



УКРАЇНА

(19) UA (11) 10972 (13) U

(51) 7 G01N25/18

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС

ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ
НА КОРИСНУ МОДЕЛЬвидається під
відповідальність
власника
патенту

(54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕПЛОВОЇ ПРОВІДНОСТІ КОНТАКТУ З'ЄДНАНЬ З НАТЯГОМ

1

2

(21) u200502400

(22) 17.03.2005

(24) 15.12.2005

(46) 15.12.2005, Бюл. № 12, 2005 р.

(72) Арпент'єв Борис Михайлович, Дука Анатолій
Костянтинович, Резніченко Микола Кирилович(73) УКРАЇНСЬКА ІНЖЕНЕРНО-ПЕДАГОГІЧНА
АКАДЕМІЯ(57) Спосіб визначення теплової провідності кон-
такту з'єднань з натягом, що включає термічну дію
на одну з деталей з'єднання, формування з'єднан-
ня, вимірювання температури кожної з деталей і
визначення кількості тепла, переданого від однієї
деталі до іншої, який відрізняється тим, що після
скріплення здійснюють додаткові термодії на одну
з деталей з'єднання, кожна з яких відрізняється від
попередньої не менше ніж на 30%, після зняття
кожної з термодій із температури охоплюючої де-
талі віднімають температуру охоплюваної деталі,
отриману різницю диференціюють, а результатизапам'ятовують, після чого теплові провідності та
їх складові знаходять за математичним виразом:

$$\lambda_1 = \frac{-\Delta\tau_{k1} + \tau_{2k1} \lambda_B / C_2 - \lambda_{BT} \tau_{k1} / C_1}{\Delta\tau_{k1} (1/C_1 + 1/C_2)},$$

де τ_{2k1} , τ_{k1} - температури охоплюваної і охоп-
люючої деталей для k-тої термодії в i-тому вимі-
рюванні; λ_{BT} , λ_B - величини теплових провідностей роз-
сіювання теплової енергії в навколишнє середо-
вище від охоплюючої і охоплюваної деталей;
 C_1 , C_2 - теплоємності охоплюючої і охоплюваної
деталей; $\Delta\tau = \tau_1 - \tau_2$ - різниця температур деталей, що
з'єднуються; $-\Delta\tau_{ki}^i$ - похідна різниці температур.

Пропонована корисна модель відноситься до
машинобудування, а саме, до процесів складання
або розбирання багатоелементних з'єднань з на-
тягом. При збиранні багатоелементних з'єднань
натяг компенсується термічною дією на складальні
елементи: або нагріванням охоплюючої деталі
(втулки) збільшуючим її внутрішній діаметр $d_{вн}$,
або охолодженням охоплюваної деталі (валу
або проміжної внутрішньої втулки) зменшуючим її
зовнішній діаметр $d_{з}$. Формування заданої склада-
льної одиниці - з'єднання з натягом відбувається
протягом певного проміжку часу, який обумовле-
ний перерозподілом теплової енергії між деталя-
ми, що з'єднують, через теплову провідність кон-
такту посадочних поверхонь і розсіюванням тепла
в навколишнє середовище. Час формування з'єд-
нання є критерійною величиною, що визначає
продуктивність складання. Для того, щоб вказати,
коли дане конкретне з'єднання можна знімати з
складального пристрою, необхідно знайти промі-
жок часу від моменту скріплюючої деталі, визна-
чуваного досягненням складального зазору нуля,
а також вказати інтенсивність утворення натягу. Ці

