

**А.Г.АНДРЕЄВ**, канд. техн. наук, доц., НТУ «ХПІ»;  
**В.О.БЕЛОСТОЦЬКИЙ**, канд. техн. наук, доц., Харківський  
національний технічний університет сільського господарства;  
**О.В.ЩЕПКИН**, наук. співр., НТУ «ХПІ»

## ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ГАЙКИ ЗІ СТОПОРНИМ ПОСАДОЧНИМ КІЛЬЦЕМ

Стаття присвячена дослідженню напружено-деформованого стану самостопорної гайки в умовах експлуатації при посадці її на вал з натягом, що тягне за собою переміщення в сполучних точках й може негативно впливати на надійність стопоріння при динамічних навантаженнях.

The given article is devoted probe of the is intense-deformed condition of a self-stopped nut at maintenance with a condition of its landing to the shaft with a tightness that involves migrations to the interfaced points and can negatively affect reliability of latching at dynamic loads.

Гайка зі стопорним посадочним кільцем [1] застосовується в різьбових з'єднаннях для безступінчатого затягування або регулювання деталей, забезпечуючи тим самим високу надійність стопорення при динамічних навантаженнях.

Перед загвинчуванням стопорне кільце нагрівається і після охолодження виявляється посадженим на вал з натягом. Можливе також складання та розбирання таких з'єднань в холодному стані. Подібне з'єднання призводить до виникнення моменту пружних сил, які діють на посадочне кільце і викликають його поворотну деформацію.

Досліджувався напружено-деформований стан гайки зі стопорним посадочним кільцем типу М42-50-2,5, із зовнішнім діаметром кільця 50 мм, товщиною циліндрової перемички 2,5 мм, діаметром посадки 36 мм, натягом стандартної посадки  $30 \cdot 10^{-6} \dots 144 \cdot 10^{-6}$  м (рис. 1). Дія закріплюваною за допомогою гайки деталі імітується силою  $F$ .

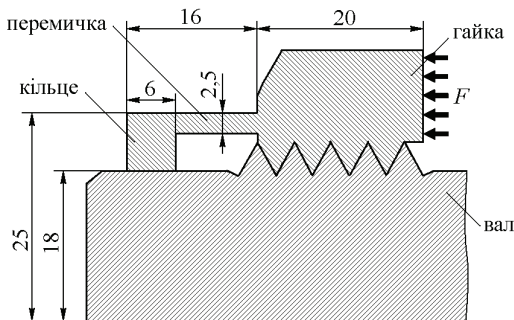


Рисунок 1 – Гайка зі стопорним посадочним кільцем

Конструкція розглядається як тіло обертання. Для розрахунку напружено-деформованого стану й розв'язання температурної задачі був застосований метод скінчених елементів [2-4]. Конструкція апроксимується тороїдальними скінченими елементами трикутного поперечного перерізу з трьома вузлами. Дослідження процесу у деталях перерозподілу тепла вимагає розв'язання нестационарної температурної задачі, яка описується рівнянням

$$[C] \frac{\partial \vec{T}}{\partial t} + [K] \vec{T} = \vec{F},$$

де  $\vec{T}$  – вектор температур,  $t$  – час,  $[C]$  – матриця демпфування тіла,  $[K]$  – матриця теплопровідності,  $\vec{F}$  – вектор зовнішніх навантажень.

При розв'язанні нестационарної задачі частинна похідна за часом замінюється її кінцево-різницеvim аналогом із застосуванням центральної різницевої схеми

$$\frac{d\vec{T}}{dt} = \frac{\vec{T}^{(1)} - \vec{T}^{(0)}}{\Delta t},$$

звідки

$$\left( [K] + \frac{2}{\Delta t} [C] \right) \vec{T}^{(1)} = \left( \frac{2}{\Delta t} [C] - [K] \right) \vec{T}^{(0)} + \vec{F}^{(0)} + \vec{F}^{(1)},$$

де  $\Delta t = t^{(1)} - t^{(0)}$  – крок за часом,  $\vec{T}^{(0)}$ ,  $\vec{F}^{(0)}$ ,  $\vec{T}^{(1)}$ ,  $\vec{F}^{(1)}$  – вектори-стовпці температурних полів і праних частин рівняння у момент часу  $t^{(0)}$  і  $t^{(1)}$  відповідно.

Для дослідження контактної взаємодії деталей у процесі складання використовуються контактні елементи, які з'єднують вузли контактуючих деталей і моделюють стан сила-зсув або зазор, а також теплопередачу в зоні контакту. Контактний елемент містить 2 вузли з однаковими координатами, що належать до суміжних контактуючих тіл, і має довжину  $L$  уздовж лінії контакту в площині поперечного перерізу (вся область, де можливий контакт, має бути «розподілена» між контактними елементами).

