



УКРАЇНА

(19) UA (11) 42414 (13) A

(51) 7 G01K7/02, B23K11/02

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС

ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

видається під
відповідальність
власника
патенту

(54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ВЕЛИЧИНИ ХОЛОДНОГО КОНТАКТНОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО ОПОРУ

(21) 2001021219

(22) 20 02 2001

(24) 15 10 2001

(33) UA

(46) 15 10 2001, Бюл. № 9, 2001 р

(72) Білобородченко Володимир Іванович

(73) НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ "ЛЬВІВСЬКА
ПОЛІТЕХНІКА", UA, БІЛОБОРОДЧЕНКО ВОЛОДИ-
МИР ІВАНОВИЧ, UA

(57) Спосіб визначення величини холодного контактного електричного опору, в якому задають зусилля стиснення $P_{01}=1$ ДаН, затискаючи деталі між електродами зварювального пристрою, вимірюють величину холодного контактного електричного опору R_{01} , а далі збільшують зусилля стиснення до наперед заданого значення P_{0j} і вимірюють відповідне до нього значення холодного контактного електричного опору R_{0j} та визначають величину α - зв'язкового параметру між зусиллям стиснення та холодним контактним електричним опором, а потім визначають значення холодного контактного електричного опору для будь-якого зусилля стиснення діапазону $P_{01} \dots P_{0j}$, який відрізняється тим, що вимірюють величину холодного контактного електричного опору $R_{01}=R_{0min}$ при мінімально припустимому значенні зусилля стиснення $P_{01}=P_{0min}$, а величину опору R_{0j} з надійною імовірністю $Q=0,95$ для будь-якого значення зусилля стиснення P_{0j} , більшого за P_{01} , 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

$$M[F(P_0)] = aNB + b,$$

де a, b - поліноміальні коефіцієнти,

універсальним медіанним значенням параметру p кривини $M[p^*] = \bar{p}^* = 0,933 \pm 0,337$,

визначають параметр масштабу функції відмови

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

і значення для зусилля стиснення $P_{01}=P_{0min}$ та приорочення для решти значень зусиль стиснення

$$F(P_{01}) = 1 - \exp \left[- \frac{(P_{01})^{\bar{p}^*}}{\theta^*} \right],$$

$$\Delta F(P_0) = F(P_{0j}) - F(P_{0j-1}),$$

де

$$F(P_{0j}) = 1 - \exp \left[- \frac{(P_{0j})^{\bar{p}^*}}{\theta^*} \right] = 1 - \exp \left[- \left(\frac{P_{0j}}{M[F(P_0)]} \right)^{\bar{p}^*} \right],$$

а $j, j-1$ - порядкові ранги варіації значень зусилля стиснення P_{0j} ,

і відповідно холодний контактний електричний опір R_{0j} в межах довірного інтервалу за g -коефіцієнтами табуюльованого розподілу Вейбулла

$$R_{0j} = \frac{R_{01}}{F(P_{01})} [F(P_{0j}) - F(P_{0(j-1)})] = \frac{R_{01}}{F(P_{01})} [\Delta F(P_0)]$$

Винахід стосується виробництва мікрозварних точкових з'єднань радіоелектроніки та прецизійного приладобудування і може бути використаний у виготовленні зварного "гарячого спаю" термоперетворювачів, в тому числі з тугоплавких металів та сплавів, що застосовуються у вимірюванні температур високоенергетичних об'єктів

Відомий спосіб визначення величини холодного контактного електричного опору, в якому задають зусилля стиснення $P_{01}=1$ ДаН, затискаючи деталі між електродами зварювального пристрою, вимірюють величину холодного контактного електричного опору R_{01} , а далі збільшують зусилля стиснення до наперед заданого значення P_{0j} і ви-

