

ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ТЕПЛООВОГО РОЗШИРЕННЯ МЕТАЛУ ПІД ЧАС ТОЧКОВОГО КОНДЕНСАТОРНОГО ЗВАРЮВАННЯ

© Білобородченко В.І., 2005

Розглянуто результати вимірювання параметрів теплового розширення металу під час точкового зварювання за допомогою системи фотострумової реєстрації швидкості переміщення рухомого електрода, показники якої можуть слугувати оцінками неруйнівного контролю якості формування зварного з'єднання.

Considered results of measuring of parameters of thermal expansion of metal at the point welding by the system of fotostroumovoi registration of speed of moving of mobile electrode, the indexes of which can poslougouvovati by estimations of undestructive control of quality of forming of the welded connection.

Сьогоднішні ще не розв'язано задачу неруйнівного 100 % контролю нероз'ємних з'єднань, отримуваних контактним точковим мікрозварюванням [1]. Стандартні способи неруйнівного контролю якості акустичними, електромагнітними зондувальними полями через особливості геометрії, широку гаму застосовуваних для виробів прецизійного приладобудування матеріалів не забезпечують достовірність отриманої інформації про параметри зварної зони [2].

Використання як інформаційно надійних сигналів ефектів, які супроводжують процес формування зварного з'єднання – таких, як власна акустична емісія зони зварювання та зміна зусилля стискання в момент переходу металу в інший агрегатний стан (локальне розплавлення), супроводжується певними об'єктивними труднощами. В першому випадку амплітуда та частотний спектр сигналу залежить від акустичної добротності зварюваного матеріалу, вимагає складної апаратної бази; проблематично їх виділити на фоні власних паразитних шумів зварювального контуру машини. Спосіб апробовано лише для вузького діапазону серійних виробів та матеріалів.

Контроль за процесом зміни зусилля стискання на електродах має відносно незначну чутливість, а, головне, не має прямого зв'язку між кінцевим результатом зварювання та явищами, що насправді відбуваються у зоні формування з'єднання. Для забезпечення прийняттого рівня чутливості використовують напівпровідникові тензодавачі р- або n- типу, сигнал яких є інваріантним до коливань температури та дії тангенційних складових сили стискання на консолі зварювальної машини [3]. Істотним недоліком вимірювальної бази вважають вплив наведених збурень від змінних електромагнітних полів струму зварювання.

Найдоцільніше використовувати для оцінювання якості таких з'єднань ефект теплового розширення металу (ТРМ) та супутніх йому процесів. Переміщення електродів у процесі нагрівання та розплавлення певного обсягу металу супроводжуються різкою зміною як зусилля стискання, так і переміщення рухомих мас силового контуру машини. Тобто, можна вважати, що переміщення верхнього електрода від ефекту теплового розширення металу найбільше характеризує процес розвитку ядра. Вважають, що кінематичні характеристики руху пропорційні середній миттєвій температурі у зварюваному контакті та не залежать від розкиду значень контактного переходу “електрод–деталь” [4]. З точки зору забезпечення надійності сигналу важливо отримати

максимальне переміщення рухомих мас, для чого є бажаним режим зварювання із мінімальним укоріненням електродів у деталі та незначні зусилля стискання, чому сприяють жорсткі режими зварювання.

Переміщення верхнього електрода, який фіксують відносно нерухомого корпусу машини, має бути еквівалентним переміщенню у зоні зварювання. Цього досягають лише за умови повної жорсткості консолі машини або незмінності зусилля стискання в процесі зварювання. Практично на серійному обладнанні, навіть за умови введення у силовий механічний контур машини підсилювальних елементів, ця вимога не виконується (рис. 1, 2).

Насправді фактичне значення зусилля стискання становить

$$P_E = P_{E0} + F_{in} + F_f - F_{ED}, \quad (1)$$

де P_{E0} – початкове, технологічно доцільне зусилля стискання електродів; F_{in} – сили інерції рухомих мас механізму стискання та елементів силового контуру машини; F_f – сили тертя рухомих елементів силового контуру; F_{ED} – сили електродинамічної взаємодії струмів у вторинному контурі машини.

Зміна зусилля стискання в часі зварювання становить

$$\Delta P_E = F_f + F_{in} - F_{ED}. \quad (2)$$

Значення сил інерції та електродинамічної взаємодії оцінюють осцилографуванням динамічної кривої $P_E(t)$ у режимі короткого замикання. Сила тертя у сучасних конденсаторних машинах з кульковими фрикційними парами є незначною; тому можна вважати, що $F_{in} = \Delta P_E - F_{ED}$.