Зону діючого контакту й величину прослизання або зазору знаходять ітераційним шляхом, на кожній ітерації після визначення НДС уточнюється стан кожного з контактних елементів. Контактний термічний опір  $R$  залежить чистоти обробки дотичних поверхонь, температури, тиску  $\sigma$  в зоні контакту або величини зазору  $B_G$ . Термічний контактний опір зручно оцінювати величиною еквівалентної товщини матеріалу  $B$ , температурний перепад на якій відповідає температурному стрибку в зоні контакту (рис. 2).

Характеристики матеріалу конструкції: модуль пружності  $E = 2,1 \cdot 10^5$  МПа; коефіцієнт Пуассона  $\nu = 0,33$ ; коефіцієнт лінійного розширення  $\alpha = 12 \cdot 10^{-6}$  град<sup>-1</sup>; щільність  $\rho = 7800$  кг/м<sup>3</sup>; питома теплоємність  $c = 460$  Дж/кг · град.; коефіцієнт теплопровідності  $\lambda = 80$  Вт/м · град.; коефіцієнт тертя в зоні контакту  $f = 0,15$ ; термічний опір у зоні контакту  $R = 176 \cdot 10^{-3}$ ;  $84 \cdot 10^{-3}$ ;  $15 \cdot 10^{-3}$  м<sup>2</sup> · град/Вт (при стискаючій напрузі, яка дорівнює 0, 10, 100 МПа відповідно) [5].

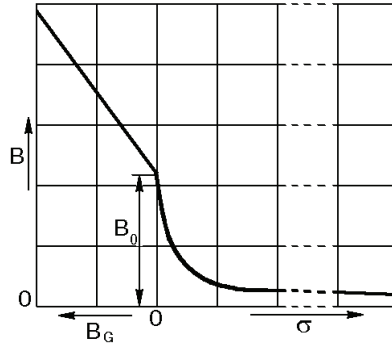


Рисунок 2 – Залежність еквівалентної товщини  $B$  контактної елемент від стану зони контакту

На рис. 3 показаний процес теплопередачі після закручування на вал гайки, нагрітої до температури  $320\text{ }^{\circ}\text{C}$ , величина діаметрального натягу прийнята  $30 \cdot 10^{-6}\text{ м}$ .

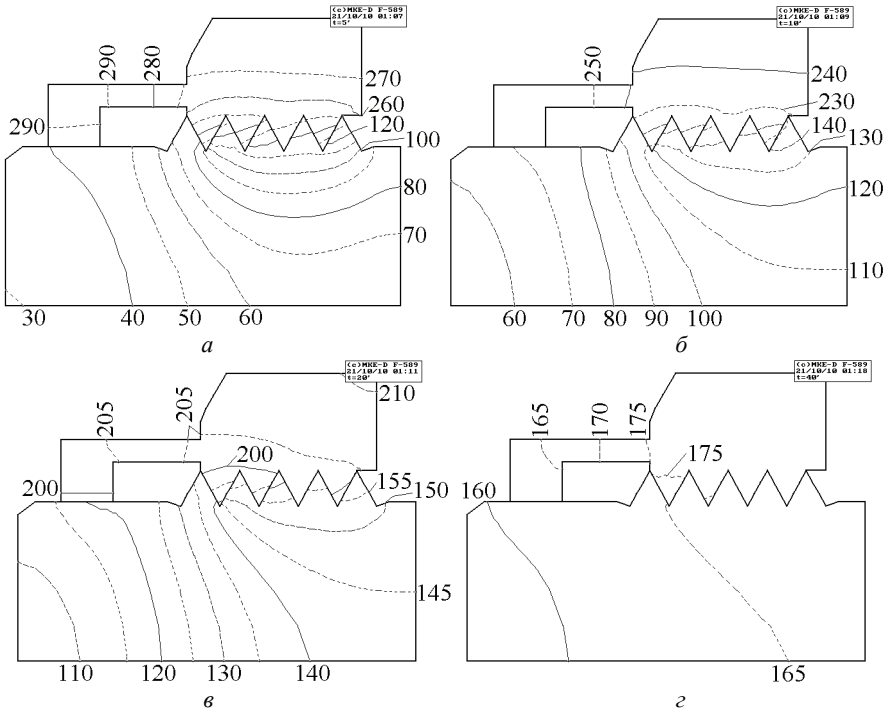


Рисунок 3 – Розподіл температури в гайці та у валу у моменти часу 5 с (а), 10 с (б), 20 с (в) і 40 с (г) з початку з'єднання деталей

На рис. 4 представлений розподіл напружень в зоні контакту стопорного кільця з валом. З'єднання деталей без нагріву призводить до часткового розкриття посадки вал-стопорне кільце (рис. 5, а) – стопорне кільце повертається, розкриваючи посадку назустріч валу, що входить, а надалі повертається в іншому напрямі (рис. 5, б).

