

Секція 1

ВІБРАЦІЙНІ МАШИНИ ТА ВІБРОТЕХНОЛОГІЇ В АВТОМАТИЗОВАНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

УДК 621.791.763

В.І. БІЛОБОРОДЧЕНКО

Національний університет “Львівська політехніка”

ВІБРАЦІЙНА СТАБІЛІЗАЦІЯ ПОЧАТКОВОГО КОНТАКТНОГО ОПОРУ ПІД ЧАС КОНДЕНСАТОРНОГО ЗВАРЮВАННЯ ТЕРМОПЕРЕТВОРЮВАЧІВ НА ОСНОВІ ВОЛЬФРАМ-РЕНІЄВИХ СПЛАВІВ Ч. II

© Білобородченко В.І., 2012

Наведено результати модельного оптимізаційного дослідження впливу установчих параметрів вібраційної системи та установчих параметрів зварювальної установки на формування відтвореного заданого рівня контактної провідності складених у конструктивний вузол термогальванодротів з тугоплавких сплавів.

In-process the brought results over of model optimization research of influence of constituent parameters of the oscillation system and constituent parameters of the welding setting on forming of the recreated set level of pin conductivity of the galvanic wires made in the structural knot of thermal from refractory alloys.

Постановка проблеми. Оптимальні експлуатаційні властивості термозондів з ТГД на підставі вольфрам-ренієвих сплавів (задані механічна міцність та метрологічні показники) досягаються під час їх виконання у вигляді моно- та двоточкового зварного нероз’ємного релейного (за термострумом) з’єднання, виготовленого контактним точковим конденсаторним мікрозварюванням [1].

Стабільність та відтворюваність на заданому рівні результатів з рештою рівних умов корелюються з обраними значеннями його установчих технологічних параметрів, особливостями зміни поточних параметрів процесу формування з’єднання, реакцією матеріалу ТГД на термодеформаційний цикл зварювання.

Механічні випробовування крученням таких виробів [2] демонструють, що різка відмінність за якістю з’єднання узалежнюється: а) особливістю зміни фізико-механічного стану матеріалу ТГД у процесі його технологічного оброблення; б) конструктивним виконанням зварного з’єднання; в) стабілізацією рівня початкової гальванічної провідності ТДГ, складених у контактний вузол перед зварюванням.

Останнє, за незмінності установчих параметрів режиму, зумовлює дійсний термодеформаційний цикл зварювання та наслідки його дії на експлуатаційні властивості термозондів.

Відповідні випробовування засвідчили, що попередній рекристалізаційний відпал ТДГ, з метою поліпшення їх пластичних властивостей для кращої стабілізації початкової провідності у контакті, негативно впливає на експлуатаційну надійність виробу незалежно від конструктивного виконання з’єднання – погіршення несучої механічної здатності для моно- та двоточкових з’єднань відповідно у 4...1,3 рази. Крім того, термооброблення катастрофічно погіршує метрологічні

показники виробу. Відповідно і використання теплової дії струму підігрівання у комбінації зі струмом зварювання є обмеженим, а деколи неприпустимим [3].

Використання установчих механічних параметрів процесу контактного мікрозварювання (зусилля стискання електродів) для стабілізації провідності має об'єктивне обмеження через технологічно необхідну термодформаційну узгодженість з часовим перерозподілом теплових генераторів за роботи струму зварювання на контактні опори та деталі під час точкового зварювання [4].

Аналіз досліджень з питань стабілізації початкової контактної провідності складених ТГД. У [5] продемонстровані позитивні результати впливу механічного тангенційного силового вібраційного навантаження, попередньо складеного у контактний вузол ТГД, на стабілізацію рівня його контактної провідності. Встановлені умови двох видів граничного тертя, що виникають залежно від комбінації силових чинників – зусилля стискання електродів, між якими розміщений вузол, та зусилля вібраційного навантаження, зумовленого частотою та амплітудою дії вібраційного блока.

