

5. Katpradit T. Internal flow patterns of closed-end oscillating heat pipes using non-azeotropic blend as working fluid at critical state [Текст] / Т. Katpradit, А. Tewata, К. Booddachan, S. Waowaew, P. Chareonsawan // 1st International Seminar on Heat Pipes and Heat Recovery Systems. – Monash University (Malaysia), 2004.
6. Кравец В.Ю. Влияние количества витков на теплопередающие характеристики пульсационных тепловых труб [Текст] / Кравец В.Ю., Алексеев Е.С. // Восточно-Европейский журнал передовых технологий, 2010. – №6/7. – С. 59-63.
7. Исаченко В.П. Теплопередача [Текст] / Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. – М.-Л.: Энергия, 1965.
8. В.Ю. Кравец Исследование режимов теплообмена в пульсационной тепловой трубе [Текст] / В.Ю. Кравец, А.Н. Наумова, А.Н. Вовкогон // Технология и конструирование в электронной аппаратуре, 2010. – №1. – С. 39-43.
9. Khandekar S. Multiple quasi-steady states in a closed loop pulsating heat pipe [Текст] / S. Khandekar, Anant Prasad Gautam, K. Pavan Sharma // International Journal of Thermal Sciences. – 2009. – 48. - P. 535–546.
10. Д.А. Лабунцов, Аналитическое исследование процесса кипения в трубках малого диаметра [Текст] / Д.А. Лабунцов, О.П. Евдокимов, И.В. Тишин, А.Ф. Ульянов // Изв. вузов. М.: Машиностроение, 1970. – № 7. – С. 68-73.
11. Khandekar S. Pulsating heat pipes: study on a two-phase loop [Текст] / S. Khandekar, M. Groll // 13th International Conference on Thermal Engineering and Thermogrammetry (THERMO), Budapest, Hungary. – 2003.

УДК 621.88.084.1

У роботі розглянуті питання методології та методики вибору, з допомогою розробленого програмного комплексу при проектуванні, технології технологічних параметрів складання з'єднань з натягом, зібраних термічними способами, з урахуванням енергозбереження

Ключові слова: з'єднання з натягом, термічний спосіб складання

В работе рассмотрены вопросы методологии и методики выбора, с помощью разработанного программного комплекса при проектировании, технологии технологических параметров сборки соединений с натягом, собранных термическими способами, с учетом энергосбережения

Ключевые слова: соединения с натягом, термический способ сборки

In the work the examined questions of methodology and procedure of selection with the aid of the developed program set with the design of the technology of the technological parameters of assembling the connections with the interference, assembled by thermal methods, taking into account energy-economy

Keywords: connection with the interference, the thermal method of assembling

ПРОЕКТУВАННЯ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧОЇ ТЕХНОЛОГІЇ СКЛАДАННЯ З'ЄДНАНЬ З НАТЯГОМ

І.Л. Оборський

Кандидат технічних наук, доцент,
заступник завідувача кафедрою

Кафедра машин легкої промисловості*

Контактний тел.: 050-380-94-90; (044) 234-98-57

E-mail: ivan.oborskiy@mail.ru

А.С. Зенкін

Доктор технічних наук, професор,
завідувач кафедрою

Кафедра метрології, стандартизації та сертифікації

*Київський національний університет

технологій та дизайну

вул. Немировича-Данченка, 2,

м. Київ, Україна, 01011

1. Вступ

У машинобудуванні набули широкого застосування відповідальні з'єднання з натягом (складені колеса залізничного транспорту, зубчасті колеса різних передач тощо), до яких пред'являють високі вимоги експлуатаційної міцності та надійності. Для їхнього складання використовують, як правило, термічні способи зборки (ТСН) з попереднім нагріванням деталі, що охоплює, або охолодження (ТСО) охоплюваної. Такі

способи формування з'єднань підвищують їхню міцність у порівнянні з запресуванням в 2 - 2,5 рази [1, 2].

