

3. Кульгавий, Э. А. Триботехнические характеристики и их применение [Текст] / Э. А. Кульгавий // Проблемы трибологии. – 2003. – № 3. – С. 51 – 61.
4. Дроздов, Ю. Н. Трение и износ в экстремальных условиях [Текст] / Ю. Н. Дроздов, В. Г. Павлов, В. Н. Пучков. – М.: Машиностроение, 1986. – 224 с.
5. Маслов, Н. Н. Исследование влияния режимов технологических процессов на качество ремонта машин [Текст] / Н. Н. Маслов. – Л.: ВАТТ, 1968. – 272 с.
6. Буяновский, И. А. Развитие трибологии в России [Текст] / И. А. Буяновский // Трение и смазка в машинах и механизмах. Приложение к журналу «Сборка в машиностроении, приборостроении». – 2005. – № 2 (8). – С. 12-18.
7. Бригге, Д. Анализ поверхности методами оже- и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии [Текст] / Д. Бригге, М. П. Сих. – М.: Мир, 1987. – 600 с.
8. Карасик, И. И. Прирабатываемость, закономерности и методы оценки влияния приработки и изнашивания на триботехнические характеристики опор скольжения [Текст]: дис. док. техн. наук: 05.02.04/ И. И. Карасик. – М., 1983. – 450 с.
9. Фёдоров, С. В. Основы трибоэродинамики и физико-химические предпосылки теории совместимости [Текст] / С. В. Фёдоров. – Калининград: Изд-во КГТУ, 2003. – 400 с.
10. Мищук, О. А. Легирование поверхности металлов при трении под влиянием органических поверхностно-активных веществ [Текст]: дис. канд. физ.-мат. наук: 01.04.18/ О. А. Мищук. – К., 1996. – 194 с.

У статті для забезпечення точності складання з термовпливом багатоелементного з'єднання пропонується удосконалення нормативно-методичного матеріалу обчислення розмірної точності за рахунок отримання удосконаленої формули розрахунку розмірних ланцюгів та класифікації деталей типу «втулка» з визначенням температурних зазорів, що утворюються під дією температури

Ключові слова: нормативне забезпечення, якість складання, розмірна точність, термовплив, температурний зазор

В статье для обеспечения точности сборки с термовоздействием многоэлементного соединения предлагается усовершенствование нормативно-методического материала вычисления размерной точности за счет получения усовершенствованной формулы расчета размерных цепей и классификации деталей типа «втулка» с определением температурных зазоров, образующихся под действием температуры

Ключевые слова: нормативное обеспечение, качество сборки, размерная точность, термовоздействие, температурный зазор

УДК 621.78:006.91

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТОЧНОСТІ СКЛАДАННЯ З ТЕРМОВПЛИВОМ БАГАТО- ЕЛЕМЕНТНОГО З'ЄДНАННЯ

О. С. Черкашина

Асистент

Кафедра охорони праці,
стандартизації та сертифікації
Українська інженерно-педагогічна академія
вул. Університетська, 16,
м. Харків, Україна, 61003
E-mail: olgacherkacshina@mail.ru

1. Вступ

Однією із складових успішного виходу України на світовий ринок товарів є випуск конкурентоспроміжної продукції. Машинобудування - ключова галузь національного господарства, і його розвиток є визначальним для підвищення якості продукції інших галузей національної економіки. Тому основною задачею сучасного машинобудування є отримання продукції заданої якості.

Якість роботи машин та механізмів в значній степені залежить від якості виготовлення деталей та процесу складання, особливо це актуально для багатоелементного з'єднання. На сьогодні одним із прогресивних

методів складання являється метод з термовпливом, який полягає в нагріві деталь «втулка», що після охолодження призводить до скріплення з деталлю «вал». Такі методи застосовують у відповідальних конструкціях з високими вимогами до таких параметрів як міцність та точність з'єднання [1].