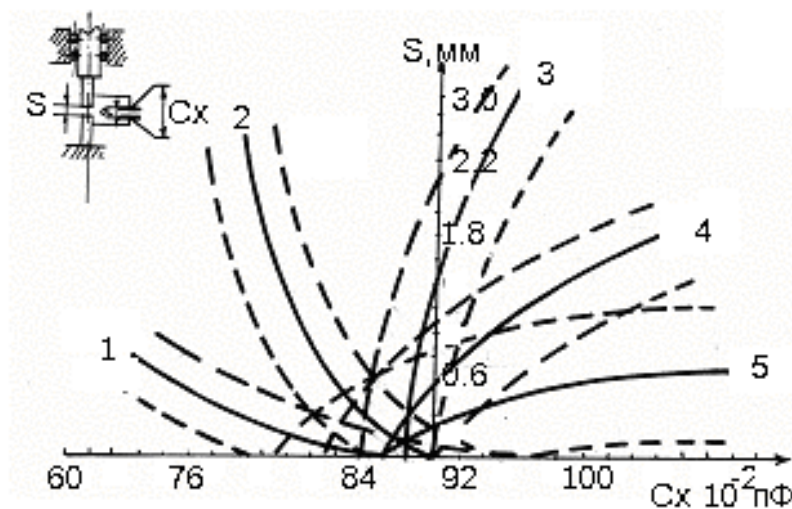


Рис. 1. Надійні інтервали ($Q=0,95$) та середні за чутливістю ємнісного давача переміщень за різних значень: площі –F конденсаторних пластин та відстані –a між ними:
 1 – $F=12 \text{ мм}^2$, $a=0,5 \text{ мм}$; 2 – $F=12 \text{ мм}^2$, $a=2,5 \text{ мм}$; 3 – $F=16 \text{ мм}^2$, $a=3,0 \text{ мм}$; 4 – $F=10 \text{ мм}^2$, $a=3,0 \text{ мм}$;
 5 – $F=40 \text{ мм}^2$, $a=3,0 \text{ мм}$

Аналізом реальних осцилограм доведено, що максимальне прискорення виникає у початковій момент зрушення верхнього електрода, а у момент найбільшого зміщення електрода у зворотному напрямку прямує до нуля, або за енергетики процесу, достатньої для ініціації виплеску, може набувати від'ємного значення.

За достатньої жорсткості силового контуру машини (для мікромашин характерна величина жорсткості $M=10 \text{ ДаН/мм}$), фіксується переміщення 7...12 % одинарної товщини деталей. Визнано,

що відхилення величини переміщення рухомих мас від номіналу чітко зазначає коливання діаметра ядра у межах $\pm 10\%$. Під час зварювання нерівних товщин і деталей різко відмінної форми переміщення буде більшим за рахунок прогрівання та абсолютного проплавлення товстої деталі або більшого укорінення циліндричних деталей.

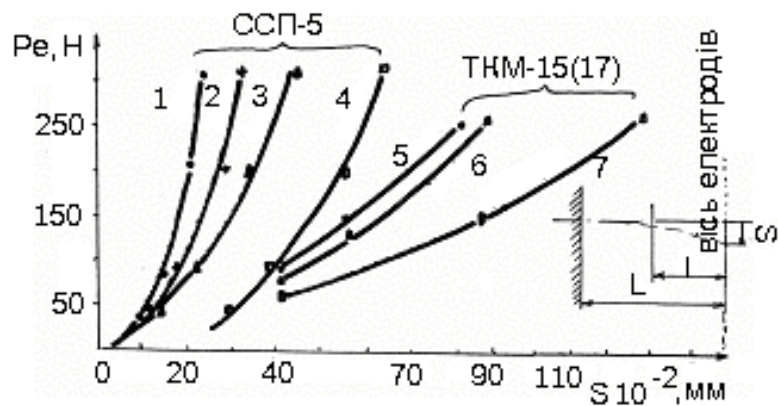


Рис. 2. Вплив розташування точки підсилення l
 (1 – 70мм; 2 – 100мм; 3 – 130мм; 4 – 150мм; 5 – 20мм; 6 – 50мм; 7 – 180мм)
 на зміну конструктивної жорсткості консолі нижнього електрода. довжиною L ;
 Pe – зусилля стискання електродів; S – прогин електродної консолі