Проте слід зауважити, що виявлені два види тертя – спокою та ковзання – не є чітко детермінованими в усьому діапазоні зміни вищевикладених параметрів режиму вібраційної стабілізації контактної провідності. Вони узалежнюються кутом складання ТГД у вузол, їх діаметром, обмеженнями величини зусилля стискання, яке є технологічним установчим параметром режиму зварювання, та технологічно доцільним часом дії вібраційного впливу.

Останнє підтверджується різним характером зміни контактної провідності – від зменшення порівняно початкового статичного (прикладання лише зусилля стискання) або від збільшення після припинення дії вібраційного впливу перед пропусканням імпульсу струму зварювання [5].

Мета роботи. Обмеження, що накладаються на величину зусилля стискання та час дії вібраційної системи (інтенсивність циклу зварювальної установки – 2 звар/с), різне конструктивне виконання контактної вузла термозонду вимагають дослідження оптимального розподілу установчих параметрів циклу стабілізації контактної провідності та визначення оптимальної величини її оцінки за контактним опором, за яких досягається відтворюваність експлуатаційних показників виробу на заданому рівні.

Виклад основного матеріалу. Можливість досягнення певної відтворюваної величини провідності контактної вузла вібраційним прикладанням зсувного зусилля досліджена модельними описами процесу фрикційного формування топології контакту.

Параметри (модельні незалежні фактори), що завдають фрикційні процеси: напруга збудження вібратора $U_B=x_1$ (варіація 50...250 В); зусилля стискання електродів $P_e=x_2$ (0,2...4 Дан); частота збудження вібратора $f_B=x_4$ (28...500 Гц); кут зведення ТГД $\alpha=x_3$ ($20^0 \dots 90^0$); діаметр ТГД $d=x_5$ (0,1...0,3 мм).

Відгуки, що характеризують реакцію контакту: $\Delta t(c)=Y_1$ – інтервал часу переходу від початкового (статичного) R_{on} контактної опору до усередненого значення опору $\bar{R}_v, (R_B)$, встановленого під дією вібрації; $Y_2 [\Delta R_1 (МОМ)] = (R_{on} - R_{ok})$, де R_{ok} – контактний опір після вимикання вібратора; $Y_4 [\Delta R_2 (МОМ)] = (R_{on} - \bar{R}_v)$; $Y_6 [\Delta R_3 (МОМ)] = (R_{ok} - \bar{R}_v)$; $Y_3 [\bar{R}_v (мм)]$; $Y_5 [R_{ok} (МОМ)]$.

Відповідна сукупність модельного уявлення формування топології контакту подана регресійними рівняннями:

$$Y_1 = 0.804 - 0.252x_1 + 0.257x_2 + 0.022x_3 + 0.079x_5 + 0.22x_1x_2 + 0.0778x_1x_3 + 0.057x_1x_4 + 0.1x_1x_5 - 0.106x_1^2 - 0.041x_2x_3 - 0.029x_2x_4 + 0.032x_2x_5 - 0.017x_2^2 - 0.051x_3x_4 - 0.014x_3x_5 + 0.264x_3^2 - 0.003x_4x_5 + 0.216x_4^2 + 0.227x_5^5; \quad (1)$$

$$Y_2 = 2.566 + 13.25x_1 - 14.807x_2 + 4.763x_3 + 5.8x_4 - 8.135x_5 - 17.687x_1x_2 + 8.562x_1x_3 + 3.754x_1x_4 - 11.966x_1x_5 - 3.455x_2x_4 + 4.692x_2x_5 + 7.788x_3x_4 - 4.375x_4x_5; \quad (2)$$

$$Y_3 = 19.605 - 5.852x_1 - 28.39x_2 + 9.5x_3 - 8.81x_4 - 8.765x_5 - 7.199x_1x_2 - 6.54x_1x_3 + 11.421x_1x_4 - 10.702x_2x_3 + 7.568x_2x_4 + 14.077x_2x_5 - 11.215x_3x_5 + 4.656x_4x_5; \quad (3)$$