Процес складання базується на розробці конструкторської і технологічної документації. Тобто якість машини закладається на етапі технологічної підготовки виробництва. При розробці технологічного процесу складання обов'язковим являється розрахунок розмірних ланцюгів, що забезпечує розмірну точність складальної одиниці, в результаті чого досягається необхідна якість виробу в цілому [2]. Для

цього повинні бути єдині стандартизовані норми та правила розрахунку розмірних ланцюгів в залежності від точності та надійності конструкції.

Існуючі міждержавні, національні, галузеві нормативні документи регламентують порядок, правила розрахунку розмірних ланцюгів при умові, що посадочний діаметр «втулки» гарантовано більший від посадочного діаметру «вала». У випадку складання з термовпливом, в багатоеlementному з'єднанні між деталями після їх охолодження з'являються температурні зазори, що призводить до порушення розмірної точності складального вузлу, а в деяких випадках до неможливості процесу складання. У зв'язку з цим, необхідно розробити нормативний матеріал розрахунку розмірних ланцюгів з урахуванням температурних зазорів, які pojawiaються в процесі складання та розробити відповідні, стандартизовані методики та нормативні матеріали, що забезпечить якість технологічного процесу складання у машинобудуванні.

2. Аналіз досліджень та публікацій

Відповідно до положень щодо забезпечення якості складання пред'являються високі вимоги до розмірної точності складальної одиниці. У роботах вітчизняних та зарубіжних авторів таких, як Зиков А. А., Бакст А. С., Соколовський А. П., Яхін А. Б., Бородачов Н. А., Дунаєв П. Ф., Балакшин Б. С., Карпов Л. І., Лівшиц Б. І., Фридендер І. Г. та інших, наведено розрахунок розмірних ланцюгів з урахуванням методів досягнення точності замикаючої ланки [3 – 5]. Крім того в цих роботах пропонуються рекомендації, щодо вибору певного способу розрахунку в залежності від типу виробництва та кількості ланок розмірного ланцюга. Але в них немає матеріалу, за допомогою яких можна зробити розрахунок розмірного ланцюга в залежності від способу складання, зокрема складання з термовпливом, при якому з'являються температурні зазори після скріплення та охолодження деталей, особливо це актуально при багатоеlementному з'єднанні.

В Україні, при розробці технологічного процесу складання на етапі конструювання використовуються міждержавні стандарти такі, як ГОСТ 16319-80 – «Термины, обозначения и определения размерных цепей»; ГОСТ 16320-80 – «Методы расчета конструкторских, технологических и измерительных плоских размерных цепей», а на етапі складання використовують технологічні та конструкторські рішення для досягнення необхідної розмірної точності, що потребує додаткових технологічних операцій та витрат. Але зменшення сумарної похибки складання та зменшення технологічних операцій можливо на етапі конструювання за рахунок удосконалення методики розрахунку розмірних ланцюгів та відповідного нормативного забезпечення.

Таким чином, вирішення науково-технічного завдання є удосконалення нормативних документів з забезпечення якості складання з термовпливом в машинобудуванні на основі теорії розрахунку розмірних ланцюгів для отримання багатоеlementного з'єднання з заданими параметрами.

3. Мета та задачі дослідження

Мета роботи полягає в удосконаленні нормативно-методичного забезпечення якості процесу складання в умовах термовпливу на основі розрахунку розмірних ланцюгів, враховуючи температурні зазори для отримання багатоеlementного з'єднання з заданими параметрами.

Для досягнення постановленої мети було сформульовано такі задачі:

1. Проаналізувати існуючу нормативну базу з теорії розрахунку розмірних ланцюгів.
2. Проаналізувати вплив сил на зміну геометричних параметрів деталей при з'єднанні за допомогою нагріву та визначити, за яким законом розподілу змінюється величина зазору між елементами з'єднання.
3. Запропонувати удосконалену формулу розрахунку розмірних ланцюгів для отримання багатоеlementного з'єднання з заданими параметрами з урахуванням температурних зазорів.
4. Зробити класифікацію деталей типа «втулка» та отримати моделі визначення температурних зазорів між елементами з'єднання.