Слід зазначити, що при створенні ряду відповідальних виробів використовують специфічні їх конструкції та важкі посадки з натягами, наприклад, при складанні складених коліс нової конструкції залізничного транспорту, які реалізувати окремо з нагріванням або охолодженням не представляється можливим. Для складання таких виробів можна використовувати тільки одночасне поєднання нагрівання й охолодження - комбінований термічний спосіб скла-

дання (КТСС). Цей спосіб, як і способи, що використовують окремо нагрівання або охолодження, вимагає забезпечення скорочення енерговитрат.

Комбінований термічний спосіб складання (КТСС) дозволяє знизити температуру нагрівання, що виключає можливе зниження якості матеріалів деталей та з'єднання вцілому. Однак його застосування вимагає створення методики розрахунку оптимальних режимів нагрівання й охолодження деталей на основі теорії термоупружності [3]. Для цього при необхідних максимально припустимих температурах термодії та напруги матеріалу необхідно знайти мінімально необхідну кількість енергії для досягнення заданої зміни Δd посадкового отвору деталі Δd_a , що охоплює, та зовнішнього діаметру деталі Δd_b , що охоплюється. Тобто необхідно знайти закон зміни температури по радіусу деталей, при якому забезпечується необхідне переміщення на посадковому радіусі поверхонь, що сполучаються, та мінімізується енергія.

Як досліджуваний виріб розглянемо з'єднання бандажа з центром нової конструкції [4]. Деталі виробу є осесиметричними, а центр до того ж подібний до диска зі змінною товщиною та центральним отвором. Стан матеріалу деталей у процесі нагрівання й охолодження приймаємо пружним і не залежним від температури.

Успішне вирішення цього завдання вимагає при проектуванні технології складання врахування безлічі вхідних факторів і нормованих технологічних складальних параметрів, взаємозалежних у часі й просторі. Зокрема, при складанні з'єднань з натягом комбінованим термічним способом (КТСС) необхідно визначити нормовані величини необхідного збільшення посадкового діаметра деталі, що охоплює та нагрівається, і його зменшення для охоплюваної при охолодженні. Правильний вибір цих параметрів дозволить гарантовано забезпечувати тимчасово утворений зазор для взаємного з'єднання деталей без безпосереднього контакту їхніх поверхонь, що сполучаються. Це дозволить зберігати заданий мікрорельєф на контактних поверхнях деталей, що сполучаються, підвищити щільність і площу зони контакту, міцність і експлуатаційну надійність посадок з натягом. Використання такого підходу до вибору методології визначення нормованих складальних параметрів при проектуванні технології зборки дозволить виробникам створювати сучасні вироби зі з'єднаннями з натягом при мінімальних енергетичних і часових витратах [1, 2, 3].

Метою роботи є розробка методології, методики та програмного комплексу, що дозволять визначити раціональні конструктивно-технологічні параметри складання з'єднань з натягом, зібраних термічними способами, з урахуванням енергозбереження.

2. Аналіз та результати досліджень.

Затрати енергії на термодію циліндричної деталі (без урахування втрат на теплообмін з навколишнім середовищем) визначаються [2, 5]

$$W = 2\pi r c \int_{r_1}^{r_2} T(r) g h(r) dr, \quad (1)$$

де ρ - щільність матеріалу; c - питома теплоємність матеріалу; $h(r)$ - закон зміни товщини деталі по радіусу; $T(r)$ - закон зміни температури по радіусу деталі (функція розподілу температури $T(r)$ обмежується $0 < T(r) \leq [T]$); r - поточне значення радіуса деталі; r_1 і r_2 - радіуси внутрішньої й зовнішньої поверхонь деталі; $[T]$ припустиме значення температури нагрівання або охолодження деталей, обумовлене властивостями матеріалу.

Інтенсивність напружень визначається

$$\sigma_i = \sqrt{\sigma_r^2 - \sigma_\theta^2 - \sigma_z \cdot \sigma_\theta}, \quad (2)$$

де σ_r - радіальні напруження; σ_θ - окружні напруження.