важливі характеристики технологічного процесу
складання можуть бути змодельовані тільки за
умов відомих теплових провідностей розсіювання
в навколишнє середовище від охоплюючої (λ_1) і
охоплюваної (λ_2) деталей, а також при відомих
складових кондуктивної та конвективної теплове-
редачі деякої комплексної теплової провідності
(λ_{12}) у зоні контакту деталей. Якщо визначення
перших двох теплових провідностей λ_1 і λ_2 не
викликає значних складнощів при відомих геомет-
ричних параметрах деталей, що з'єднують і коефі-
цієнтів теплопередачі при складанні, то при знахо-
дженні теплової провідності λ_{12} виникають
серйозні проблеми. Ці проблеми пов'язані з тим,
що в процесі формування з'єднання величина
складального зазору, рівно як фактично теплове-
редавальна поверхня зони контакту змінюються в
достатній мірі випадковим чином. Крім того, з при-
чини крихти складальних зазорів, теплопередача
між деталями, що з'єднуються, здійснюється як

(13) U

(11) 10972

(19) UA

конвективним, так і кондуктивним шляхом, що і зумовлює складний, комплексний характер теплової провідності багатоелементного з'єднання. У першому наближенні теплову провідність зони контакту деталей багатоелементного з'єднання можна представити у вигляді двох складових, обумовлених різними типом теплопровідності - конвективним і кондуктивним, причому останній

тип теплопровідності пов'язаний з наявністю мікроточкового контакту. неоднорідністю охоплювання деталей, що з'єднуються, неоднорідністю їх нагріву і термоелектронною емісією з нагрітої деталі. Кожна з теплових провідностей має постійні та залежні від величини зазору між деталями (або різниці температури між ними) частини:

$$\lambda_{12} = \alpha_1 S_H [1 + K_1 (1 - \Delta t / \Delta T_H)] + \frac{2\alpha_2 S_H}{\beta D \Delta T_H - N} [1 + K_2 (1 - \Delta t / \Delta T_H)] \quad (1)$$

де S_H - номінальна площа зони контакту; $\Delta t / \Delta T_H$ - відносна до початкової різниці температури деталей значення різниці температур; β - коефіцієнт лінійного розширення; D - номінальний посадочний діаметр охоплюючої деталі; N - натяг з'єднання, α_1 - коефіцієнт конвективної теплопередачі з врахуванням конкретних умов в зоні контакту; α_2 - коефіцієнт кондуктивної теплопровідності, врахуванням конкретних умов в зоні контакту; K_1 , K_2 - коефіцієнти збільшення конвективного і кондуктивного теплопереносу в зоні контакту.

Таким чином, для теплової провідності по моделі (1) необхідно визначити дві складові, кожна з яких, у свою чергу, характеризується двома параметрами (α_1 ; K_1) і (α_2 ; K_2). У науковій і технічній літературі відсутні відомості, що дозволяють теоретично розраховувати значення λ_{12} по окремих її складових, у зв'язку з концептуальною новизною даної моделі. Для практичних цілей у використаних спрощених моделях значення λ_{12} , такі необхідні для вищезазначених цілей, визначається різними експериментальними способами з різним ступенем точності та областю застосовності.

Так у відомому технічному рішенні [А.С. СССР №1307317: МКІ4 G01N25/18, 30.04.87] для визначення теплової провідності пропонується термічно впливати на зібране з'єднання імпульсом струму, що калібрується, протягом певного проміжку часу, після чого вимірюють частоту власних коливань з'єднання і одержаний результат запам'ятовують, а через деякий проміжок часу відбувається повторна зміна частоти власних коливань і по її зміні порівняно з первинно зміряною судять про величину теплової провідності зони контакту деталей.

Недоліками описаного способу є:

1. Неможливість визначення окремих складових теплової провідності зони контакту.
2. Складність способу і пристрою, що його реалізовує.
3. Низька точність через відсутність врахування теплового розсіювання в навколишнє середовище.

Відомий також спосіб визначення термічного опору R_{12} (величини зворотної теплової провідності $R = 1/\lambda_{12}$;) клейових прошарків [В.М. Попов «Теплообмен через соединение на клеях» М.: Энергия, 1974г., С.18], відповідно до якого термічно впливають на зібрані деталі, після чого вимірюють температуру охоплюючої (τ_1) і охоплюва-

ної (τ_2) деталей, а також визначають за допомогою тепломірів кількість тепла, що передається через зону контакту, після чого шуканий термічний опір знаходять по математичному виразу:

$$R_{12} = \frac{\tau_1 - \tau_2}{g S} \quad (2)$$

де g - щільність теплового потоку; S - площа посадочної поверхні.

