

УДК 621.8

В. М. Нечипоренко, П. І. Літовченко, Л. П. Іванова

## **ВИБІР І АВТОМАТИЗОВАНИЙ РОЗРАХУНОК РАЦІОНАЛЬНИХ ПОСАДОК З НАТЯГОМ НА ОСНОВІ ДОДАТКОВИХ КРИТЕРІЇВ**

*Наведені результати досліджень з підвищення ефективності автоматизованого розрахунку і вибору посадок з натягом на основі системи обмежень їх міцнісних, експлуатаційних та технологічних параметрів з використанням додаткових критеріїв вибору.*

*К л ю ч о в і с л о в а: посадка з натягом, автоматизований розрахунок, система обмежень, технологічні методи створення посадок, мінімальний питомий тиск, максимальний граничний натяг.*

**Постановка проблеми.** У сучасному високоавтоматизованому машинобудуванні на перший план виходить проблема підвищення надійності механізмів і агрегатів машин. Її рішення пов'язане з підвищенням рівня автоматизації та ефективності проектування і виробництва, технічного рівня виробів. У сучасних машинах і військовій техніці широко застосовуються пресові посадки (посадки з гарантованим натягом), які є одним з найбільш використовуваних видів нероз'ємних з'єднань. Від правильного підбору і розрахунку параметрів пресових посадок залежать міцність і надійність машин та механізмів, у яких вони застосовуються.

Розв'язування задач зі створення якісних пресових посадок забезпечує ефективний технологічний ланцюжок, тобто застосування автоматизованого розрахунку і вибору параметрів посадок на етапі їх проектування, сучасних технологій складання пресових з'єднань, високопродуктивного устаткування та надійних засобів контролю й вимірювання.

У сучасному машинобудівному виробництві все більшого поширення набуває технологія CAE/CAD/CAM, тобто безпаперове виробництво. Суть його полягає у використанні на етапі розрахунків параметрів машин, їх оптимізації автоматизованих систем інженерних розрахунків (CAE) з передаванням результатів розрахунків комунікаційними мережами у системи автоматизованого проектування (CAD), дані з яких поступають на верстати з ЧПУ і обробляючі центри у вигляді управляючих програм, що створюються у системах CAM.

Застосування систем CAE/CAD/CAM потребує створення нових методів і програмних засобів автоматизованого проектування посадок з натягом, які у подальшому можуть бути інтегровані як підсистеми у CAE/CAD/CAM.

Закономірність розподілу навантаження, а відповідно міцність і герметичність у з'єднаннях з натягом, недостатньо вивчені. З цієї причини величину дійсного натягу, що залежить від стану обробленої поверхні, технології способу складання, типу й контактної площі з'єднання, властивостей матеріалів, що з'єднуються, а також інших факторів, важко прогнозувати, оскільки вона має випадковий характер. Значення дійсного натягу може варіюватися у широкому діапазоні за однакових умов створення посадки. Наприклад, якщо натяг у посадці буде близький до свого мінімального значення, то може не забезпечуватися міцність з'єднання у тангенціальному напрямку. У випадку використання посадки з максимальним значенням натягу ймовірно є поява й розвиток тріщин у більш слабкій деталі з'єднання внаслідок неприпустимого збільшення питомого тиску у посадці.

За таких умов актуальною задачею є визначення вже на етапі автоматизованого проектування у границях діапазону допустимих розрахункових значень області таких значень натягу, за яких забезпечуються технологічні умови отримання ефективних і надійних посадок з натягом різного функціонального призначення.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Частіш за все, підвищувати міцність з'єднань з натягом можна шляхом варіювання їх геометричних параметрів або коефіцієнта тертя. У першому випадку конструктивні особливості з'єднаних деталей не завжди можуть забезпечити можливість зміни їх габаритів.