Обмеження по напруженнях має вид

$$\sigma_i - [\sigma] \leq 0, \quad (3)$$

де $[\sigma]$ - величина допустимих напружень, обумовлена властивостями матеріалу й можливостями пристроїв для нагрівання й охолодження деталей; $[\sigma_i]$ - інтенсивність діючих напружень.

При цьому варіюючи фікцією $T(r)$, мінімізуючи витрати енергії та задовольняючи умовам (1) - (3) розглянемо завдання можливості оптимізації нагрівання й охолодження. Для цього використовуємо аналітичні залежності між кількістю тепла для нагрівання бандажа і переміщеннями u на його внутрішньому радіусі r_n і на зовнішньому радіусі r_2 . Аналогічно між кількістю холоду для охолодження центра й переміщеннями u на його внутрішньому радіусі r_1 і на зовнішньому радіусі r_n .

На нагрівання диска бандажа [6] затрачується енергія

$$W_B = 2\pi r c h \int_{r_n}^{r_2} T(r) r dr. \quad (4)$$

Для охолодження центра [5] витрачається енергія

$$W_{Ц} = 2\pi r c \sum_{i=1}^n h_i \int_{r_1}^{r_n} T(r)_i r dr, \quad (5)$$

де n - число ділянок змінної товщини.

Для оперативного застосування запропонованої методики розрахунку при проектуванні раціональної енергозберігаючої технології складання з'єднань з натягом термічними способами, реалізації завдання обчислення оптимальних параметрів і вибору раціонального методу реалізації зборки створений програмний комплекс, структурну схему якого наведено на рис. 1.

Цей комплекс дозволяє визначити технологічні складальні параметри для наступних методів енергозберігаючої зборки: з нагріванням деталі, що охоплює; з низькотемпературним охолодженням охоплюваних деталей; з низькотемпературним охолодженням охоплюваних деталей і з нагріванням, що охоплюють; з нагріванням деталі, що охоплює, та гальванічним покриттям; з низькотемпературним охолодженням охоплюваних деталей і гальванічним покриттям; з низькотемпературним охолодженням,

нагріванням і гальванічним покриттям; з нагріванням деталі, що охоплює, і клеєм; з нагріванням, охолодженням і клеєм.

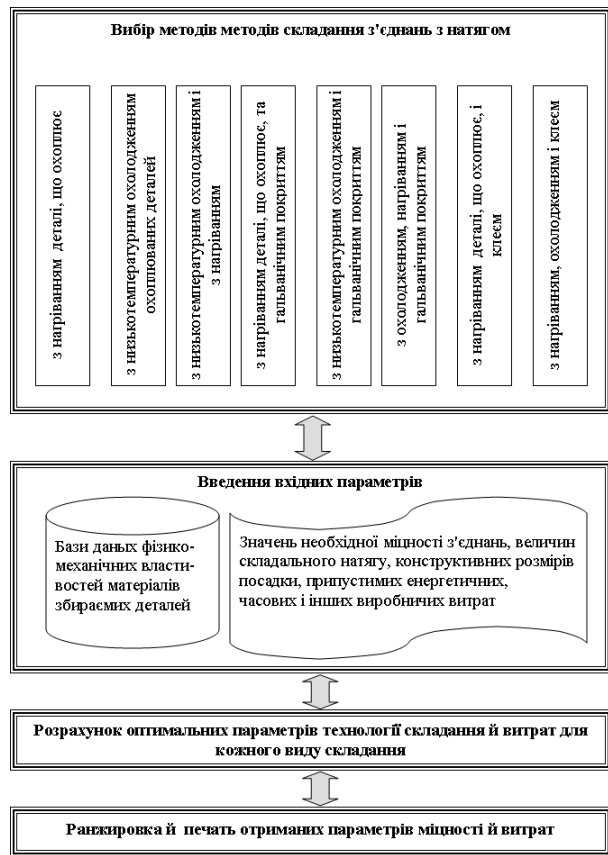


Рис. 1. Структурна схема програмного комплексу для забезпечення вибору методу енергозберігаючого складання та констуктивно-технологічних параметрів з'єднань з натягом

Для роботи програмного комплексу створена база даних значень констант, властивостей матеріалів деталей, конструктивних і технологічних параметрів, що впливають на міцність посадок з натягом.