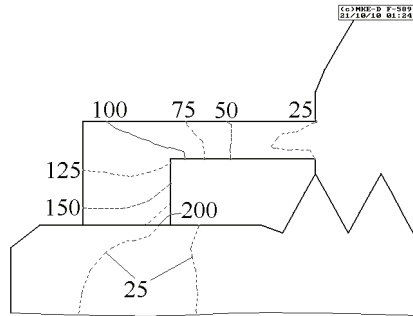


Рисунок 4 – Розподіл еквівалентних напружень в зоні контакту стопорного кільця гайки з валом після остигання, МПа

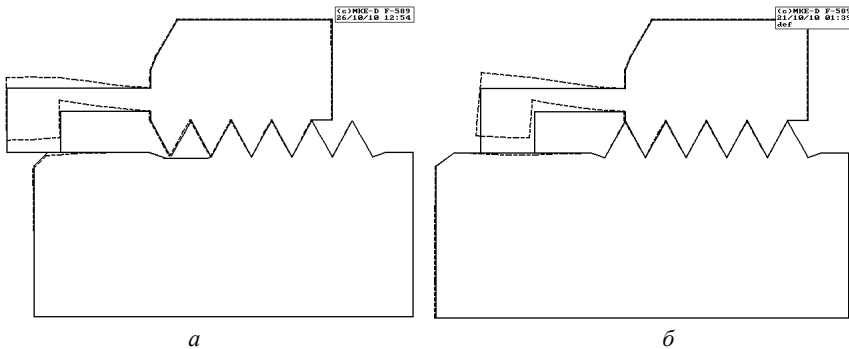


Рисунок 5 – Схема деформування з'єднання валу з гайкою при загвинчуванні без нагріву

На рис. 6 показаний розподіл напружень і схема деформування в деталі при навантаженні гайки силою  $F$  величиною 1 т (див. рис. 1), яка імітує вплив деталі, яка закріплена гайкою. Найбільші напруги виникають на внутрішньому торці стопорного елемента.

Дослідження процесу складання з'єднання з використанням стопорної гайки дозволяє зробити наступні висновки: час вирівнювання температури нагрітої гайки і валу після складання становить приблизно 1 хв; нагрів гайки до  $320\text{ }^{\circ}\text{C}$  дозволяє проводити теплову посадку, якщо натяг не більший  $60 \cdot 10^{-6}$  м; при збільшенні натягу більше  $60 \cdot 10^{-6}$  м на внутрішньому торці стопорного елемента з'являються пластичні деформації.

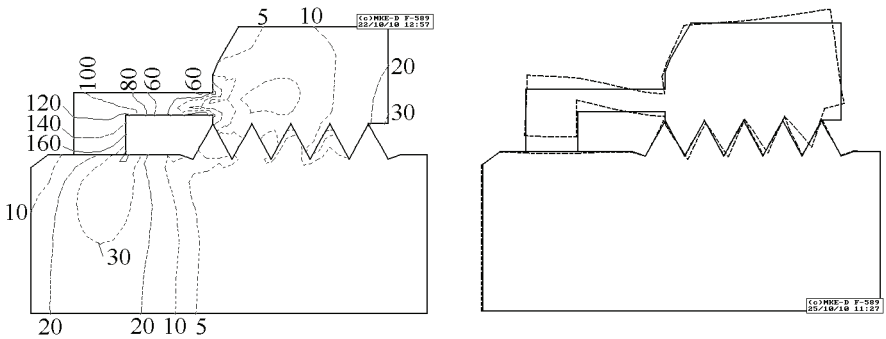


Рисунок 6 – Розподіл еквівалентних напружень і схема деформування в стопорній гайці при її навантаженні силою 1 т, яка імітує вплив закріпленої деталі

**Список літератури:** 1. А.с. № 179556 СССР. Самостопорящаяся гайка / Г.Я.Андреев, В.А.Белостоцкий, Н.М.Лактионов, Б.М.Арпентьев, В.И.Кушаков // Бюл. изобрет. – 1966. – № 5. 2. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. М.: Мир, 1975. 541. с. 3. Сегерлинд Р. Применение метода конечных элементов. М.: Мир, 1979. 392 с. 4. Чигарев А.В., Кравчук А.С., Смалюк А.Ф. ANSYS для инженеров: справочное пособие. – М.: Машиностроение, 2004. – 512 с. 5. Миллер В.С. Контактный теплообмен в элементах высокотемпературных машин. – Киев: Наукова думка, 1966. – 164 с.

Надійшла до редколегії 14.09.2010