У другому випадку у разі використання відомих технологічних методів [1] міцність посадок досягається:

- підбором технології складання з'єднання (поздовжній метод, поперечний метод з нагріванням або охолодженням, гідропресовий метод, комбінований метод) [2];
- підбором технології оброблення з'єднаних поверхонь (точіння, шліфування, розвертання, дорнування тощо) з метою отримання поверхні з мінімально можливим значенням шорсткості [2];

– нанесенням між з'єднуваними поверхнями відповідних покриттів, речовин або додаткових матеріалів (консистентних самотвердіючих рідин, хімічних розчинів, композитних сумішей у вигляді дрібнодисперсних порошків металів чи їх оксидів, ущільнювачів, центруючих матеріалів тощо) [2; 3].

Проектують такі з'єднання, частіш за все, за допомогою методів прецедентів або подібності, які не завжди відповідають вимогам надійності до даного виробу і конкретним умовам його експлуатації. Зауважимо, що застосування додаткових технологічних операцій зі зменшення шорсткості або введення проміжних середовищ підвищують собівартість отримання з'єднання. Крім того, залежно від того чи іншого фактора (типу поверхні, виду з'єднання, способу складання, матеріалів з'єднання тощо), слід урахувувати систему обмежень на вихідні параметри і проміжні результати розрахунку посадок з натягом та встановлювати функціональний зв'язок цих параметрів з кінцевою множиною посадок, які відповідають умовам розрахунку [4].

Авторами праці [4] запропоновано системний підхід до автоматизованого розрахунку пресових посадок різного функціонального призначення, оснований на застосуванні системи обмежень їх міцнісних, експлуатаційних та технологічних параметрів. Методика реалізована у вигляді програми автоматизованого розрахунку посадок, логічна структура якої враховує зазначену систему обмежень. У результаті розрахунку з використанням даної програми користувач має можливість отримати перелік спроектованих посадок, які відповідають заданій системі обмежень. Задача користувача-проектувальника полягає у виборі проектного рішення із запропонованого списку посадок, який складається з кінцевої множини (1–12 варіантів) таких рішень, виданих комп'ютерною програмою. Але за такого підходу, по-перше, користувач повинен мати високу кваліфікацію для вибору найбільш оптимальної посадки, при цьому значно зростає суб'єктивний фактор; по-друге, такий підхід хоч і базується на аналізі результатів розрахунку, але все ж таки є візуальним.

**Мета статті:** подати матеріал розроблених методики і засобів обґрунтованого вибору раціонального проектного рішення для автоматизованого розрахунку і проектування з'єднань з натягом на основі введення додаткових критеріїв, за якими виконується автоматизований вибір остаточного варіанта посадки з кінцевої множини припустимих отриманих проектних рішень.

**Виклад основного матеріалу.** Для розв'язування поставленої задачі необхідно визначити додаткові критерії, якими можуть бути:

- мінімальний питомий тиск  $p_{\min}$  на спряжені поверхні з'єднання, що забезпечує їх максимальну міцність;
- мінімальна потрібна довжина  $l$  спряжених поверхонь, що забезпечує мінімальні габарити з'єднання для заданих умов;
- мінімальна температура нагріву  $t_{2\min}$  охоплюючої деталі або максимальна температура охолодження  $t_{1\max}$  охоплюваної деталі при термічному способі отримання посадки, що забезпечує збереження фізико-механічних властивостей деталей з'єднання;
- максимальний граничний натяг  $N_{\max}$ , що припускає міцність з'єднаних деталей;
- мінімальну силу пресування  $F_3$  при механічних способах отримання з'єднання, що спрощує технологічний процес отримання посадок і знижує остаточну деформацію у деталях посадки.

У результаті розв'язування задач, які поставлені у даній роботі, програму автоматизованого розрахунку посадок з натягом, запроповану у роботі [4], необхідно модернізувати, щоб виконувати такі дії:

- формувати список можливих проектних рішень і виводити їх у діалоговому вікні;
- у відповідному списку цього вікна виводити список додаткових критеріїв вибору раціональної посадки;
- після вибору проектувальником одного з додаткових критеріїв, сортувати список проектних рішень в порядку убутання (зростання) заданого додаткового критерію;
- в окремому вікні відображати найбільш раціональне проектне рішення з урахуванням додаткового критерію вибору.