мірюють, відповідно до нього, значення холодного контактного електричного опору R_{0j} та визначають величину α - зв'язкового параметру між зусиллям стиснення та холодним контактним електричним опором, а потім визначають значення холодного контактного електричного опору для будь-якого зусилля стиснення діапазону $P_{01} \dots P_{0j}$ (Моравський В.Э. Особенности определения исходных данных для расчета холодного переходного контактного сопротивления // Автомат сварка - 1988 - № 11 - С 32-35, Моравский В.Э. Методика определения переходного сопротивления в холодном контакте // Автомат сварка - 1990 - № 4 - С 24-29)

Таким чином, визначення величини холодного контактного електричного опору деталей R_{01} , затиснутих між електродами зварювального пристрою, проводиться вимірюванням значень опорів в двох точках діапазону коливання технологічно доцільного зусилля стискання електродів P_{01} та P_{0j} і визначається аналітично через α - зв'язковий параметр за формулою

$$\alpha = \lg(R_{01}/R_{0j})/\lg(P_{01}/P_{0j}), \quad (1)$$

та подальшого розрахунку очікуваної величини опору за степеневою функцією

$$R_{0i} = R_{01}/P_{01}^\alpha, \quad (2)$$

де

R_{01}, R_{0i} - перехідні опори при даному зусиллі P_{01} і нормованому $P_{01}=1$ ДаН,

α - зв'язковий параметр

В основі лежить припущення про еквівалентність різниці отриманих значень α ($0 < \alpha < 1$) для даних P_{01} та $P_{0i}=1$ ДаН, конкретному стану контактної поділу для повного діапазону технологічних значень P_0

Для задач мікрозварювання використання (1) стає суперечливим через подібність перерізу деталей і показників шорсткості поверхні, збіжність електричних опорів мікровиступів і областей стягування вимірювального струму, комутації струму через декілька локалізованих площинок провідності, неоднорідність провідності плівок, нестаціонарність і неізотропність полів контактних напружень, збіжність площини контактування з розмірами деталей, нелінійність загальної області стягування в їх перерізі, співмірність (перевищення) робочої поверхні струмокомутуючих електродів зварювального пристрою з геометричними показниками деталей

Така невизначеність у виборі величини параметру α надійно підтверджується статистичним обробленням його значень через оцінку середнього їх варіаційного ряду непараметричними методами, надійними для широкого класу моделей статистичних розподілів. Зокрема, за даними з наведених джерел, отримані медіана $x_{med}=0,40$, напівсума кватилів $x_{1/4}=0,4425$, середнє арифметичне $x_c=0,419$, напівсума розмаху $x_R=0,45$, сильно зрізане середнє $x_{0.25}=0,363$. Медіана таких оцінок $x(\alpha)=0,419$ є інваріантною до виду розподілу та захищеною від похибок. Для довірчої імовірності $Q=0,9$ інтервал невизначеності оцінки центру становить $\pm \Delta_{0.9(x)} = \pm 0,09$

Для 85 % різномірних контактних пар зварних матеріалів щільність імовірності $f(\alpha)$ розподілу параметру α може бути апроксимована розрахованою експоненційною моделлю

$$f(\alpha) = 10 \exp \left[-|\alpha/0,091|^{0,68} \right] \quad (3)$$

Так, для різковідмінних алюмінію та сталі практичні значення параметру α становлять $\alpha_{алюм}=0,8$, $\alpha_{ст}=0,7$, оцінки s_k в $S_e(\alpha)_{сталь}=0,033$, $S_e(\alpha)_{алюм}=0,03$. Тільки застосування ε - критерію Хогга-Прескотта дозволяє впевнено розрізнити статис-

тичні оцінки середніх для сталі адекватність до сильно зрізаного середнього $x_{0.25}$ ($\varepsilon=1 < \varepsilon^*=2$), для алюмінію - середньому арифметичному x_c ($\varepsilon=2,25 < \varepsilon^*=2.4$)

Таким чином, спроба уточнення параметру α і підвищення надійності визначення величини початкового контактного опору R_{0i} для прийнятих припущень (1,2) не має практичного значення в діапазоні зусиль стискання, характерних у мікрозварюванні