Прояв переміщення має часову інерцію, залежну від жорсткості режиму зварювання, механічних характеристик матеріалу і форми деталей, що пов'язано із проходженням водночас двох процесів – теплового розширення металу та укорінення електродів за наявності тертя у рухомих елементах контуру. Часова інерційність зростає із збільшенням зусилля стискання та зменшенням діаметра робочої частини електродів. На величину переміщення також впливає власна твердість деталей і жорсткість режиму зварювання. За умови жорсткого режиму величина переміщення зростає швидше із більшим амплітудним значенням.

Системи реєстрації кінематики верхнього (рухомого) електрода, що базуються на механічному або електромеханічному перетворенні сигналу, є малоприматними для використання на устаткуванні для точкового мікрозварювання через власні габарити, масу, інерційність та збурення, які вони вносять у вторинний контур зварювальної машини [2].

З метою дослідження можливості використання для неруйнівного контролю якості мікрозварних точкових з'єднань ефектів ТРМ та кінематики рухомих мас зварювального контуру апробовано два типи давачів: ємнісні та фотоструменеві, конструкція та принцип дії яких практично виключають недоліки вищезгаданих систем [5].

Під час зварювання виробів малих товщин та перерізів почасти існує незначне переміщення електрода, тому тут важливою характеристикою реєстраційної системи є висока чутливість, навіть за об'єктивно нежорстких силових контурів серійного зварювального обладнання, а також адекватність вихідного сигналу справжній величині переміщення.

Попередньо величина переміщення верхнього електрода за певних зусиль стискання скорельована з динамікою зусилля стискання та конструктивною жорсткістю нижньої консолі серійного устаткування (2), а конструктивне виконання верхнього електродного вузла машин ТКМ–15(17) та ССП–5 дозволяє звести до мінімуму вплив сил інерції та тертя (інерційна маса 30 – 40 г, підшипники кочення).

Досліджувалась чутливість обраних систем реєстрації до величини переміщення рухомого електрода залежно від початкового зусилля стискання електродів та змінної жорсткості електродної консолі.

Аналізом результатів, отриманих за допомогою високочастотного ємнісного давача (робоча напруга 80 В, частота 1 КГц) за різних значень площі F та відстані- а між пластинами реєструвального конденсатора та довірчої імовірності на рівні $Q=0,95$ доведено його малу вибіркочувливість, відтворюваність, адекватність сигналу саме в області малих переміщень (рис.3). Додатковим обмеженням до його використання є необхідність компенсації паразитних збурень від поля струму зварювання (екранування або використання диференціальних схем вимірювання).

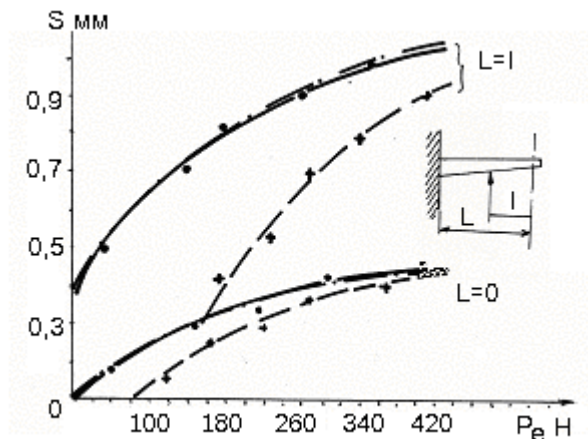


Рис. 3. Чутливість систем реєстрації переміщення при різній жорсткості консолі та зусиллі стискування електродів; ———— – фотострумний давач; - - - - - ємнісний давач; - · - · - еталонний мікрометр

Надалі роботи проведено на фотострумній системі, яка реєструє зміну світлового потоку Φ , пропорційного переміщенню верхнього електрода. Фотодіод працює у режимі темного струму (відсутнє зовнішнє джерело напруги); найбільшої зміни потенціалу E фотоелемента досягнуто за освітленості на рівні 800–1000 лк. Чутливість системи фотострумної реєстрації в процесі зварювання, за решти однакових умов, залежить від: 1. Зміни потужності освітлювача; 2. Зміни відстані між фотоприймачем та освітлювачем; 3. Режиму роботи та схемного вирішення каскадів підсилювача та перетворення сигналу фотоструму; 4. Закону залежності зміни фотосигналу від переміщення рухомого електрода.