Відповідно до цих вимог була модернізована програма Posadka [1] (див. рис. 1) і виконані розрахунково-аналітичні дослідження, що підтверджують адекватність розробленої методики і ефективність її використання.

**Програма розрахунку з'єднань з натягом** 14.11.2011 0:00:52

**Дані до розрахунку:**

Тип посадочної поверхні: Циліндрична

Вид з'єднання: Вал-маточина

Спосіб отримання з'єднання: Механічне пресування

Матеріал деталей, що з'єднуються: Сталь-сталь

Точність виготовлення деталей з'єднання (квалітет): 8

Обертальний момент  $T$ , Нм: 42

Осьова сила  $F_a$ , Н: 600

Посадочний діаметр  $d$  (dcp), мм: 58

Діаметр трубчастої внутрішньої поверхні валу  $d_1$ , мм: 0

Умовний зовнішній діаметр маточини  $d_2$ , мм: 70

Середня об'ємна температура основи маточини  $tr_1$ , град С: 20

Середня об'ємна температура внутрішньої поверхні вінця  $tr_2$ , град С: 20

Коефіцієнт запасу міцності посадки  $K$ : 4.70

$K=4.5...5$  - для проміжних валів редукторів;  $K=4...4.5$  - для вихідних валів із зірочкою або шківом на консолі;  $K=3...3.5$  - для вихідних валів з муфтою на консолі

Методика і алгоритм - доц. Нечипоренко В.М.  
 Програма і інформаційна база - доц. Літовченко П.І.  
 2010 рік

Призвище курсанта (студента): Лемешко  
 Номер варіанта завдання: ВСТВ 06.359.14  
 Призвище викладача: Літовченко

Рис. 1. Головне вікно програми Posadka

Розглянемо результати цих досліджень. На їх початковому етапі сформовано і введено в головне вікно програми Posadka (рис. 1) масив вихідних даних досліджень.

Вихідні дані необхідно підбирати таким чином, щоб забезпечити максимальну кількість програмних проектних рішень, які виводяться у відповідному вікні програми в результаті розрахунку (рис. 2).

**Розрахункові параметри посадок:**

Мінімальний розрахунковий натяг, мкм: 21.62

Максимальний розрахунковий натяг, мкм: 100.00

**Посадки, які відповідають умовам розрахунку:**

Posadka	Nmin	Nmax	PP
H7/s6	24	53	***
H7/h6	35	64	**
H7/s7	25	61	**
H7/u7	52	88	**
H8/u8	42	98	**
H7/h7	31	67	*
H7/h6	58	94	*

\*\*\* - посадки переважного застосування  
 \*\* - посадки, рекомендовані до застосування  
 \* - посадки, дозволені до застосування

Буде обрано посадку:

Позначення посадки: H7/s6

Мінімальний ймовірнісний натяг  $N_{minIm}$ , мкм: 24.00

Максимальний ймовірнісний натяг  $N_{maxIm}$ , мкм: 53.00

Всього підібрано посадок: 7

Підібрати посадку вручну

Вихід з програми

Далі

Рис. 2. Виведення результатів списку посадок

Методика розроблена і тестована на прикладі дослідження конкретного з'єднання з натягом – безшпонкового з'єднання по циліндричній поверхні при механічному пресуванні вала з маточиною

зубчастого конічного колеса. Довжина з'єднання  $l$  фіксована. За результатами цього розрахунку побудована крива раціонального сполучення питомого тиску і натягу  $F$  у посадках безшпонкового з'єднання по циліндричній поверхні при механічному пресуванні вала з маточиною зубчастого конічного колеса та фіксованій довжині з'єднання  $l = 63$  мм (рис. 3).