Сутність методології вибору технологічних параметрів складання різними способами полягає в наступному.

Спочатку вводяться значення вхідних параметрів: необхідної міцності з'єднань з натягом, величини складального натягу, конструктивних розмірів (діаметра зовнішнього деталі, що охоплює, посадки й внутрішнього отвору деталі, що охоплюється), довжини посадки, фізико-механічних властивостей матеріалів деталей, що сполучаються, параметрів мікрорельєфу та його топології на спряжувемій поверхні деталі, що охоплюється, клейових композицій, гальванічних покриттів чи фольги з пластичних металів та сплавів.

Після введення вхідних даних розраховуються оптимальні параметри технології складання з'єднань з натягом, ранжування і вивод даних на печать.

На підставі виконаних теоретичних досліджень і розрахунків з використанням програмного комплексу розроблені графоаналітичні способи, що дозволяють у ряді специфічних випадків в умовах реального виробництва при проектуванні оператив-

но визначати раціональні технологічні параметри реалізації технології формування з'єднань з натягом способами ТСН, ТСО й КТСС. Запропоновані графоаналітичні способи створені з урахуванням технологічних параметрів, які гарантують міцність з'єднань з натягом, та умов здійснення їхнього безконтактного складання при вертикальній і горизонтальній схемах орієнтування деталей [6].

Прийнявши при дослідженнях витрат на нагрівання деталі, що охоплює, й низькотемпературне охолодження охоплюваної відповідно необхідну сумарну зміну Δd_{Σ} їх посадкових діаметрів при нагріванні Δd_a й охолодженні Δd_b , які забезпечать необхідний тимчасовий тепловий складальний зазор для якісної реалізації складання з'єднань з натягом, теплоємність матеріалів деталей c_a і c_b , щільність їхніх матеріалів ρ_a і ρ_b , об'єми деталей, що охоплює, V_a й охоплюємої V_b , коефіцієнти лінійного розширення й стиску матеріалів деталей, що сполучаються, α_p і $\alpha_{ст}$, сховану теплоту E_N випару рідкого азоту, при зануренні деталі у ванну, собівартість 1-єї кВт·год електричної енергії w_e , собівартість 1 кг маси рідкого азоту w_N , ККД нагрівача η_e , коефіцієнт потужності $\cos\beta$ можна встановити коефіцієнт співвідношення витрат на нагрівання деталей, що охоплюють, і на охолодження охоплюваних. При цьому для забезпечення якісного складання з'єднань з тимчасовим зазором визначимо коефіцієнт $k_{\Delta d}$ співвідношення збільшення посадкового діаметра d деталі, що охоплює, при її нерівномірному нагріванні Δd_a до зменшення посадкового діаметра d охоплюваної при її нерівномірному низькотемпературному охолодженні Δd_b

$$k_{\Delta d} = \frac{\Delta d_a}{\Delta d_b} = \frac{w_N \cdot \alpha_p \cdot V_b \cdot \eta_e \cdot \cos\beta \cdot \rho_b \cdot c_b}{w_e \cdot \alpha_{сж} \cdot V_a \cdot E_N \cdot \rho_a \cdot c_a} \quad (6)$$

Визначивши із залежності (7) коефіцієнт співвідношення $k_{\Delta d}$, вирішуємо завдання по визначенню необхідних значень Δd_a і Δd_b , температурних рівнів і температур нерівномірного нагрівання й нерівномірного охолодження деталей, що сполучаються, для одержання величин Δd_a і Δd_b з урахуванням напрямку підведення тепла й холоду.