$$Y_4 = 0.079 + 24.336x_1 - 29.759x_2 + 16.729x_3 + 19.079x_4 - 21.393x_5 - 32.36x_1x_2 + 18.994x_1x_3 + 20.935x_1x_4 - 23.561x_1x_5 - 11.844x_2x_3 - 15.083x_2x_4 + 17.264x_2x_5 + 17.657x_3x_4 - 14.818x_3x_5 - 11.859x_4x_5; \quad (4)$$

$$Y_5 = 11.901 - 2.408x_1 - 33.739x_2 + 19.662x_3 + 8.021x_4 - 12.677x_5 - 0.699x_1x_2 + 6.507x_1x_3 + 18.682x_1x_4 - 10.935x_1x_5 - 18.381x_2x_3 + 14.801x_2x_5 + 8.481x_3x_4 - 14.735x_3x_5; \quad (5)$$

$$Y_6 = -2.698 + 5.33x_1 - 8.541x_2 + 13.094x_3 + 13.175x_4 - 9.839x_5 - 8.635x_1x_2 + 13.119x_1x_3 + 16.173x_1x_4 - 9.059x_1x_5 - 12.322x_2x_3 + 11.813x_2x_4 + 8.714x_2x_5 + 7.304x_3x_4 - 13.391x_3x_5 - 10.507x_4x_5. \quad (6)$$

Аналіз моделей демонструє, що установчі параметри вібросистеми (U_B, f_B) та режиму зварювання (P_e) за цього конструктивного виконання контактної пари ТГД (α, d) повинні забезпечити мінімізацію відгуків $\Delta t, \bar{R}_v, (R_B), R_{ok}$ за максимально можливого розкиду відгуків ΔR_i , де $i=1 \dots 3$ (вплив дестабілізації твердості матеріалу ТГД, умов складання вузла тощо).

Графічна інтерпретація модельних відгуків (рис. 1–3) передбачає обмеження на ефективне використання P_e як через задоволення вимог до режиму зварювання, так й через зміну характеру фрикційних процесів у контактному поділі ТГД ($P_e > 2$ даН). Останнє підтверджується екстремумами функцій Y_{iext} за лінійними ефектами моделей (рис. 1, 2, а, 3, а).

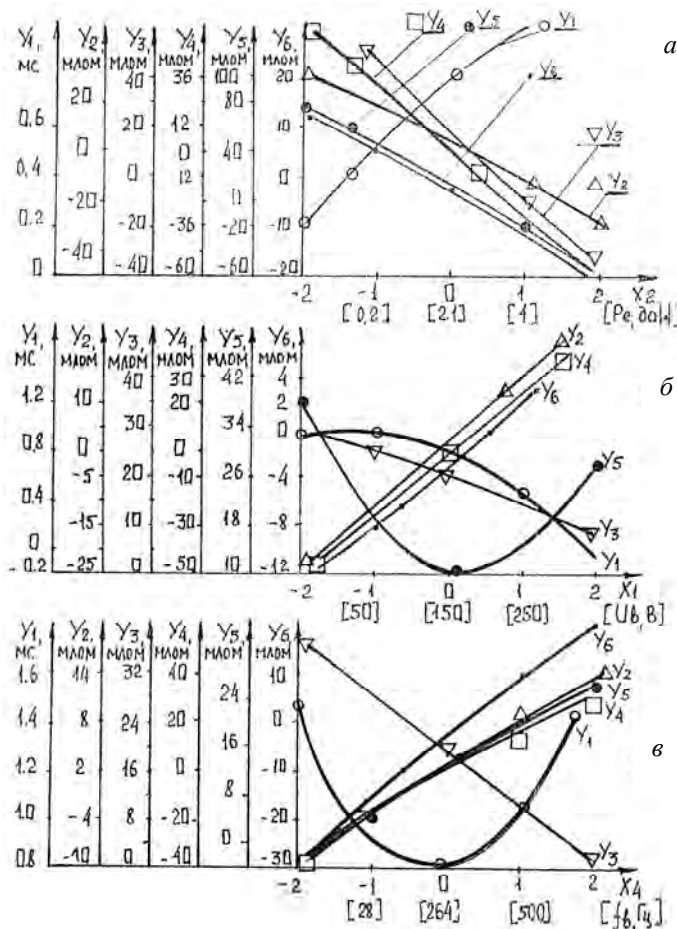


Рис. 1. Залежність відгуків Y_i ($i=1 \dots 6$) зміни початкового контактного опору від установчих параметрів вібраційної системи (U_B [В], f_B [Гц]) та зусилля стиснення електродів (P_e [даН])