Недоліками даного способу визначення термічного опору (зворотного теплової провідності) є:

1. Низька точність і достовірність одержуваних результатів, оскільки теплопередавальна площа посадочної поверхні (s) є неявною випадковою функцією різниці температур деталей, що з'єднуються.
2. Неможливість визначення конвективної та кондуктивної складових комплексної теплової провідності зони контакту.
3. Складність визначення теплового потоку за допомогою тепломірів.

Відомий також спосіб визначення теплової провідності контакту між деталями, що з'єднуються, описаний в [книзі А.С. Зенкина, Б.М. Арпентьева «Сборка неподвижных соединений термическими методами», М.: Машиностроение, 1987г., С.54], який по технічній суті та числу співпадаючих ознак є найближчим до даного передбачуваної корисної моделі, а тому прийнятому нами за прототип.

Згідно технічному рішенню-прототипу, спосіб визначення теплової провідності контакту з'єднання з натягом включає операції термічної дії на одну з деталей з'єднання і подальше їх складання, а також вимірювання в певний момент часу після складання і до початку скріплює температури охоплюючої деталі (τ_1) і температури охоплюваної деталі (τ_2), а також кількості переданого з врахуванням теплофізичних властивостей деталей, що скріплюються, тепла і знаходження шуканої величини теплової провідності по залежностях для визначення термічного контакту.

Недоліками прототипу є:

1. Неможливість виділення конвективної та кондуктивної складових теплової провідності зони контакту.
2. Низька точність через неврахування тепло-розсіювання в навколишнє середовище.
3. Складність визначення кількості тепла, що передається через зону контакту шляхом вимірювання зазору між деталями, що з'єднуються.

У основу даної корисної моделі поставлена

задача удосконалити спосіб визначення теплової провідності контакту з'єднань з натягом і шляхом врахування теплового розсіювання в навколишнє середовище, що дозволяє розширити можливості способу - визначати окремі складові комплексної теплової провідності з'єднань.

Поставлена задача вирішується тим, що в способі визначення теплової провідності контакту з'єднань з натягом, що включає термічну дію на одну з деталей з'єднання, формування з'єднання, вимірювання температури кожної з деталей і ви-

значення кількості тепла, переданого від однієї деталі до іншої, згідно даної корисної моделі після скріплення здійснюють додаткові термодії на одну з деталей з'єднання, кожна з яких відрізняється від попередньої не менше ніж на 30%, після зняття кожної з термодій, із температури охоплюючої деталі віднімають температуру охоплюваної деталі, отриману різницю диференціюють, а результати запам'ятовують, після чого теплові провідності та їх складові знаходять за математичними виразами:

$$\lambda_1 = \frac{-\Delta\tau_{k1} + \tau_{2k1} \lambda_B / C_2 - \lambda_B \tau_{1k1} / C_1}{\Delta\tau_{k1}(1/C_1 + 1/C_2)},$$

$$\alpha_1 K_1 + 2\alpha_2 K_2 / (\beta \Delta T_{H1} - N) = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_{1i} \Delta\tau_{1i} - \sum_{i=1}^n \Delta\tau_{1i} \sum_{i=1}^n \lambda_{1i}}{S_H \left(\sum_{i=1}^n \Delta\tau_{1i}^2 - \sum_{i=1}^n \Delta\tau_{1i} \sum_{i=1}^n \Delta\tau_{1i} \right)},$$

$$\alpha_1 K_1 + 2\alpha_2 K_2 / (\beta \Delta T_{H2} - N) = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_{2i} \Delta\tau_{2i} - \sum_{i=1}^n \Delta\tau_{2i} \sum_{i=1}^n \lambda_{2i}}{S_H \left(\sum_{i=1}^n \Delta\tau_{2i}^2 - \sum_{i=1}^n \Delta\tau_{2i} \sum_{i=1}^n \Delta\tau_{2i} \right)},$$