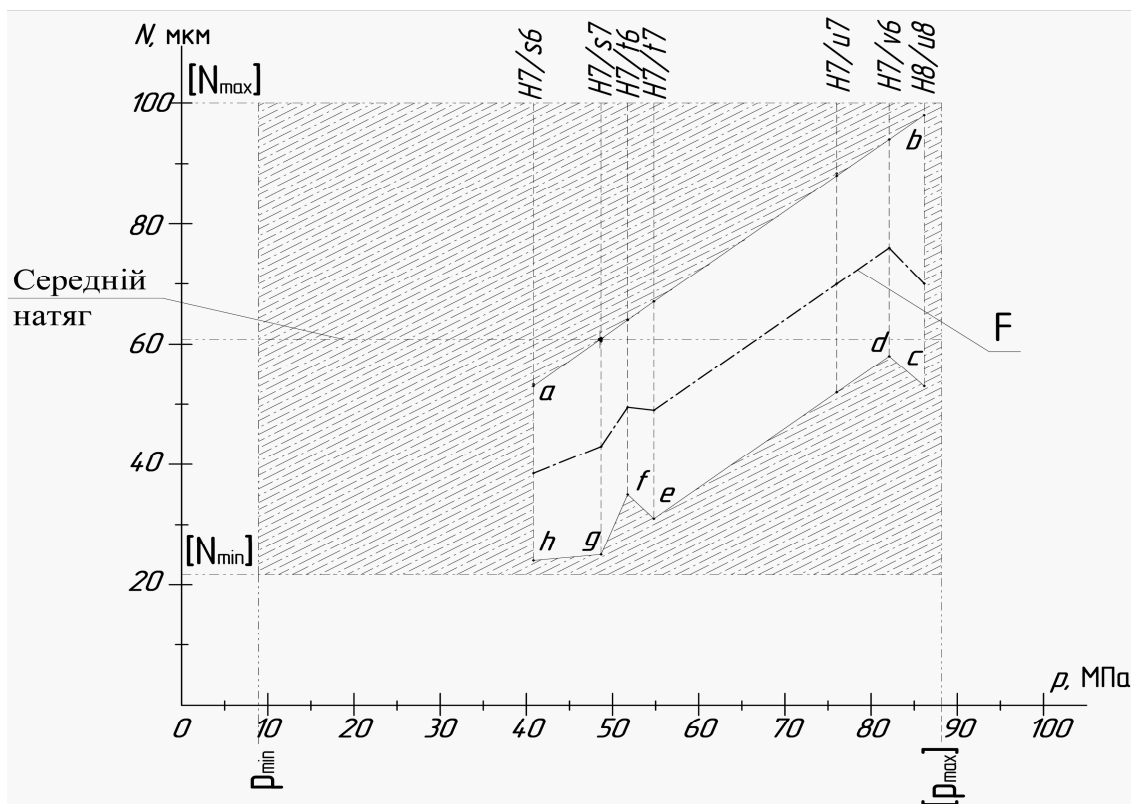


Рис. 3. Результати дослідження безшпонкового з'єднання по циліндричній поверхні та фіксованій довжині з'єднання  $l = 63$  мм:

$[N_{\min}]$ ,  $[N_{\max}]$  – відповідно мінімальний і максимальний розрахункові натяги у посадці;

$[p_{\max}]$  – максимальний допустимий питомий тиск;  $p_{\min}$  – мінімальний розрахунковий питомий тиск;

$F$  – крива раціонального сполучення питомого тиску і натягу в посадці

У побудові зазначеної кривої враховані такі міркування. Значення мінімального контактного тиску  $p_{\min}$  повинно бути таким, щоб забезпечити знаходження деталей з'єднання в межах пружної деформації, також необхідно забезпечити нерухомість самого з'єднання.