Практично обраний спосіб контролю (виявлення параметра, що однозначно пов'язує розвиток площі з'єднання з її механічною міцністю під час випробовування на зріз) перевірено під час зварювання найбільш несприятливих для виявлення ефектів переміщення деталей площинної форми різного перерізу, де процеси формозміни їх геометрії суттєво не проявляються, а саме під час точкового конденсаторного зварювання плоских контактів діаметром 1,5 мм, висотою 1,0 мм із срібла з плоскими контактотримачами з бронзи БР.КМЦЗ–1 товщиною 500 мкм.

Осцилограма швидкості переміщення (рис. 4) демонструє ударний характер прояву ТРМ (згасаючі вимушені коливання електродних вузлів машини, амплітуда та частота яких за решти однакових умов залежать від швидкості тепловкладення в часі зварювання). В момент зростання хвилі струму швидкість переміщення верхнього електрода, обумовлена дією протилежно скерованих до зусилля стискування сил теплового розширення металу у зоні формування зварної точки, змінюється від нуля до свого максимального значення, яке, за решти однакових умов, обумовлюється механічними та електродинамічними характеристиками зварювального контуру, тепловими показниками зварюваного матеріалу та електродів. Надалі, під дією постійно прикладеного зусилля стискування та процесу тепловідведення в електроди, швидкість переміщення верхнього електрода прямує до нуля та адекватно відбиває розвиток процесів осаджування. Нульове значення швидкості прямо відповідає умові повного вичерпання запасу кінетичної енергії від ефекту ТРМ. Із зменшенням амплітудного значення струму зварювання та зростанням тепловідведення в електроди (м'який режим зварювання) амплітудна величина швидкості спадає, а

кут нахилу кривої швидкості зростає у точці перетину з віссю часової розгортки процесу формування з'єднання.

У випадку формування виплеску (високоенергетичний режим зварювання, або неоптимально зменшене зусилля стискання) відбувається зависання верхнього електрода, яке потім змінюється прискореним переміщенням донизу. Через це, а також винесення частинок розплавленого металу поза зону зварювання, переміщення рухомого електрода догори не відбувається (ефект ТРМ компенсується наявними процесами). На кривій швидкості переміщення електродного вузла машини фіксується лише осаджування системи “електрод–деталі” під дією динамічних сил (1, 2). Амплітуда швидкості осаджування за наявності виплескування та інтенсивність її зростання в 1,7–2,3 рази більші ніж за відхилення режиму зварювання в область занижених струмів.

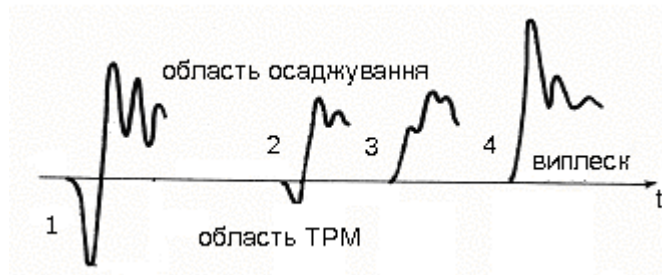


Рис. 4. Осцилограми швидкості переміщення верхнього електрода

за зміни величини амплітудного значення струму зварювання; 1 – $I=9400\text{A}$, $P_e=250\text{H}$, зусилля руйнування за випробовування $P_p.=266\text{H}$; 2 – $I=4000\text{A}$, $P_e=250\text{H}$, зусилля руйнування за випробовування $P_p.=150\text{H}$; 3 – $I=2000\text{A}$, $P_e=250\text{H}$, зусилля руйнування за випробовування $P_p.=37\text{H}$; 4 – $I=12000\text{A}$, $P_e=250\text{H}$, зусилля руйнування за випробовування $P_p.=200\text{H}$

Найкраще ефект ТРМ, оцінений через швидкість переміщення рухомих електродних мас машини, проявляється за умови жорстких режимів зварювання та вольфрамових робочих вставок електродів.

Площа, обмежена кривою зміни швидкості в області прояву ефекта ТРМ ($\int_0^t v dt$), є критерієм оцінки розвитку, за решти однакових умов, міцності з'єднання обумовленої роботою струму ($\int_0^t i(r_i, E) dt$) на змінних контактних та лінійних електроопорах r_i за умови прикладеного міжелектродного потенціалу E .