$$\alpha_1 K_1 + \alpha_1 + \frac{2(\alpha_2 K_2 + \alpha_2)}{\beta \Delta T_{H1} - N} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta\tau_{1i}^2 \sum_{i=1}^n \lambda_{1i} - \sum_{i=1}^n \Delta\tau_{1i} \sum_{i=1}^n \lambda_{1i} \Delta\tau_{1i}}{S_H \left(\sum_{i=1}^n \Delta\tau_{1i}^2 - \sum_{i=1}^n \Delta\tau_{1i} \sum_{i=1}^n \Delta\tau_{1i} \right)},$$

$$\alpha_1 K_1 + \alpha_1 + \frac{2(\alpha_2 K_2 + \alpha_2)}{\beta \Delta T_{H1} - N} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta\tau_{2i}^2 \sum_{i=1}^n \lambda_{2i} - \sum_{i=1}^n \Delta\tau_{2i} \sum_{i=1}^n \lambda_{2i} \Delta\tau_{2i}}{S_H \left(\sum_{i=1}^n \Delta\tau_{2i}^2 - \sum_{i=1}^n \Delta\tau_{2i} \sum_{i=1}^n \Delta\tau_{2i} \right)},$$

де τ_{2ki} , τ_{1ki} - температури охоплюваної і охоплюючої деталей для k -тої термодії в i -том вимірюванні; ΔT_{H1} , ΔT_{H2} - величини першої і другої термодії, означені як початкові різниці температур деталей у момент початку формування з'єднання; N - натяг з'єднання; λ_{1i} , λ_{2i} - величини термодій зони контакту для першої і другої термодії, визначені при різних різницях температури між деталями, що з'єднуються; $\Delta\tau_{1i}$, $\Delta\tau_{2i}$ - різниці температури між деталями, що з'єднуються, при i -том вимірюванні; n - число точок визначення в часі.

Суттю запропонованого способу визначення комплексної теплової провідності в багатоелементних з'єднаннях є виділення в зоні контакту двох різних по фізичній природі складових теплопереносу між деталями, кожна з яких характеризується двома незалежними параметрами, один з яких не залежить від величини зазору (різниці температур) між деталями, а інший залежить від різниці температур лінійно.

Новими відмітними ознаками запропонованої корисної моделі є операції:

1. Додаткова термодія на одну з деталей з'єднання або термодія на друге з'єднання, параметри якого ідентичні першому.

2. Розбіжність додаткової та першої термодії не менше ніж на 30%.

3. Збільшення числа точок визначення величини теплових провідностей не менше, ніж до п'яти.

4. Отримання безперервної інформації про різницю температур між деталями.

5. Визначення швидкості зміни різниці температур між охоплюючою і охоплюваною деталями шляхом диференціювання сигналу різниці.

6. Обробка фізично вимірених величин за новим математичним виразом для концептуально нової моделі теплопровідності в зоні контакту з'єднань з натягом.

У основі запропонованої корисної моделі лежать теоретичні і експериментальні дослідження за визначенням величин теплової провідності зони контакту багатоелементних з'єднань. Поточне значення теплової провідності для конкретних умов збирання і геометричних параметрів деталей, що сполучаються, може бути знайдене методами параметричної ідентифікації, виходячи з відрізково-лінійної двохмасової моделі нестационарного нагріву деталей з'єднання [А. К. Дука, Б. М. Арпентьев «Расчет теплового режима составных соединений, собранных с нагревом», М.: Машиностроение, №2, 1989г., С.115-120] в процесі їх складання або роз-

бирання:

$$C_1 \frac{d\tau_1}{dt} = -\lambda_{BT} \tau_1 - \lambda(\tau_1 - \tau_2),$$

$$C_2 \frac{d\tau_2}{dt} = -\lambda_{BT} \tau_2 - \lambda(\tau_1 - \tau_2),$$

де λ_{BT} , λ_B , - величини теплових провідностей розсіювання теплової енергії від охоплюючої деталі (втулки) і охоплюваної деталі (валу) в навколишнє середовище; C_1 , C_2 - теплоємності втулки і валу; τ_1 , τ_2 - температура втулки і валу.