В основу винаходу поставлено задачу створення способу визначення холодного контактного електричного опору, в якому достовірне оцінювання його величини та її розкиду дозволило б досягти стабільності і якості процесу формування контактної мікрозварної з'єднання і в тому числі підвищити експлуатаційну надійність термоперетворювачів

Поставлена задача вирішується тим, що в способі визначення величини холодного контактного електричного опору, в якому задають зусилля стискання $P_{01}=1$ ДаН, затискаючи деталі між електродами зварювального пристрою, вимірюють величину холодного контактного електричного опору R_{01} , а далі - збільшують зусилля стискання до наперед заданого значення P_{0j} і вимірюють відповідне до нього значення холодного контактного електричного опору R_{0j} , та визначають величину α - зв'язкового параметру між зусиллям стискання та холодним контактним електричним опором, а потім визначають значення холодного контактного електричного опору для любого зусилля стискання діапазону $P_{01} \dots P_{0j}$, згідно з винаходом вимірюють величину холодного контактного електричного опору $R_{01}=R_{0min}$, при мінімально припустимому значенні зусилля стискання $P_{01}=P_{0min}$, а величину опору R_{0j} з надійною імовірністю $Q=0,95$ для любого значення зусилля стискання P_{0j} , більшого за P_{01} 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

$$M[F(P_0)] = aNB + b, \quad (4)$$

де

a, b поліноміальні коефіцієнти,

універсальним медіанним значенням параметру її кривини $M[p^*] = \bar{p}^* = 0,933 \pm 0,337$,

визначають параметр масштабу функції відмови

$$\theta^* = M[F(P_0)] \bar{p}^*, \quad (5)$$

і значення для зусилля стискання $P_{01}=P_{0min}$ та приращення для решти значень зусиль стискання

$$F(P_{01}) = 1 - \exp \left[-\frac{(P_{01})^{\bar{p}^*}}{\theta^*} \right], \quad (6)$$

$$\Delta F(P_0) = F(P_{01}) - F(P_{0j-1}) \quad (7)$$

де

$$F(P_{0i}) = 1 - \exp \left[- \frac{(P_{0i})^{\bar{p}^*}}{\theta^*} \right] = 1 - \exp \left[- \left(\frac{P_{0i}}{M[F(P_0)]} \right)^{\bar{p}^*} \right],$$

а $j, j-1$ - порядкові ранги варіації значень зусилля стискування P_0 ,

i , відповідно, холодний контактний електричний опір R_{0i} в межах довірчого інтервалу за g -коефіцієнтами табульованого розподілу Вейбулла

$$\begin{aligned} R_{0j} &= \frac{R_{01}}{F(P_{01})} [F(P_{0j}) - F(P_0(j-1))] = \\ &= \frac{R_{01}}{F(P_{01})} [\Delta F(P_0)] \end{aligned} \quad (8)$$

Контактне точкове мікрозварювання деталей з технологічно доцільним зусиллям стискування, встановленим за попередньою статистичною надійною визначенням холодним контактним електричним опором, дозволяє в значній мірі запобігти виплесковому характеру формування зони зварювання, внаслідок чого зменшити дефектність зварних з'єднань, забезпечити стабільність та якість процесу і тим самим підвищити експлуатаційну надійність термоперетворювачів

На фіг. наведені статистично надійні результати практичної апробації способу визначення величини холодного контактного електричного опору для контактної групи мідь M1 $d=0,1$ мм+сталь X18H9T $\delta=0,1$ мм, де 1 - визначене значення величини холодного контактного електричного опору, 2 - границі довірчого інтервалу зміни значення опору, визначені за g -коефіцієнтами розподілу Вейбулла, 3 - значення величини холодного контактного електричного опору, визначені вимірюванням стандартними інструментальними засобами для даних значень зусилля стискування