4. Визначення температурного зазору при складанні з термовпливом

Відомо, що у машинобудуванні процес складання з термовпливом визначається трьома операціями з деталлю типа «втулка»: нагрів, транспортування та складання [6, 7]. Операція нагріву деталі виконується за допомогою нагрівального пристрою, внаслідок чого відбувається зміна геометричних параметрів в бік збільшення. Операція транспортування складається з таких переходів, як захват деталі, витягання деталі з нагрівального пристрою, транспортування, орієнтація та установка на позицію складання. І остання основна операція складання полягає безпосередньо у формуванні з'єднання «вал-втулка» - утворення натягу між зовнішнім діаметром «вал» і внутрішнім діаметром «втулка» внаслідок перерозподілу тепла між деталями та середовищем.

Як показали дослідження при виконанні операції складання в осьовому напрямленні утворюється температурний зазор внаслідок зміни розмірів «втулка» в бік зменшення за рахунок одночасної дії радіальної сили та сили стискання, обумовлених відповідно внутрішнім контактним тиском у результаті натягу і температурними деформаціями (рис. 1).

На підставі аналізу процесів, що проходять під дією температури в зоні посадкової поверхні деталей, вперше було отримано математичну модель величини температурного зазору між елементами з'єднання в осьовому напрямленні. Дана величина складається з половин початкової температурної деформації і кінцевого загального осьового подовження кожної з «втулка» після її скріплення, і дорівнює:

$$\Delta = 0,5(\beta_{BT} l T_{BT} + \Delta_0), \quad (1)$$

де β_{BT} – коефіцієнт лінійного розширення «втулка»; l – довжина посадкової поверхні; T_{BT} – температура нагрі-

ву «втулка»; Δ_o - загальне осьове подовження «втулка» після її скріплення з «вал».

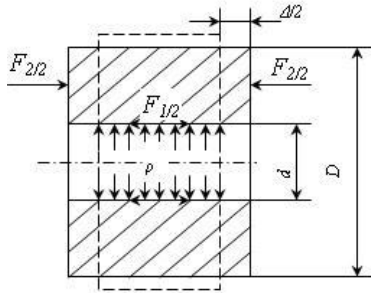


Рис. 1. Схема дії сил на зміну розмірів втулки за допомогою нагріву

У математичній моделі (1) рівняння загального осьового подовження «втулка» після її скріплення з «вал» визначили, як переміщення торцевій поверхні «втулка» Δ_{BT} і зменшення довжини «втулка» Δ' :

$$\Delta_o = \Delta_{BT} + \Delta', \quad (2)$$

де $\Delta_{BT} = \frac{2\mu\rho ld}{E(D^2 - d^2)}$,

де μ - коефіцієнт Пуассона; ρ - контактний тиск на посадковій поверхні, МПа; E - модуль пружності, МПа; l - довжина посадкової поверхні; d - внутрішній діаметр «втулка»; D - зовнішній діаметр «втулка».

$$\Delta' = \beta_{BT} l (T_{BT} - T_B),$$

де T_{BT} та T_B - поточна температура «вал» і «втулка» в будь-який момент часу процесу скріплення; β_{BT} - коефіцієнт лінійного розширення «втулка».

Загальне осьове подовження «втулка» було отримано при умові, що зовнішня поверхня деталі однакового діаметру. При умові, коли зовнішня поверхня «втулка» різного діаметру, або має вид у вигляді диску чи диску з ободом розроблено класифікацію деталі типа «втулка» з моделями визначення величини температурного зазору між елементами з'єднання в залежності від зміни загального осьового подовження «втулка» (табл. 1). З метою досягнення високої продуктивності отримана класифікація деталей може бути використана для конструкторських, технологічних та виробничих цілей, уніфікації конструкцій та технологічних процесів у виробництві. Запропоновані моделі визначення температурного зазору можуть бути використані в розрахунку розмірної точності виробу для досягнення зменшення сумарної похибки взаємного розташування поверхонь в осьовому напрямку.

