

АНАЛІЗ СИЛОВИХ ФАКТОРІВ В ЕЛЕМЕНТАХ РІЗЬБОВОГО З'ЄДНАННЯ ПРИ ОДНОСТОРОННЬОМУ СПОСОБІ НАВАНТАЖЕННЯ

В.Я.Василишин

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 45369,
e-mail: public@nung.edu.ua

Запропоновано аналітичний підхід до аналізу силових факторів в елементах різьбового з'єднання. Наведені епюри розподілу зовнішнього погонного навантаження і нормальних осьових сил в елементах різьбового з'єднання при односторонньому способі навантаження.

Ключові слова: силові фактори, елементи різьбового з'єднання, односторонній спосіб навантаження.

Предложен аналитический подход к анализу силовых факторов в элементах резьбового соединения. Приведены эпюры распределения внешней погонной нагрузки и нормальных осевых сил в элементах резьбового соединения при одностороннем способе нагружения.

Ключевые слова: силовые факторы, элементы резьбового соединения, односторонний способ нагружения.

The analytical approach to the power factors analysis in the elements of threaded connection is suggested. The epuury partitions of external linear load and normal axial forces are resulted in the elements of screw-thread connection at the one-sided method of loading.

Keywords: power factors, threaded connection elements, one-sided method of loading.

У дослідженнях [1,2] наводиться розв'язок, який дає диференціальну залежність між внутрішніми силовими чинниками, що виникають у поперечних перерізах елементів різьбового з'єднання, та інтенсивністю розподілу зовнішнього навантаження по довжині різьби. Взято випадок зустрічної передачі осьового зусилля з однієї труби на другу за допомогою гострокутної різьби. Для цього із складових циліндрів різьбового з'єднання виділено смужку довільної довжини і одиничної ширини. Початок відліку координати x розташовано в перерізі, який збігається з першою ниткою різьби у торці зовнішнього циліндра, позначеного індексом 2. Внутрішній циліндр позначено індексом 1. Поздовжнє зусилля Q вважається прикладеним до обох кінців труб паралельно осі різьбового з'єднання.

На відстані x в околі деякої точки на контакті з'єднання виділено елементарні паралелепіпеди матеріалу завдовжки dx , завширшки 1, заввишки $d\delta$.

З умови рівноваги елементарних паралелепіпедів дотичні сили рівні за величиною і протилежні за напрямом:

$$\begin{aligned} T &= \frac{dQ_2}{dx} = Q_2'; \\ T &= -\frac{dQ_1}{dx} = Q_1'. \end{aligned} \quad (1)$$

Оскільки поздовжнє зусилля від одного елемента до іншого передається за допомогою зв'язків зсуву, то різниця абсолютних видовжень пропорційна зовнішній дотичній силі T і обернено пропорційна деякому коефіцієнту пропорційності k , який характеризує певне різьбове з'єднання і може бути визначений експериментально, тобто

$$u = u_2 - u_1 = \frac{T}{k}. \quad (2)$$

Диференціюючи вираз (2), отримаємо

$$T' = k(\varepsilon_2 - \varepsilon_1). \quad (3)$$

Підставивши в рівняння (3) значення відносних видовжень, які за законом Гука дорівнюють

$$\begin{aligned} \varepsilon_1 &= \frac{\sigma_1}{E_1} = \frac{Q_1}{E_1 F_1}; \\ \varepsilon_2 &= \frac{\sigma_2}{E_2} = \frac{Q_2}{E_2 F_2}, \end{aligned}$$

отримаємо

$$T' = k \left(\frac{Q_2}{E_2 F_2} - \frac{Q_1}{E_1 F_1} \right).$$

Враховуючи рівняння (1) та рівняння статки $Q_1 + Q_2 = Q$, отримано рівняння

$$Q_2'' - k \left(\frac{1}{E_1 F_1} + \frac{1}{E_2 F_2} \right) Q_2 = -\frac{kQ}{E_1 F_1}. \quad (4)$$

У рівнянні (4) змінною величиною, що залежить від координати x , є нормальна осьова сила Q_2 . Інші величини є константами, що характеризують матеріал і конструктивні параметри даного різьбового з'єднання.