Однозначно позитивний вплив на формування рівня відгуку має лише напруга збудження U_B , решта незалежних факторів (f_B, P_e) та ефекти їх взаємодії ($x_i x_j$) обмежені за величиною через конструктивні параметри контактної вузла ТГД (α, d) та невиконання вищезазначених умов мінімізації. Це вказує на різнобічність фрикційних процесів у контакті за наявності зсувних деформацій, що є характерним за одночасної дії зусилля стискання та тангенційного зусилля вібростеми. Порівняно з R_{on} значення контактних опорів \bar{R}_v, R_{ok} є більшими (відсутність максимумів моделей ΔR_i у полі експерименту). Підвищення зусилля стискання ефективно нівелює вплив конструктивного фактора α (ефект взаємодії $x_2 x_3$ – рис. 2, д), проте за кута зведення ТГД $\alpha=90^\circ$ забезпечення умови \bar{R}_v, min за решти рівних умов неможливе. Аналогічна дія частоти вібратора f_B (ефект взаємодії $x_3 x_4$ (рис. 2, є)). Збільшення частоти призводить до зростання швидкості взаємозміщення ТГД по поверхневих плівках [6] і відповідно проковзування без їх руйнування (втирання); отже, ефективність дії вібростеми спадає, а час встановлення значення Δt бажаного стабілізованого рівня \bar{R}_v зростає.

Остання умова виконується через взаємодію факторів f_B, P_e (рис. 2, е), проте ефективність впливу P_e є переважаючою. Напруга збудження U_B в діапазоні значень 150...250 В мінімізує відгук Δt та уподібнює значення \bar{R}_v і R_{ok} , що дає змогу принципово проводити зварювання у прикладеному віброполі.