На основі отриманого виразу (1), використовуючи програмне забезпечення Microsoft Office Excel, вперше були одержані нормативні параметри та залежності величини температурного зазору при різних температурах нагріву, матеріалах складальних одиниць, розмірах посадкових поверхонь, які дозволили отримати нормативні дані при удосконалення нормативного за-

безпечення точності складання з термовпливом при багатоелементному з'єднанні у машинобудуванні.

На рис. 2 показана зміна величин температурних зазорів Δ між елементами з'єднання «вал-втулка» для сталі 45 при умові, що зовнішня поверхня «втулка» одного діаметру, температура нагріву складає 150 °C, 200 °C, 250 °C, 300 °C і 320 °C та величини посадкової поверхні L змінюється у діапазоні від 30 до 200 мм.

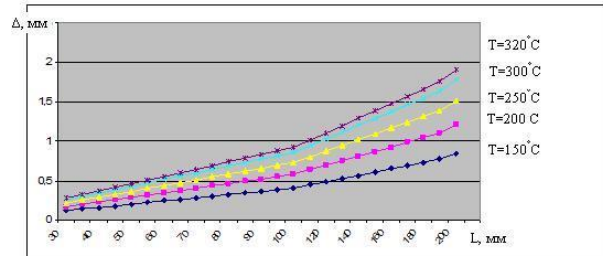


Рис. 2. Зміна зазорів між з'єднанням для Ст45 при різних температурах нагріву

На величину температурного зазору, крім дії радіальної сили та сили стискання, також можуть впливати випадкові фактори, такі як температура транспортування, час охолодження, чистота посадкової поверхні «вал» та «втулка» та інше, вплив кожного з якого достатньо малий, то по теоремі О. М. Ляпунова величина температурного зазору між елементами з'єднання в осьовому напрямленні змінюється за нормальним законом розподілу [8].

Для визначення розподілу температури та підтвердження зміни величини температурного зазору було виконано математичне модулювання теплового стану деталі типа «втулки» за допомогою використання існуючих систем автоматизованого інженерного аналізу, таких як SolidWorks 2010 та SolidWorks Simulation 2010 (рис. 3) [9, 10].

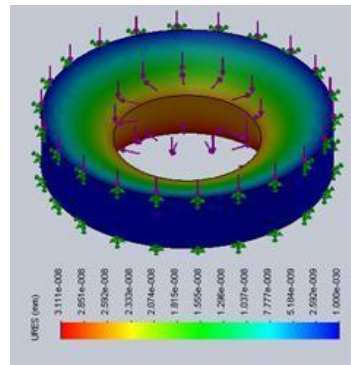
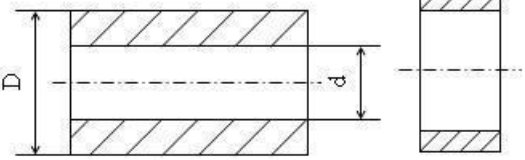
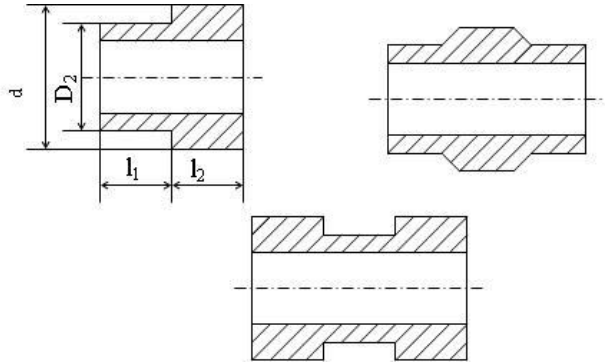
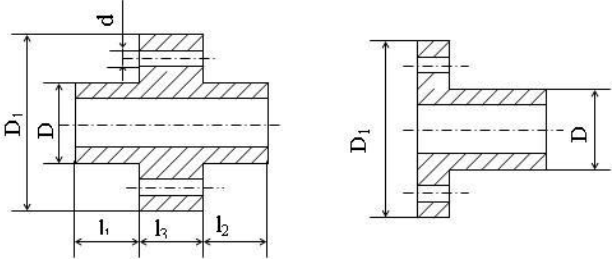
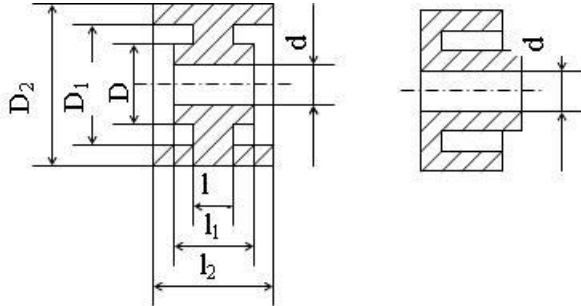