Провівши нескладні перетворення над початковою системою диференціальних рівнянь, можна знайти

$$\frac{d\Delta\tau}{dt} = -\frac{\lambda_{BT}}{C_1} \tau_1 + \frac{\lambda_B}{C_2} \tau_2 - \lambda \Delta\tau \left(\frac{C_1 + C_2}{C_1 C_2} \right),$$

де $\Delta\tau = \tau_1 - \tau_2$ - різниця температури деталей, що сполучаються.

З останнього рівняння безпосередньо витікає перше рівняння системи математичних виразів:

$$\lambda = -\frac{\Delta\tau + \tau_2 \lambda_B / C_2 - \tau_1 \lambda_{BT} / C_1}{\Delta\tau (C_1 + C_2) / C_1 C_2},$$

Інші рівняння системи математичних виразів витікають безпосередньо з рівняння (1). З цієї метою на підставі рівняння (1) одержана система перевизначених щодо шуканих невідомих параметрів (α_1 ; K_1 ; α_2 ; K_2) складових теплової провідності рівнянь, яка дозволена в значенні методу як найменших квадратів для зменшення впливу погіршень локальних вимірювань в часі.

Аналіз патентної і науково-технічної літератури не виявив вітчизняних і зарубіжних аналогів, що володіють схожими ознаками і дозволяють досягати одержуваного за допомогою запропонованої корисної моделі ефекту, що дає можливість вважати запропоноване технічне рішення задовільняючим критерію "істотної відмінності".

На графічному зображенні показана, як приклад, функціональна схема технічного пристрою, за допомогою якого можлива реалізація запропонованого способу. Пристрій містить з'єднання, що складається з охоплюючої деталі (втулки) 1 і охоплюваної деталі (валу) 2, в зоні контакту яких встановлені датчики температури (термопари) 3 і 4. Термопари 3 між собою, рівно як і термопари 4, сполучені послідовно згідно, а щодо один одного освічені пари термопар 3 і 4 сполучені послідовно стрічно, що автоматично дозволяє реалізувати безперервно в часі операцію віднімання температури охоплюючої і охоплюваної деталей. Виходи термопар 3 і 4 подані на входи підсилювачів-реєстраторів 5, 6 і 7. Вихід підсилювача-реєстратора 5 пов'язаний з входами диференціюючого підсилювача 8, який реалізовує операцію диференціювання одержаної різниці температур, і аналого-цифрового перетворювача 9, а виходи підсилювачів-реєстраторів 6 і 7 подані на входи масштабуючих підсилювачів 10 і 11, причому вихідний сигнал останнього інвертується підсилювачем 12. Виходи диференціюючого підсилювача 8 і масштабуючих підсилювачів 10, 11 і 12 подані на вузол порівняння 13, вихід якого через масштабу-

ючий підсилювач 14 зв'язаний одним входом 15, на інший вхід якого поданий сигнал з виходу цифро-аналогового перетворювача 16, пов'язаного з цифровим дільником 17. Вихід помножувача 15 сполучений з входом аналого-цифрового перетворювача 18, що вводить інформацію про поточне значення теплової провідності в мікропроцесорну систему 19. Виходом мікропроцесорної системи 19 є пристрій відображення 20.

У якості датчиків температури 3, 4 можуть бути використані також термістори, термоконденсатори або пірометри, а для вимірювання різниці температури охоплюючої 1 і охоплюваної 2 деталей може бути використана голографічна установка для вимірювання зазору між деталями, як пропорційний різниці температури між ними. Поєднання голографічної установки з пірометрами є найзручнішим, оскільки при тому виключається контакт датчиків з елементами з'єднання, проте подібна установка є дорогою і вимагає спеціального персоналу.