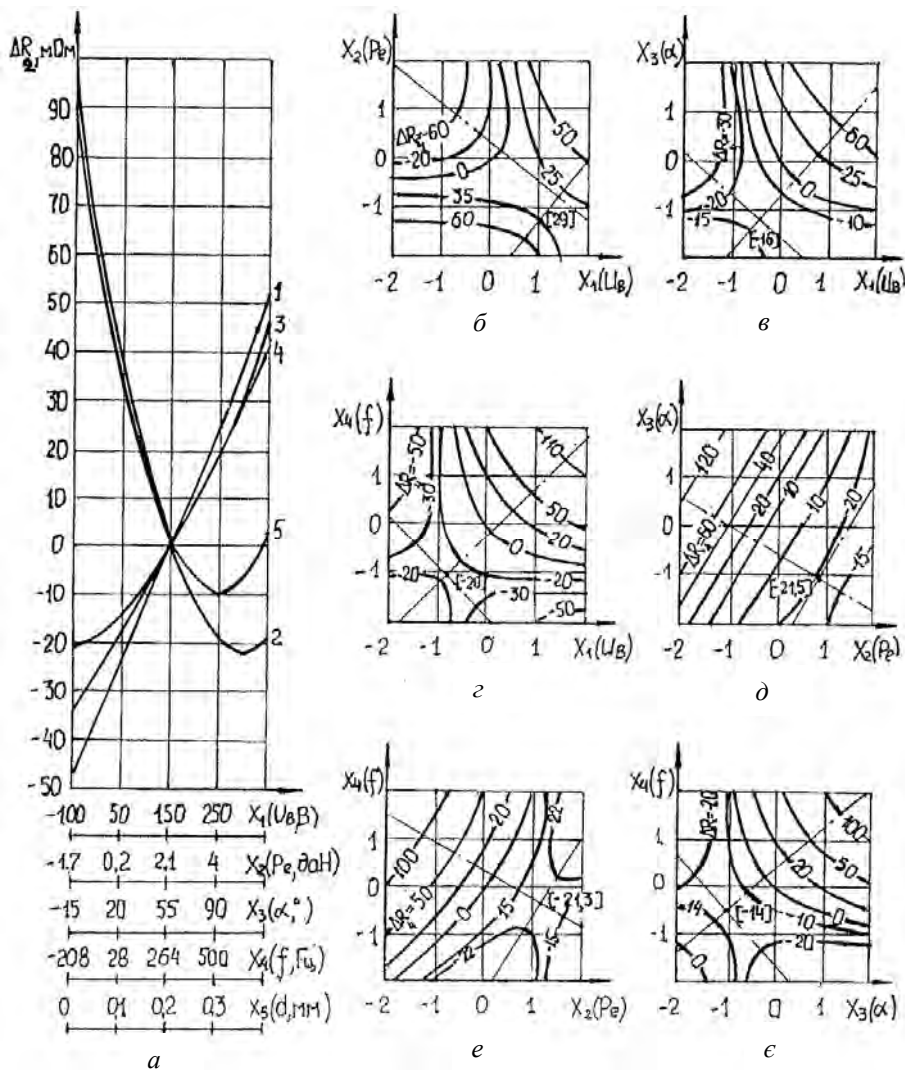


Рис. 2. Залежність відгуку оцінки зміни початкового контактного опору $Y_4 [\Delta R_2]$ від конструктивних ($a [x_3, d[x_5]$) параметрів складання у контакт ТГД, установчих параметрів вібростеми ($U_B [x_1], f_B[x_4]$), зусилля стискання електродів ($P_e [x_2]$) (а) та за їх парного взаємовпливу $x_i x_j$ (б...є)

Позитивний вплив напруги пов'язаний із зростанням тангенційної складової силового навантаження контактної поділу ТГД. У такому випадку умова утворення центрів схоплення по плямах провідності [4, 5] виконується на усьому діапазоні зміни P_e . На відміну від варіації у плані експерименту величини зусилля стискання кінцеві значення контактних опорів \bar{R}_v, R_{ok} та їх перепад ΔR_i у 2...10 разів більші. Останнє зумовлено прискореним накопиченням продуктів витирання у контактному поділі та їх превалюючим впливом на формування його провідності. Зростання P_e (ефект x_1x_2 – рис. 2, б, 3, б) послаблює їх вплив за рахунок процесу диспергування та часткового укорінення продуктів витирання у поверхню контактних матеріалів з одночасним вирівнюванням їх твердості [6]. Непрямим показником такого механізму дії є істотний вплив кута зведення ТГД (ефекти взаємодії x_1x_3, x_2x_3 – рис. 2, в, д; рис. 3, в, д), який зумовлює початкові розміри позірної площі контакту A_n [4] та відповідно область нагромадження продуктів витирання.

Знаходження Δt_{min} за технологічно доцільних значень $\bar{R}_v < 10\text{мОм}$, $P_e < 2\text{даН}$, $\alpha=90^\circ$, $d=0,2\text{мм}$ реалізовано Φ_L -функцією Лагранжа:

$$\{\Phi_L = f_1(x_1, \dots, x_5) + \lambda f_2(x_1, \dots, x_5); \frac{\partial \Phi_L}{\partial x_i} = 0; \frac{\partial \Phi_L}{\partial \lambda} = 0, \quad (7)$$

де $f_1(x_1, \dots, x_5)$, $f_2(x_1, \dots, x_5)$ – основна (1) та допоміжна (2) функції; λ – невизначений коефіцієнт Лагранжа.