Значення максимального допустимого тиску  $[p_{\max}]$  повинно забезпечувати неруйнування жодного з елементів з'єднання (в більшості випадків – отвору). Із вказаних міркувань крива раціонального сполучення натягу і питомого тиску у посадці будувалась як геометричне місце точок перетину ліній середнього значення натягу і середнього питомого тиску. При цьому вважаємо, що ймовірнісні розподіли значень натягу у посадці і питомого тиску в ній підкоряються нормальному закону, отже, математичне сподівання цих величин має бути саме у середині діапазонів їх розрахункових значень.

Як видно з рис. 3, околиці кривої за обома координатами створюють область  $abcdefgh$  існування посадки для заданих умов експлуатації і способу отримання з'єднання. З рисунка також видно, що у випадку використання посадок з валами і отворами одного квалітету форма вказаної області мала бути паралелограмом. Викривлення цієї форми є наслідком використання вала більш високого (точка  $f$ ) квалітету або вала і отвору нижчого (точка  $c$ ) квалітету точності.

Сумісний аналіз кривої  $F$  і області  $abcdefgh$  дає можливість проектувальнику вибрати посадку, найбільш раціональну для даних умов експлуатації і технології складання з'єднання. Найбільш раціональними вважатимуться посадки, розташовані у середині області  $abcdefgh$ , як по координаті  $N$ ,

так і по координаті  $p$ . Для прикладу, наведеного на рис. 3, це посадки  $H7/s7$ ,  $H7/t6$  і  $H7/t7$ , які за достатнього питомого тиску  $p$  забезпечують найменший потрібний натяг  $N$ .

### **Висновки**

Описана методика дозволяє значно формалізувати процес автоматизованого розрахунку посадок з гарантованим натягом, а використання додаткових критеріїв вибору підвищує швидкість та правильність прийняття проектного рішення в ході автоматизованого проектування посадок. Крім того, можливо більш обґрунтовано здійснювати вибір посадок з рекомендованого списку припустимих умов експлуатації, що значно підвищує практичне значення вказаної методики для реального проектування посадок у машинобудуванні.

Перспектива розвитку досліджень. У статті розглянуто плоску задачу, причому отримані результати не дозволяють охопити всі параметри посадок, які розглядаються, тому перспективним напрямком проведення подальших досліджень можуть бути дослідження посадок за трьома і більше параметрами, що варіюються.

### **Список використаних джерел**

1. Малицкий, И. Ф. Качество соединений с гарантированным натягом деталей с недостаточной жесткостью [Электронный ресурс] / И. Ф. Малицкий, А. Б. Ярославова. – Режим доступа : [http://www.nbuu.gov.ua/portal/natural/Vejpt/2005\\_3\\_2/EEJET\\_3\\_2\\_2005\\_33\\_36.pdf](http://www.nbuu.gov.ua/portal/natural/Vejpt/2005_3_2/EEJET_3_2_2005_33_36.pdf) (дата обращения : 04.03.12). – Загл. с экрана.
2. Кулиш, Е. В. Разработка методики расчета прессовых полисоединений [Электронный ресурс] / Е. В. Кулиш, Ю. В. Турыгин. – Режим доступа : [www/URL:http://www.istu.ru/files/materials/3509](http://www.url:http://www.istu.ru/files/materials/3509) (дата обращения : 20.10.10). – Загл. с экрана.
3. Кравцов, М. К. Промежуточные среды в соединениях с натягом [Текст] / М. К. Кравцов, А. А. Святуха, В. В. Чернов. – Х. : Штрих, 2001. – 200 с.
4. Літовченко, П. І. Про підвищення ефективності та рівня формалізації автоматизованого розрахунку посадок з натягом [Текст] / П. І. Літовченко, В. М. Нечипоренко // Збірник наукових праць Академії внутрішніх військ МВС України. – Х. : Акад. ВВ МВС України, 2011. – Вип. 2 (18). – С. 81–87.

*Стаття надійшла до редакції 21.06.2012 р.*