Відповідно до запропонованої корисної моделі теплову провідність зони контакту в багате елементних з'єднаннях визначають таким чином. Піддають термодії мінімум одну з деталей з'єднання, наприклад, нагрівають охоплюючу деталь 1, за допомогою індукційного нагріву протягом певного проміжку часу або охолоджують охоплювану деталь 2, наприклад, за допомогою "сухого льоду" або рідкого азоту. Формують з'єднання в центруючому пристрої, переважно вертикального типу. Вимірюють температуру кожної деталі, а також різницю температур між ними і кількість тепла, що передається від однієї деталі до іншої шляхом визначення швидкості зміни різниці температур деталей з врахуванням еквівалентної теплоємності з'єднання $\frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$. Величина сигналу на виході

помножувача 15 пропорційна величині теплової провідності зони контакту у теперішній момент часу. При цьому, якщо на вході вузла порівняння 13 заблокувати сигнали від масштабуючих підсилювачів 10, 11 і 12, то одержана величина теплової провідності виявиться ідентичною по способу прототипу без урахування теплового розсіювання в навколишнє середовище. З виходу помножувача 15 через аналого-цифровий перетворювач 9 поступають на вхід мікропроцесорної системи 19, працюючої в режимі опиту даних через рівні проміжки часу, що задаються власним таймером. Досягши малих величин різниці температури деталей 1 і 2 знімання інформації припиняється до другої термодії. Як друге з'єднання може бути узят з'єднання, що вийшло після проведення першого циклу з'єднань. Для цього на нього подають другу термодію, достатню для розбирання і відмінне від попередньої термодії на 30%. Після зняття цієї термодії проводиться другий цикл вимірювань аналогічно першому і введення інформації в мікропроцесорну систему 19, по закінченню якого на приладі відображення 20 фіксуються шукані величини теплових провідностей і окремих її складових.

Обробка результатів вимірювань термодатчиків 3 і 4 може бути проведена також в дискретному режимі в ручну без пристрою, проте при цьому

зростають трудомісткість і знижується точність вимірювань.

Як бачимо з розширеного опису в операціях запропонованого способу при порівнянні з прототипом є:

а) проведення додаткового циклу вимірювань при термодії відмінній від першого циклу вимірювань;

б) величини першої і другої термодії повинні співвідноситися як 1:1,3;

в) спрощення вимірювання кількості тепла за рахунок введення операції диференціювання легко вимірюваних величин різниці температур деталей, що сполучаються;

г) уточнення визначення величини поточних значень теплової провідності по новій системі математичних виразів.

Для ілюстрації механізму дії запропонованої корисної моделі приведемо приклад визначення складових теплової провідності зони контакту сталевий втулки з валом, що має наступні геометричні параметри

зовнішній і внутрішній діаметр втулки -0,16/0,1м
довжина посадки -0,11м
довжина валу -0,3м
натяг з'єднання -0,06мм

Значення температури деталей зафіксованих термодатчиками 3 і 4 дискретні проміжки часу при першій і другій термодії наведені в табл.1.

Таблиця 1

Час (с)	Перша термодія			Друга термодія		
	τ_1	τ_2	$\Delta\tau$	τ_1	τ_2	$\Delta\tau$
0	327	55	272	236	55	181
40	282	100	182	190	91	99
80	250	123	127	145	118	27
120	215	150	65	-	-	-
160	190	173	17	-	-	-

За наслідками визначення величин теплових провідностей зони контакту при першій і другій термодії набуті наступні значення (табл.2)

Таблиця 2

$\Delta\tau$		270	180	100	50
λ	Перша термодія	20,4	34,5	50	59
	Друга термодія	-	34	64	88

Значення правих частин рівняння (3) по чотирьох крапках для першої термодії і трьом крапкам для другої рівні відповідно $1,33 \cdot 10^3 \text{Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$; $1,91 \cdot 10^3 \text{Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ і $2,08 \cdot 10^3 \text{Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$, $2,95 \cdot 10^3 \text{Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$.