Рис. 3. Математичне моделювання теплового стану деталі типа «втулка»

Моделювання теплових процесів, що проходять, при складанні з термовпливом та знання закону розподілу зміни температурних зазорів дає можливість керувати зв'язками, що утворюються між поверхнями деталей, і відповідно використати отриману величину зазору між елементами з'єднання в осьовому напрямленні для зменшення сумарної похибки складання з термовпливом при багатоелементному з'єднанні за допомогою розрахунку розмірних ланцюгів.

Таблица 1

Классификация деталей типа «втулка» с указанием температурного зазора между элементами з'єднання

| Характеристика деталей типа «втулка» | Эскиз детали | Модели визначення температурного зазору |
|---|--|---|
| З зовнішньою поверхнею одного діаметра |  | $\Delta = 0,5(\beta_{BT}lT_{BT} + \Delta_o)$ $\Delta_o = \frac{2\mu\rho ld}{E(D^2 - d^2)} + \beta_{BT}l(T_{BT} - T_B)$ |
| З зовнішньою поверхнею різного діаметра |  | $\Delta = 0,5(\beta_{BT}lT_{BT} + \Delta_o)$ $\Delta_o = \frac{2\mu\rho l_1 d}{E(D_1^2 - d^2)} + \frac{2\mu\rho l_2 d}{E(D_2^2 - d^2)} + \beta_{BT}l(T_{BT} - T_B)$ |
| З диском |  | $\Delta = 0,5(\beta_{BT}lT_{BT} + \Delta_o)$ $\Delta_o = \frac{2\mu\rho l_1 d}{E(D_1^2 - d^2)} + \frac{2\mu\rho l_2 d}{E(D_2^2 - d^2)} + \frac{2\mu\rho l_3 d d_1}{E(D_1^2 - d^2 - d_1^2)} + \beta_{BT}l(T_{BT} - T_B)$ |
| З диском та ободом |  | $\Delta = 0,5(\beta_{BT}lT_{BT} + \Delta_o)$ $\Delta_o = \frac{2\mu\rho ld}{E(D^2 - d^2)} + \frac{2\mu\rho l_1 D}{E(D_1^2 - D^2)} + \frac{2\mu\rho l_2 D_1}{E(D_2^2 - D_1^2)} + \beta_{BT}l(T_{BT} - T_B)$ |

На етапі технологічної підготовки виробництва у машинобудуванні вперше пропонується використувати удосконалену формулу розрахунку розмірних ланцюгів для отримання багатоеlementного з'єднання з заданими параметрами з урахуванням температурних зазорів, яка має вигляд:

$$A_{\Delta} = \sum_{i=1}^n (\xi_{A_i} A_i - (\beta_{BT} l_i T_{BT} + \Delta_o)), \quad (3)$$

де A_{Δ} – номінальний розмір замикаючої ланки розмірного ланцюга; A_i – номінальний розмір складової ланки розмірного ланцюга; ξ_{A_i} – передавальне відношення i – ланки, яке може приймати різний зміст та значення в залежності від виду розмірного ланцюга.

Удосконалена формула розрахунку розмірного ланцюга дозволяє зменшити сумарну похибку складання з термовпливом без виконання додаткових технологічних операцій.

5. Висновки

Отримані в роботі нормативно-методичні матеріали з забезпечення точності складання з термовпливом в машинобудуванні здійснюється за рахунок розробки

наукових засад розрахунку розмірних ланцюгів з урахуванням температурних зазорів, які з'являються в процесі складання при багатоеlementному з'єднанні в осьовому напрямленні.