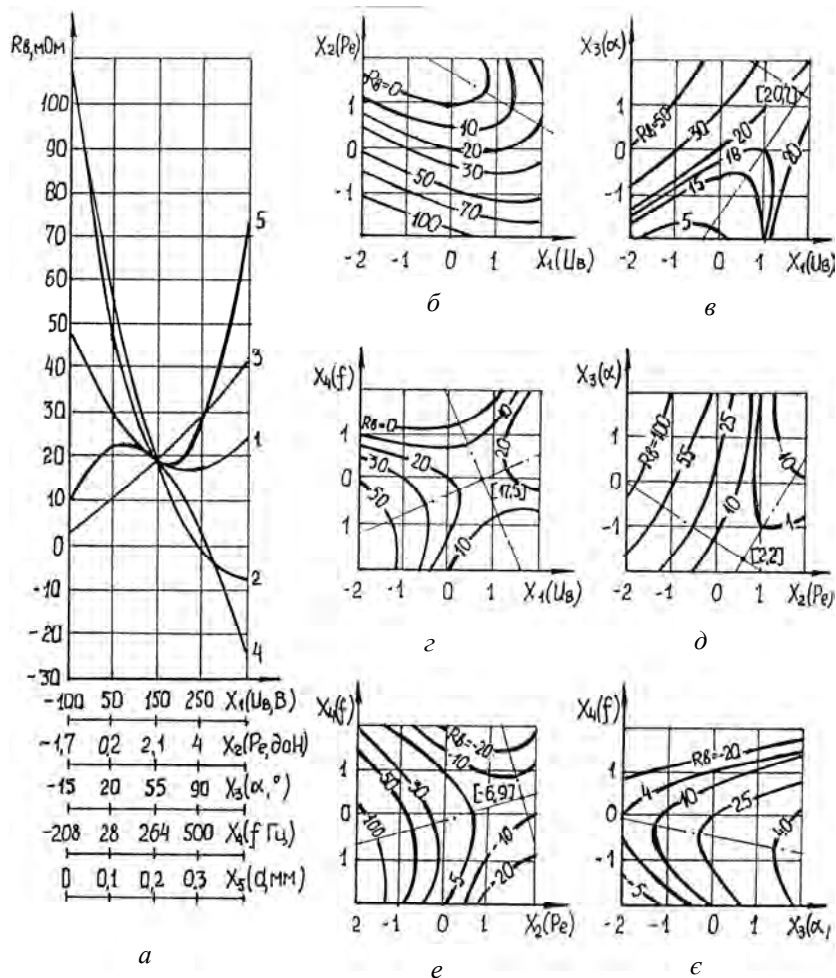


Рис. 3. Залежність відгуку оцінки зміни вібраційного контактної опору $Y_3 [\bar{R}_v]$ від конструктивних (а $[x_3]$, $d[x_5]$) параметрів складання у контакт ТГД, установчих параметрів вібросистеми ($U_B [x_1]$, $f_B [x_4]$), зусилля стискання електродів ($P_e [x_2]$) (а) та за їх парного взаємовпливу $x_i x_j$ (б...є)

Розв'язком (7) є $\Delta t_{min} = 0,46 \pm 0,02$ с; $U_B = 250$ В; $f_B = 26$ Гц, що добре узгоджується з моделлю (4). Остання є найпоказовішою, оскільки характеризує зміну опору від дії вібронавантаження. Її одно-мірні перерізи (рис. 2, а) демонструють таке: найвищий вплив на формування відгуку має зусилля стискання. За його зростання розкид ΔR_2 зменшується, проте в інтервалі $P_e = 2 \dots 4$ даН відгук приймає від'ємні значення (опір зростає). Це зумовлено зростанням сил тертя; протидія вібратора недостатня для фрикційного руйнування, утруднюється винос продуктів витирання з контактного поділу. Аналогічний вплив має ефект збільшення діаметра ТГД: через зростання A_n (з $14,9 \cdot 10^{-10}$ до $23 \cdot 10^{-10}$ м²) ефективність зсувних деформацій спадає. Параметри U_B, f_B, α (рис. 1, в, г, є; рис. 2, в, г, є) мають однозначний вплив на відгук – за їх зростання перепад опорів збільшується; вагомість факторів U_B, f_B має один порядок.