Для аналізу силових факторів в елементах різьбового з'єднання при зустрічному способі навантаження використано диференціальне рівняння (4), яке переписано у вигляді

$$Q_2'' - m^2 Q_2 = -\frac{kQ}{E_1 F_1},$$

де

$$m^2 = k \left(\frac{1}{E_2 F_2} + \frac{1}{E_1 F_1} \right).$$

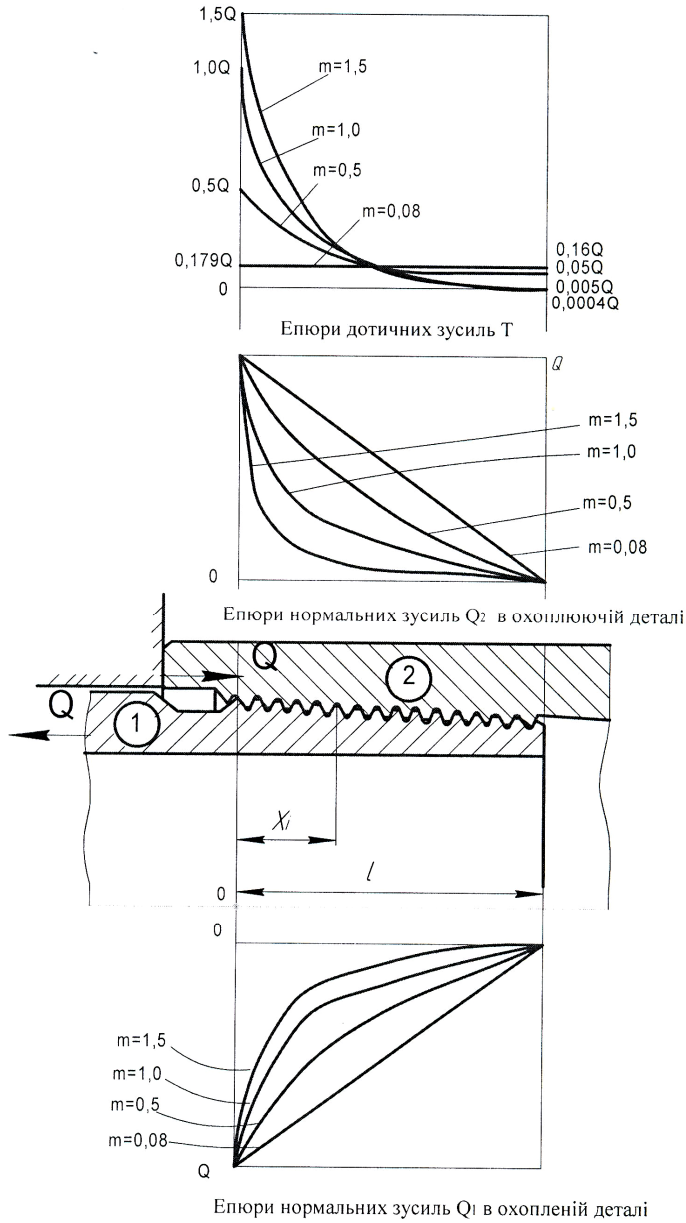


Рисунок 1 – Епюри розподілу зовнішнього погонного навантаження і нормальних осевих сил в елементах різьбового з’єднання при односторонньому способі навантаження і різних значеннях параметра *m*

Інтеграл однорідного рівняння $Q_2'' - m^2 Q_2 = 0$ з врахуванням часткового розв’язку записано у вигляді

$$Q_2 = A \operatorname{sh} mx + B \operatorname{ch} mx + \beta Q, \quad (5)$$

де

$$\beta = \frac{k}{m^2 E_1 F_1}.$$

Для випадку осевого стиску муфти і розтягнутої труби, як це показано на рис. 1, у загальному розв’язку диференціального рівняння (5) частковий розв’язок враховується з від’ємним знаком

$$Q_1 = Q_2 = A \operatorname{sh} mx + B \operatorname{ch} mx - \beta Q. \quad (6)$$

Внутрішні нормальні сили в муфті

Постійні інтегрування A і B визначаються з граничних умов, які маємо на кінцях муфти (зовнішньої стиснутої деталі):

при $x=0$ $Q_2 = -Q$;

при $x=l$ $Q_2 = 0$.