Література

1. Демин, Ф. И. Исследование размерных связей соединений и передач при конструировании и изготовлении изделий [Текст] / Ф. И. Демин // Известия вузов. Авиационная техника. -1982. - № 1. - С. 77-82.
2. Булатов, В. П. Расчет точности машин и приборов [Текст] / В. П. Булатов, И. Г. Фридлиндер. - СПб.: Политехника, 1993. - 495 с.
3. Бородачев, Н. А. Анализ качества и точности производства [Текст] / Н. А. Бородачев. - М.: Машгиз, 1946.-251 с.
4. Кубарев, А. И. Методика расчета размерных цепей [Текст] / А. И. Кубарев Ю. В. Лопаткин. -М.: ВНИИНМАШ, 1970. - 66 с.
5. Солонин, И. С. Расчет сборочных и технологических размерных цепей [Текст] / И. С. Солонин, С. И. Солонин. - М.: Машиностроение, 1980. - 110 с.
6. Rychlik, I. Probability and Risk Analysis [Текст] / I. Rychlik, J. Ryden. - An Introduction for Engineers, Springer, 2006.
7. Juran, J. M. Juran's Quality Handbook [Текст] / J. M. Juran. - McGraw-Hill Professional. - 5th edition. - September 1, 2000. -1730.
8. Saaty, T. L. An eigenvalue allocation model for prioritization and planning [Текст] / T. L. Saaty. - Energy Management and Policy Center, University of Pennsylvania, 1972.
9. Bathe, K. J. Computational Fluid and Solid Mechanics [Текст] / K. J. Bathe. - Elsevier Science, 2003. – 2524.
10. Lombard, M. SolidWorks 2011 Parts Bible [Текст] / M. Lombard. - // John Wiley, 2011. – 864.

Розглядаються недоліки сучасної теорії повітряно-реактивних двигунів, пов'язані з помилковою теоремою о під'йомній силі продувального профілю, розрахованою професором М. Є. Жуко-вським у його статті "Вихревая теория гребного винта" у 1912 р. Основною помилкою, яку він допустив при виведенні теорему про підйомної сили продувального профілю, формула (1), є введення такого помилкового поняття, як циркуляція

Ключові слова: кінематичний аналіз, тяга продувального профілю, під'йомна сила

Рассматриваются недостатки современной теории воздушно-реактивных двигателей, связанные с ошибочной теоремой о подъемной силе продувального профиля, выведенной профессором Н. Е. Жуковским в его статье "Вихревая теория гребного винта" в 1912 г. Основной ошибкой, которую он допустил при выводе теоремы о подъемной силе продувального профиля, формула (1), является введение такого ошибочного понятия, как циркуляция

Ключевые слова: кинематический анализ, тяга продувального профиля, подъемная сила

УДК 629.7.036.001

**ЕДИНАЯ ТЕОРИЯ
ДВИЖИТЕЛЕЙ НА
НЕПРЕРЫВНЫХ
ПОТОКАХ.
КРАТКАЯ ТЕОРИЯ
ОДНОРЯДНЫХ
ВОЗДУШНЫХ ВИНТОВ**

Б. Ш. Мамедов
Кандидат технических наук, доцент
Запорожский национальный
технический университет
ул. Жуковского, 64, г. Запорожье, Украина, 69063

1. Введение

В своей статье "Вихревая теория гребного винта" 1912 г. профессор Н. Е. Жуковский приводит вывод теоремы о подъемной силе продувального профиля:

$$P = \rho \omega_{\infty} \Gamma, \tag{1}$$

$$\text{где } \Gamma = t \Delta W_u \text{ [1],} \tag{2}$$

где ρ – плотность продувального потока; ω_{∞} – скорость продувального потока в бесконечности; Γ – циркуляция скорости продувального потока вокруг профиля; t – расстояние между продуваемыми профилями; ΔW_u – циркуляция скорости продувального потока вокруг профиля [1].