Спосіб прогнозування величини холодного контактного перехідного електричного опору здійснюють так. Для складених в контакт матеріалів, з мінімально доцільним технологічним значенням P_{01} зусиллям стискування електродів зварювального пристрою, проводять інструментальними стандартними засобами практичне вимірювання величини електричного опору R_{01} , а далі, на базі відомого закону розподілу функції відмови контактної групи, а саме універсальних значеннях математичного очікування її параметра кривини $M[p^*] = \bar{p}^* = 0,933 \pm 0,337$ і лінійному поліноміальному зв'язку між твердістю HB контактної матеріалу та математичним очікуванням функції відмови розраховують як оцінку параметру масштабу функції відмови так, власне, розподіл самої функції відмови в діапазоні технологічно доцільних значень зусилля стискування і визначають статистично надійне значення холодного контактного електричного опору. Довірчий інтервал зміни визначеної величини холодного контактного електричного опору обраховується за g -коефіцієнтами табульованого розподілу Вейбулла

Складені в механічний контакт з зусиллям стискування P_0 термоелектроди, за вимірювальним струмовим сигналом та надійністю збереження даного рівня провідності, є системою з n -паралельно з'єднаних елементів, імовірність відмови яких

збігається до 3-го граничного в класі експоненційних розподілів W -розподілу Вейбулла. За надійністю навантажений зусиллям стискування контакт є невідновлювальною системою через постійну зміну рельєфу, що в загальному вигляді характеризується співвідношенням провідних та ізолюваних сигнальних зон. Відповідно до положень теорії надійності такий ситовий електричний контакт є системою з n -паралельно з'єднаних елементів. Імовірність відмови кожного з них $F_i(P_0)$ оцінюється в першому наближенні, через формування плям провідності різного типу. Тоді для контактної системи в цілому імовірність відмови становить $F_1^n(P_0)$. Якщо надійність кожного з n -елементів підкоряється експоненційному закону з однаковим λ -масштабним параметром розподілу, то надійність контактної системи становить

$$\begin{aligned} P(P_0) &= 1 - F_1(P_0)^n = \\ &= \exp \left[- \lambda P_0^n \right] \cong \exp \left[- \left(\frac{P_0}{a} \right)^b \right], \end{aligned} \quad (9)$$

де

a, b - параметри масштабу та форми розподілу

Тоді відмова контакту для певного P_0 є змінною рівня провідності, адекватною імовірності відмови $F(P_0)$, остання є неперервною, тому й неперервна щільність відмови $q(P_0)$, яка повно описує щільність імовірності розподілу існування безвідмовного стану контакту. Звідси чинне узагальнення оскільки значення (P_0) є випадковою величиною з щільністю імовірності $\varphi(P_0)$, а зміна провідності g контакту є монотонною функцією від зусилля стискування, то щільність імовірності $f(x)$ розподілу провідності можна визначити як

$$f(x) = f(g) = \frac{\varphi \text{Rev}(g)}{\text{Rev}^*(g)} \quad \text{або} \quad f(g) = \frac{F(P_0)}{q(P_0)},$$

$$\text{звідки} \quad R_{0n}(P_{0n}) = R_{0s}(P_{0s})q(P_0), \quad (10)$$

де

$[\text{Rev}(g)], \text{Rev}^*(g)$ - зворотна функція до P_0 та її похідна

Отже, розв'язок задачі визначення щільності імовірності розподілу функції відмови збігається до встановлення раціоналізованих $p^*=b, \theta^*=a^{p^*}$ -оцінок параметрів W -розподілу. Для відірної імовірності $Q=0,9$ та нульовому значенні її лінеаризованого уявлення функція розподілу відмови має математичне очікування оцінки параметру кривини $M[p^*] = \bar{p}^* = 0,933 \pm 0,337$

