварювання різномірних деталей при технологічно доцільному оптимальному значенні зусилля стискування електродів зварювального пристрою, встановленому за попередньо статистично надійно визначеним холодним контактним електричним опором, забезпечити умови дотримання енергетичного балансу процесу формування зварного з'єднання, що запобігає виплесковому характеру формування зони зварювання,

$$R_{02ci} = \frac{R_{01ci}}{F(P_{e1ci})} [F(P_{e2ci}) - F(P_{e1ci})] \quad \frac{R_{02ci}}{R_{01ci}} = A_i \quad \frac{F(P_{e2ci})}{F(P_{e1ci})} = B \quad (5)$$

а функція розподілення для любого значення зусилля стискування становить

$$F(P_{ejci}) = 1 - \exp\left(-\frac{P_{ejci}^{p^*}}{\theta}\right) \quad (6)$$

де P^* - оцінка параметру n кривини, θ - відповідно параметр масштабу, а також враховуючи, що при універсальному значенні математичного очікування розподілення Вейбулла $M[F(P_0)] = 0,6321$ параметр масштабу визначає функцію живучості стану контакту з математич-

внаслідок чого зменшується дефектність зварних з'єднань та підвищується експлуатаційна надійність мікрозварних з'єднань, в тому числі термоперетворювачів

Спосіб визначення величини холодного контактного електричного опору здійснюють так Для складених в контакт деталей з різномірних матеріалів $c1, c2$ ($i=1,2$), з мінімально доцільним технологічним значенням $P_{01ci}=P_{0\min}$ зусиллям стискування електродів зварювального пристрою, вимірюють величину електричного опору $R_{0\min}=R_{01ci}$, а далі наступне вимірювання опору R_{02ci} при зусиллі стискування $P_{e2ci}=P_{0\min}+\Delta$ збільшене на крок Δ , який становить 2,5 - 10% діапазону зміни технологічно доцільного зусилля стискування електродів

Оскільки за визначенням для кожного контактного матеріалу C_i ($i=1,2$) прирощення величини холодного контактного опору становить

ним очікуванням $M[P(P_0)] = 0,368$, незалежну від параметра кривини, можна записати

$$M[P(P_0)] = 0,368 = \exp\left(-\frac{M[F(P_0)]^{p^*}}{\theta}\right) \quad (7)$$

звідки

$$\theta = M[F(P_0)]^{p^*} \quad (8)$$

Тоді з урахуванням (5, 6, 8) рівняння для ітераційного визначення оцінки параметру кривини становить

$$\left(1 + \frac{R_{02ci}}{R_{01ci}}\right) \exp\left(-\frac{P_{e1ci}^{p^*}}{M[F(P_0)]}\right) - \exp\left(-\frac{P_{e2ci}^{p^*}}{M[F(P_0)]}\right) = \frac{R_{02ci}}{R_{01ci}} \quad (9)$$

Задовільна точність збігання ітераційного ряду визначених значень оцінки параметру кривини забезпечується рівнем інструментальної похибки вимірювального пристрою

Підставляючи в (9) значення математичного очікування функції розподілення $M[F(P_{0ci})]$ для кожного матеріалу контактної пари $c1, c2$ ($i=1,2$) визначають величину оцінки параметру кривини для кожного з них Далі, відповідно (6), визначають функції розподілення $F(P_{ejci})$ для кожного матеріалу $c1, c2$ для всіх P_{ej} -значень зусилля стискування, встановлених відповідно обраного кроку Δ та належних діапазону зміни технологічно доцільного зусилля стискування електродів, і визначають величину холодного контактного електричного опору R_{0ci} Величина холодного контактного електричного опору між різними матеріалами $c1, c2$ для всіх значень зусилля стискування, належних діапазону технологічно доцільних, визначається за виразом

$$\bar{R}_0 = \frac{R_{0i1} + R_{0i2}}{2} \quad (4)$$

Здійснювали вимірювання опору холодного контактного електричного опору контактної пари мідь М2 $\delta=0,5\text{мм}+\text{ніхром}$ Н20Х80 $d=0,2\text{мм}$ Дослідні вимірювання та медіани значень опорів в точках $P_{e1}=0,2\text{даН}$, $P_{e2}=0,4\text{даН}$ відповідно становлять $R_{01med}=73\text{мОм}$ та $R_{02med}=53\text{мОм}$ Оцінки математичного очікування $M[F(P_e)]_{(M2)}=0,475\text{даН}$, $M[F(P_e)]_{(H20X80)}=1,611\text{даН}$, оцінки параметрів кривини розподілів складають $p^*_{(M2)}=1,1$, $p^*_{(H20X80)}=0,88$

В таблиці наведені статистично надійні результати практичної апробації способу визначення величини холодного контактного електричного опору Функції розподілення демонструють втрату надійності стану контакту з боку міді через проникнення в неї більш твердого ніхрому (опір міді стає несуттєвим при $P_e > 2\text{даН}$) В подальшому опір залежить від зміни топологічних характеристик ніхрому

Таблиця

Результати практичної апробації способу визначення величини холодного контактного електричного опору

P_e , даН	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0
$F(P_e)_{CU}$	0,33	0,58	0,74	0,85	0,90	0,94	0,97	0,98	0,99	0,99	1	1	1	1	1
$F(P_e)_{NICK}$	0,15	0,26	0,35	0,43	0,49	0,55	0,60	0,64	0,68	0,71	0,74	0,77	0,79	0,81	0,83
R_{CU}	73,0	64,8	36,1	23,0	14,2	8,7	6,3	3,0	2,0	1,0					
R_{NICK}	73	53,1	43,4	37,0	32,0	27,0	24,0	21,0	18,3	16,0	14,5	12,5	11,7	9,6	9,0
$R_{роsp}$	73,0	54,0	40,0	30,0	23,0	18,0	15,0	12,0	11,0	10,7	10,4	10,0	10,0	9,5	9,0
$R_{вим}$	73,0	57,0	40,0	29,0	24,0	22,0	18,0	15,0	13,0	12,0	11,0	11,0	10,0	9,5	9,0

Визначення величини холодного контактного електричного опору та достовірне оцінювання його величини та її розкиду при контакті матеріалів різної твердості дозволяє, за рахунок визначення величини холодного контактного електричного опору для кожного матеріалу контактної пари встановити надійний діапазон варіації технологічно доцільного знамення зусилля стискання електродів зварювального пристрою, досягти стабільності і якості процесу формування контак-

тного микрозварного з'єднання, що забезпечує, з рештою рівних умов, підвищену експлуатаційну надійність микрозварних контактних з'єднань, в тому числі термоперетворювальних пристроїв. Оптимізація технологічних режимів зварювання термоперетворювачів на базі тугоплавких металів підтверджуються, в даних умовах експлуатації, надійністю безвідмовної роботи на рівні не гірше $Q=0,93$.