Таким чином маємо наступну систему рівнянь алгебри:

для першої термодії

$$\alpha_1 K_1 + 2\alpha_2 K_2 / (11 \cdot 1120 - 6 \cdot 0,10270 - 60 \cdot 10 - 6) = 1,33 \cdot 10^3$$

$$\alpha_1 K_1 + \alpha_1 + 2((\alpha_2 K_2 + \alpha_2) / (11 \cdot 10 - 6 \cdot 0,10 \cdot 270 - 60 \cdot 10 - 6) = 1,91 \cdot 10^3$$

для другої термодії

$$\alpha_1 K_1 + 2\alpha_2 K_2 / (11 \cdot 10 - 6 \cdot 0,1 \cdot 180 - 60 \cdot 10 - 6) = 2,08 \cdot 10^3$$

$$\alpha_1 K_1 + \alpha_1 + 2((\alpha_2 K_2 + \alpha_2) / (11 \cdot 10 - 6 \cdot 0,1 \cdot 180 - 60 \cdot 10 - 6) = 2,95 \cdot 10^3$$

Об'єднавши перші рівняння для кожної з термодій, знаходимо мультиплікати:

$$\alpha_1 K_1 = 0,24 \cdot 10^3 \text{Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{C};$$

$$\alpha_2 K_2 = 0,13 \text{Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

Об'єднавши другі рівняння для кожної з термодій і підставивши в них знайдені значення мультиплікатів $\alpha_1 K_1$, і $\alpha_2 K_2$ знайдемо значення

$$\alpha_1 = 90 \text{Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$\alpha_2 = 0,056 \text{Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

Останнім етапом є знаходження $K_1=2,6$ і $K_2=2,3$ з раніше знайдених мультиплікатів.

Для перевірки одержаних даних складових теплової провідності була проведена третя термодія, відмінна від першої у бік збільшення на 50% і експериментально визначені значення теплових провідностей при формуванні з'єднання для цих умов. З другого боку для цих умов були розраховані по математичному виразу (1) значення теплових провідностей, результати яких поміщені в таблицю 3.

Таблиця 3

$\Delta\tau$		360	270	180	100	50
λ_{12}	Третя термодія	16	26	35	42	48,5
λ_{12}	По формулі(1)та знайденими значеннями α_1 ; K_1 ; α_2 ; K_2	14,6	23,2	31,5	39,3	44

Проведений експериментальний аналіз дозволяє оцінити точність визначення складових теплової провідності зони контакту не гірше 10%, тоді як за всіма іншими відомими способами визначення при одній і тій самій різниці температур деталей значення теплової провідності лежить, наприклад, для $\Delta\tau=50^\circ$ у діапазоні від $88 \text{Вт/}^\circ\text{C}$ до $48,5 \text{Вт/}^\circ\text{C}$.

Перевагами запропонованої корисної моделі в частині способу визначення теплової провідності зони контакту багатоеlementних з'єднань в порівнянні з прототипом є:

а) підвищена точність за рахунок врахування

чинників теплового розсіювання в навколишнє середовище і зниження погрешностей вимірювання в окремо взятих точках;

б) розширення функціональних можливостей за рахунок застосування отриманих величин для розрахунку теплових провідностей при різних діаметрах посадки (D), початковому температурному натиску (ΔT_H) і заданому натягу з'єднання (N);

в) зниження трудомісткості і спрощення вимірювальної апаратури, за рахунок виключення складних засобів вимірювання кількості тепла або вимірювання зазору між деталями;

г) застосовність для різних видів термодій та-

ких як нагрівання деталі, що охоплюється або охолодження охоплюваної, оскільки в математичних виразах враховується знак температури деталі щодо навколишнього середовища і величини теплових провідностей, отже, будуть однаковими як при збірці з нагрівом, так і при збірці з охолодженням, а не розрізнятися як в прототипі до 18%.

Для технічної реалізації пристрою достатні стандартні засоби мікропроцесорної техніки типу персональних комп'ютерів, що мають цифрові аналогові входи.