З урахуванням (6) і вибравши значення коефіцієнта $k_{\Delta d}$, одержимо залежність для визначення необхідного зменшення посадкового діаметра охоплюваної деталі при її низькотемпературному охолодженні

$$\Delta d_b = \frac{(1 + k_{сб}) N_{\max}}{1 + k_{\Delta d}}, \quad (7)$$

де $k_{сб}$ – коефіцієнт умов реалізації складання з'єднань з натягом, що приймається в інтервалі $(0,01 - 0,34) N_{\max}$ [6].

Знаючи зменшення посадкового діаметра Δd_b охоплюваної деталі при її низькотемпературному охолодженні можна визначити збільшення посадкового діаметра Δd_a деталі, що охоплює, при її нагріванні

$$\Delta d_a = k_{\Delta d} \cdot \Delta d \quad (8)$$

У такий спосіб використання розробленого програмного комплексу та залежностей (1) - (8) дозво-

литель з урахуванням скорочення енергетичних витрат здійснювати вибір наступних технологічних параметрів термічної зборки: оптимальних витрат енергії на нагрівання й охолодження деталей, що сполучаються, необхідних значень Δd_a і Δd_b , температурних рівнів і температур нагрівання й охолодження з урахуванням напрямку підведення тепла й холоду та витрат часу на виконання технологічних операцій.

Треба при цьому відзначити, що для вирішення завдання проектування технології складання термічними способами з урахуванням енергозбереження обов'язковою також умовою повинно бути узгодження за часом всіх технологічних операцій на проміжку від початку сполучення деталей з тимчасовим зазором до початку нагрівання деталі, що охоплює, і низькотемпературного охолодження охоплюваної.

Висновки

Розроблено методологію та методику, що дозволяє з достатньою для технології машинобудування точністю з урахуванням скорочення енергетичних витрат робити вибір оптимальних конструктивно-технологічних параметрів технології формування з'єднань з натягом різними термічними способами складання. Для з'єднань, що складають з використанням важких посадок, можливо проводити вибір оптимальних параметрів технології формування з'єднань з натягом комбінованим термічним способом складання (КТСС) – поєднуючи одночасно нагрівання деталей, що охоплюють, та низькотемпературне охолодження, що охоплюються.

Література

1. Зенкин А.С. Сборка неподвижных соединений термическими методами /А.С. Зенкин, Б.М. Арпентьев //— М.: Машиностроение, 1987. — 128 с.
2. Зенкин А.С. Использование низких температур – резерв повышения качества соединений с натягом и износостойкости штампов / А.С. Зенкин, И.Л. Оборский, А.Н. Куцин //Сб.: Технологические методы повышения эффективности качества механо-сборочного производства. Тезисы докладов конференции, 1992, Домбай / — К. — 1992. — С. 25.
3. Оборский И. Л. Определение параметров энергосбережения при сборке соединений с натягом КТСС / И. Л. Оборский // Современные проблемы подготовительного производства, заготовительного производства, обработки, сборки и ремонта в промышленности и на транспорте. 22 –26 февраля 2010 г. Сб.: Материалы 10-го международного научно-технического семинара, 26 – 28 февраля 2010 г., г. Свалява: – К.: АТМ України, 2010. – С.194 – 197.
4. Оборський І.Л. Нова конструкція і технологія з'єднання бандаж-центр колеса електровагона. // Залізнич. транспорт України. —2003. —№5. —С. 9–10.
5. Тимошенко С.П. Теория упругости. / С.П. Тимошенко, Дж. Гудьер // Пер. с англ. М.И. Рейтмана. Ред. Шапиро Г.С. — М.: Наука, 1975. — 491 с.
6. Оборский И.Л. Определение конструктивно-технологических параметров и проектирование рациональной технологии сборки соединений с натягом / И.Л. Оборский, А. Б. Демковский, Н.И. Оборская, Д.Н. Хоменко // Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej, Nr. 279. Mechanika, z. 83 (nr 1/2011). Technika i technologia montazu maszyn. – Rzeszow.– 2011. – С. 171 – 177.