Із зростанням зусилля стискування P_0 функція відмови $F(P_0)$ контактної системи неперервна через зміну топологічних показників контакту, відповідно неперервна щільність імовірності відмови, котра найбільш повно описує зростання провідності у вигляді закону зміни холодного контактного електричного опору та статистично узгоджується з дослідними даними в межах розрахованих надійних інтервалів

$$\begin{aligned} R_{0n}(P_{0n}) &= \\ &= R_{0s}(P_{0s}) \left(\frac{p^*}{a^{p^*-1}} \right) \frac{P_{0n}^{p^*-1}}{a} \exp \left[- \left(\frac{P_{0n}}{a} \right)^{p^*} \right], \end{aligned} \quad (11)$$

де

$a = p^* / \sqrt{\theta^*}$, задовольняє балансу розмірностей

θ [Дан], P_{0n} [Дан], R_{0S} (P_{0S}) [МОм], p^* , θ^* - нормалізовані оцінки параметрів кривини та масштабу розподілу,

$R_{0n}(P_{0n}) = \sum R_{0j}(P_{0j})$, $P_{0j} \leq P_{0n}$ - накопичений контактний перехідний опір для P_{0n} - значення зусилля стиснення,

R_{0S} (P_{0S}) - накопичений сумарний опір контактного переходу,

P_{S0} - максимальне значення зусилля стиснення

Функція розподілу для зусилля стиснення $P_{0min} = P_{01}$ (P_{01} - перше з діапазону технологічно доцільних зусиль стиснення електродів) визначається

$$F(P_{01}) = \frac{R_{01}}{R_{0S}},$$

$$\text{або} \quad R_{0S} = \frac{R_{01}}{1 - \exp[-(P_{01}/F(P_0))^p]} \quad (12)$$

де

R_{0S} - накопичене прогнозоване значення опору для діапазону $P_{01} \dots P_{0x}$ ($P_{0x} = P_{0max}$)

Із зміною зусилля стиснення з постійним кроком ΔP_0 від малого $P_{0min} = P_{01}$ до великого

$P_{0x} = P_{0max}$ функція розподілу приростає

$$\begin{aligned} F(P_{02}) &= \frac{R_{02} + R_{01}}{R_{0S}}, \\ F(P_{03}) &= \frac{R_{03} + (R_{02} + R_{01})}{R_{0S}}, \end{aligned} \quad (13)$$

$$F(P_{0n}) = \frac{\sum_{i=1}^n R_{ei}}{R_{0S}},$$

або

$$\begin{cases} \Delta F(P_0)^1 = F(P_{02}) - F(P_{01}), \\ \Delta F(P_0)^2 = F(P_{03}) - F(P_{02}) = \\ = F(P_{03}) - [F(P_{01}) + \Delta F(P_0)^1] \\ \Delta F(P_0)^z = F(P_{0n}) - F(P_{0(n-1)}) = \\ = F(P_{0n}) - \left[F(P_{01}) + \sum_{k=1}^{z-1} \Delta F(P_0)^k \right] \end{cases} \quad (14)$$

З іншого боку прирощування становить $\Delta F(P_0)^k$ функції розподілу через її оцінку відповідно (12) становить

$$\begin{aligned} \Delta F(P_0)^1 &= \frac{R_{02}}{R_{0S}}, \quad \Delta F(P_0)^2 = \frac{R_{03}}{R_{0S}}, \\ \Delta F(P_0)^z &= \frac{R_{0n}}{R_{0S}}, \end{aligned} \quad (15)$$

звідки

$$\begin{aligned} R_{0n} &= R_{0S} \Delta F(P_0)^z = \\ &= R_{01} \left[\frac{F(P_{0n})}{F(P_{01})} - 1 - \frac{\sum_{k=1}^{z-1} \Delta F(P_0)^k}{F(P_0)} \right], \end{aligned} \quad (16)$$

або в загальному виді з врахуванням (13) (16)