Аналіз двовимірних перерізів поверхні відгуку (рис. 2, б–є) скерований на пошук комбінації установчих параметрів, за якої керування їх мінімальною кількістю уможливорює зміну ΔR_2 за величиною та знаком ($\bar{R}_v \ll R_{on}$). Накладені конструктивні обмеження: $\alpha = 90^\circ$, $d = 0,2$ мм, $P_e = \text{const}$ дають змогу регулювати лише установчі параметри вібростеми – U_B, f_B . Проте взаємодія факторів x_1, x_4 (рис. 2, г) має мінімакський характер, що робить недоцільним регулювання рівня ΔR_2 одночасно з їх зміною. Стабілізація одного з них на середньому рівні забезпечує симетричну стосовно центральної точки поверхню відгуку та достатню варіацію величини $\Delta R_2 (Y_4)$ [$-20 \dots +20$ мОм] за рахунок дії другого параметра вібростеми.

Технічно простішим та ефективнішим за наслідками, як продемонстровано вище, є регулювання напруги збудження вібратора. За обмежень на конструкцію контактної вузла ($\alpha = 90^\circ \pm 15^\circ$) зміна напруги (рис. 2, в) призводить до зростання ΔR_2 – позитивна частина поля відгуку переважає [$-20 \dots +60$ мОм], що свідчить про гнучкість керування зазначеним параметром. У подібний спосіб можливе зростання поля керування [$-20 \dots 50$ мОм] частотою вібратора (рис. 2, є), проте неоднозначність наслідків фрикційних процесів та обмеженість виконання умови Δt_{min} заперечують широке практичне застосування такого параметра.

Висновки: 1. Вібраційне навантаження контактної вузла складених з заданим зусиллям стискання між електродами зварювальної установки ТГД створює умови формування відтвореної гальванічної провідності їх поділу на заданому рівні.

2. Оптимальний технологічний час $\Delta t_{min} = 0,46 \pm 0,02$ с встановлення стабілізованого рівня контактної гальванічної опору ТГД $\bar{R}_v = 6 \pm 1,5$ мОм забезпечується превалюючим впливом напруги збудження вібростеми у межах $150 \dots 200$ В за частоти коливань не більше 50 Гц (оптимум 26 Гц) та зусилля стискання електродів $2 \pm 0,23$ даН.

3. Подібність значень опору після припинення вібрації R_{ok} та в процесі її дії \bar{R}_v за умови забезпечення вищевикладеного дає змогу проводити зварювання ТГД під час дії вібростеми.

1. Куритнык И.П., Белобородченко В.И., Большаков М.В. *Современные технологии для изготовления терморпар / ТС.б. “Приборы и устройства для контроля и регулирования технологических процессов”*. – М.: Информприбор, 1990. – № 3. – 40 с. 2. Білобородченко В.І. *Механічні випробовування та обладнання для контролю якості мікрозварних. точкових контактних зварних з'єднань // Вісник НУЛП “Динаміка, міцність та проектування машин і приладів”*. – 2004. – № 509. – С. 11–17. 3. *Температурные измерения: справочник / Геращенко О.А., Гордов А.Н., Еремина А.К. и др.* – К.: Наук. думка, 1989. – 40 с. 4. *Технология и оборудование для точечной и рельефной конденсаторной сварки / В.Э. Моравский, Д.С. Ворона.* – К.: Наук. думка, 1985. – 272 с. 5. Білобородченко В.І. *Вібраційна стабілізація початкового контактної опору при конденсаторному зварюванні термоперетворювачів на базі вольфрам-ренієвих сплавів / Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні. Український міжвідомчий науко-технічний збірник.* – Вип. 45. – Львів, 2011. – С. 263–269. 6. Боуден Ф.П., Тэйбор Д. *Трение и смазка твердых тел.* – М.: Машиностроение, 1968. – 543 с.