Висновки

1. Фотострумова система реєстрації переміщення верхнього електрода за його кінематичними показниками (швидкість) є практично безінерційною та високочутливою, не вносить збурень у процеси, що відбуваються у зоні зварювання і є практично придатною для оцінювання якості формування зварного з'єднання.

2. Конструктивна жорсткість стандартного, найпоширенішого зварювального обладнання для точкового мікрозварювання є недостатньою для впевненого виявлення та оцінювання ефекту теплового розширення металу в часі зварювання і вимагає під час реєстрації його кінематичних показників підсилення встановленням опори під нижньою електродною консоллю на відстані не більшій за 12 % (установка ТКМ–15(17)) та 47 % (установка ССП–5) довжини вильоту консолі від корпусу.

3. Вимірюваними параметрами теплового розширення, які є придатними для оцінювання якості зварного з'єднання в процесі його формування, можуть слугувати: площа кривої швидкості переміщення рухомого електрода вгору під дією ТРМ; порівняння амплітудних значень швидкості

переміщення вгору під дією ТРМ та донизу під дією зміни зусилля стискання електродів; градієнт зміни швидкості (прискорення) в області прояву ТРМ та області осаджування.

1. Орлов Б.Д. Проблемы контроля при контактной сварке / Тезисы докладов Всесоюзной научн.-техн. конф. "Проблемы совершенствования контактной сварки". – Псков, 22–24.09.1987. – С. 68–71. 2. Орлов Б.Д., Чулошников П.Л., Верденский В.Б. и др. Контроль точечной и роликовой электросварки. – М.: Машиностроение, 1973. – 304 с. 3. Рудзит Р.Б., Бумбиерис Э.В. Автоматический контроль процесса контактной микросварки по изменению силы сжатия электродов // Авт. сварка. – 1978. – № 11. 4. Козловский С.Н. Контроль и регулирование процесса контактной точечной сварки // Неразрушающий контроль и системы управления качеством сварн. и паян. соед. – М.: Знание, 1992. – С.64–66. 5. Тиль Р. Электрические измерения неэлектрических величин. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 192 с.

УДК 621.3.045

В.І. Будзан*, В.М. Віннік

Національний університет "Львівська політехніка",
*кафедра охорони праці,
кафедра деталей машин

МЕТОДИКА ЗНАХОДЖЕННЯ СИЛОВИХ ТА КІНЕМАТИЧНИХ СПІВВІДНОШЕНЬ У НАМОТУВАЛЬНИХ СИСТЕМАХ З ДВОМА НЕКРУГЛИМИ БАРАБАНАМИ

© Будзан В.І., Віннік В.М., 2005

Специфіка роботи намотувальних систем з кінематичним збудженням полягає в тому, що в них практично немає усталеного періоду руху. В процесі намотування змінюється: довжина (тобто податливість) матеріалу між барабанами, радіуси-вектори точок набігання матеріалу на приймальний барабан та збігання його з віддавального барабана, кути між матеріалом та згаданими радіусами-векторами барабанів.

Зазначені зміни параметрів враховані в розробленій авторами математичній моделі динаміки намотувальної системи з двома барабанами.

The paper presents the mathematical equations motion of the winding system that consists of the two non-round cross section coils. The main problem of this task consists in the system stiffness change that connected with the jumping-like change of the flexible element length. The equations of the mechanical system motion are obtained and the flexible element length change is described.

Намотувальні системи з кінематичним збудженням – результат конструктивних розробок (для намотування котушок некругового профілю), або неточності виготовлення і монтажу барабанів, або наслідок їх експлуатації.

У процесі намотування змінюються: довжина (тобто податливість) матеріалу між барабанами, радіуси-вектори точок набігання матеріалу на приймальний барабан та збігання його з віддавального барабана, кути між матеріалом та згаданими радіусами-векторами барабанів. Навіть без врахування пружного ковзання матеріалу по барабанах математично подати процес роботи такої системи дуже складно. Врахування жорсткості матеріалу можливе тільки у диференціальній формі. Особливі складності виникають під час аналізу систем з барабанами, поперечні перерізи яких описано кусково-безперервними лініями (наприклад: прямокутниками з коловими спряженнями кутів).