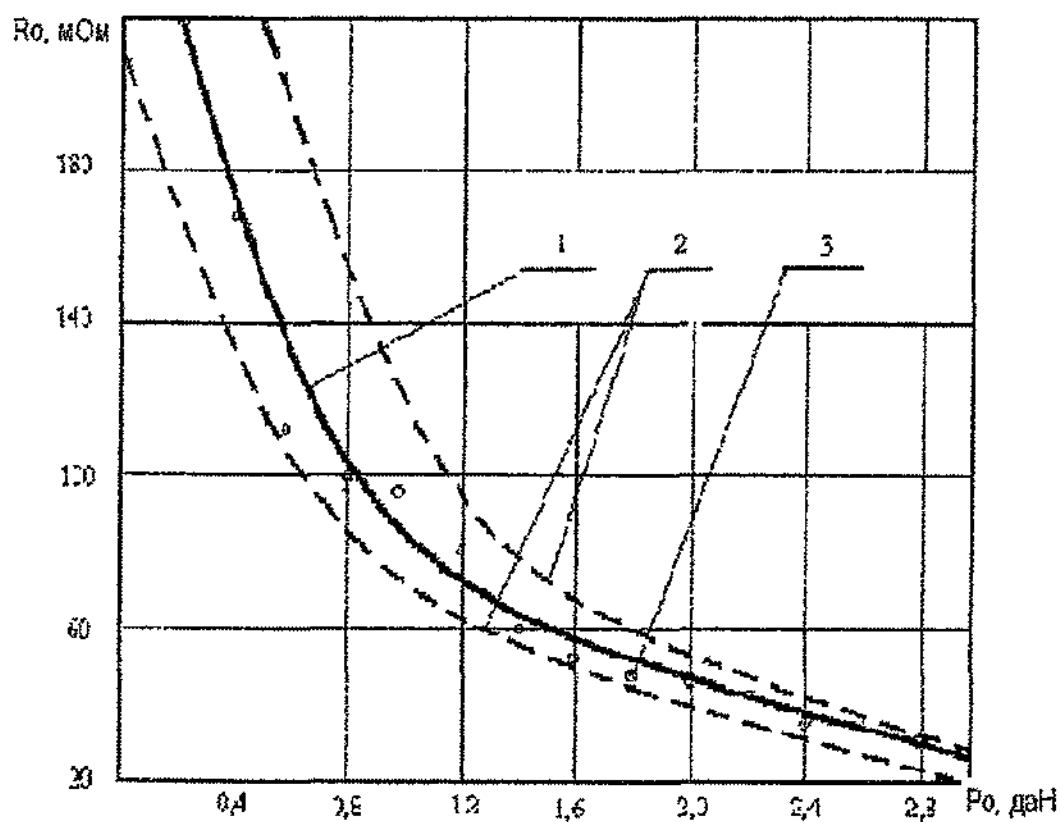
$$R_{0j} = \frac{R_{01}}{F(P_{01})} [F(P_{0j}) - F(P_{0(j-1)})] \quad (17)$$

де

j - порядковий ранг варіації зусилля стиску P_{0j} , для якого прогнозується величина початкового контактного опору R_{0j} ,

z , k - порядкові ранги прирощування емпіричної функції розподілу ($k < z$)

Спосіб визначення величини холодного контактного електричного опору є обов'язковою складовою забезпечення стабільності і якості показників процесу оптимізації технологічних режимів зварювання термоперетворювачів на базі тугоплавких металів, якість зварного "гарячого спаю" яких підтверджуються в даних умовах експлуатації надійністю безвідмовної роботи на рівні не гірше $Q=0,93$



Фіг.

ДП "Український інститут промислової власності" (Укрпатент)
 Україна, 01133, Київ-133, бульв. Лесі Українки, 26
 (044) 295-81-42, 295-61-97

Підписано до друку _____ 2002 р. Формат 60x84 1/8
 Обсяг _____ обл.-вид арк. Тираж 50 прим. Зам. _____

УкрІНТЕІ, 03680, Київ-39 МСП, вул. Горького, 180
 (044) 268-25-22