Розв'язуючи рівняння (6) при цих граничних умовах, отримуємо

$$A = \frac{Q(1-\beta)chml}{shml} - \frac{\beta Q}{shml};$$

$$B = -Q(1-\beta).$$

Після підстановки постійних інтегрування в рівняння (6) отримаємо

$$Q_2 = \left(\frac{Q(1-\beta)chml}{shml} - \frac{\beta Q}{shml} \right) shmx - (Q(1-\beta))chmx - \beta Q.$$

Після деяких перетворень отримаємо вираз для визначення внутрішньої нормальної освої сили в муфті у такому вигляді:

$$Q_2 = -\frac{Qsh m(l-x)}{shml}. \tag{7}$$

Інтенсивність розподілу зовнішнього навантаження по довжині різьби при стиснутій муфті і розтягнутій трубі визначається на основі формули (1) диференціюванням виразу (7)

$$T = \frac{dQ_2}{dx} = \frac{mQch m(l-x)}{shml}. \tag{8}$$

Внутрішні нормальні сили в трубі

Постійні інтегрування для внутрішньої розтягнутої деталі визначаються з таких граничних умов:

при $x=0$ $Q_1 = Q$;

при $x=l$ $Q_1 = 0$.

Після підстановки граничних умов в рівняння (6) отримуємо такі значення постійних інтегрування:

$$A = -\frac{\beta Q}{shml} - \frac{Q(1-\beta)chml}{shml};$$

$$B = Q(1+\beta).$$

Після підстановки отриманих значень постійних A і B в рівняння (6) отримаємо

$$Q_1 = \left(\frac{\beta Q}{shml} - \frac{Q(1-\beta)chml}{shml} \right) shmx + Q(1+\beta)chmx - \beta Q.$$

Після виконання деяких перетворень рівняння (6) приймає вигляд

$$Q_1 = \frac{Qsh m(l-x)}{shml}. \tag{9}$$

Інтенсивність розподілу зовнішнього навантаження по довжині різьби визначається за формулою (1) шляхом диференціюванням виразу (9)

$$T = \frac{dQ_1}{dx} = -\frac{mQsh m(l-x)}{shml}. \tag{10}$$

Для аналізу силових факторів в елементах різьбового з'єднання при односторонньому способі навантаження взято такі ж обсадні труби діаметром $d=146$ мм з товщиною стінки $\delta=10$ мм, як і при аналізі силових факторів при зустрічному способі навантаження [2]. У з'єднанні труб використовується різьба конусністю 1:16, з кроком 3,175 і з кутом профілю 60° . Розміри труби і муфти різьбового з'єднання взяті такі, як на рис.2 [2], а профіль різьби – як на рис.3 [2].

На рис. 1 зображені епюри розподілу внутрішніх нормальних осевих сил, а також епюри інтенсивності розподілу зовнішнього навантаження по витках різьбового з'єднання, які збережені за формулами (7,9,10) при $m=0,08$ 1/см, $m=0,5$ 1/см, $m=1,0$ 1/см, $m=1,5$ 1/см.

Для більш точного розрахунку площ поперечних перерізів F_i^1 та F_i^2 відповідно охопленої (1) та охоплюючої (2) деталі по довжині різьби (нитки з повним профілем), починаючи від основної площини, як і в роботі [2], взято 20 перерізів (від 0 до 19) з інтервалом, що дорівнює кроку різьби. Приведена схема i -того перерізу різьбового з'єднання з позначенням внутрішнього та зовнішнього діаметрів різьби, а також приведеного діаметра, який використовується при обчисленні площ i -того поперечного перерізу охопленої та охоплюючої деталі взята як на рис.4 [2], а чисельні значення указаних вище параметрів – з табл.1 [2].

Таким чином, для розрахунку різьбових з'єднань на міцність необхідно приймати до уваги закономірність розподілу внутрішніх нормальних сил, що виникають в поперечних перерізах елементів різьбового з'єднання.

Література

1 Мочернюк Д.Ю. Исследование и расчет резьбовых соединений труб, применяемых в нефтедобывающей промышленности / Д.Ю.Мочернюк. – М.: Недра, 1970. – 135 с.
 2 Василичин В.Я. Аналіз силових факторів в елементах різьбового з'єднання при зустрічному способі навантаження / В.Я. Василичин // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. – 2008. – №2(27). – С.62-66.

*Стаття надійшла до редакційної колегії 18.02.10
 Рекомендована до друку професором Коцкуличем Я.С.*