

ВПЛИВ УМОВ ВЗАЄМОДІЇ ІНДИКАТОРІВ З КОНТРОЛЬОВАНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ НА ЇХ ДОВГОВІЧНІСТЬ

М.В.Лисканич, А.П.Джус

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел.(03422) 42430

e-mail: public@nung.edu.ua

Рассматривается механизм распределения напряжений в детали, которая содержит концентратор напряжений и подвергается воздействию другой детали, создавая при этом прессовое соединение. Обосновано необходимость учета такого влияния при проектировании индикаторов накопления усталостных повреждений.

The mechanism of distributing of tensions is examined in a detail which contains the reflector-absorber of tensions and is exposed to influence of other detail, creating press connection here. The necessity of account of such influencing is grounded at planning of indicators of accumulation of tireless damages.

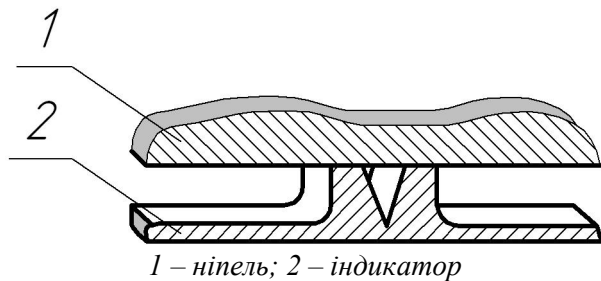
З метою більш точного прогнозування ресурсу роботи низу бурильної колони зроблено ряд пропозицій використання індикаторів накопичення втомних пошкоджень. Саме вони за умов виконання своїх функцій можуть дати найбільш повну інформацію про рівень навантажень контрольованих елементів бурильної колони.

Опис конструкції індикатора, в якому враховано негативні і позитивні сторони попередніх конструкцій, викладено в [1]. У згинчену різьбовому з'єднанні індикатор контактує із внутрішньою поверхнею ніпеля через товстостінне кільце, у якому виконаний концентратор напружень. З метою сприйняття навантажень у певному діапазоні товстостінне кільце виконано таких розмірів, що при збиранні різьбового з'єднання ніпель, зазнаючи радіальної деформації, обтискає його, утворюючи при цьому з'єднання з натягом (ніпель – товстостінне кільце). Згідно з [2] умови контакту індикатора є дослідженими і встановлено їх оптимальний варіант, який забезпечує виникнення в індикаторі середніх напружень, що відповідають напруженому стану різьбового з'єднання.

У статті звернемо увагу на виконання своїх функцій концентратором напружень, а саме, V-подібною виточкою, виконаною у товстостінному кільці. В конструкцію індикатора концентратор напружень введений з метою доведення номінальних напружень до максимального рівня. Виконання концентратора напружень у товстостінному кільці, яке, як уже зазначалось, утворює з внутрішньою поверхнею ніпеля так звану пресову посадку, потребує детального вивчення механізму впливу цієї посадки на величину напруженого стану в перерізах зони концентратора напружень індикатора. Прикладом небезпідставності таких міркувань може служити механізм з'єднання, реалізований у різьбових з'єднаннях із стабілізуючим конічним пояском. Згідно з [3] це призводить до підвищення втомної міцності з'єднання приблизно до 40%, що свідчить про те, що, перебуваючи в аналогічних умовах, індикатор зазнає підвищення втомної міцності, а отже, звуження

діапазону сприйняття зовнішніх навантажень за межі тих, які спонукають втомні пошкодження у різьбовому з'єднанні бурильних труб. Для підтвердження попередніх висновків проведемо низку аналітичних досліджень.

Як і при вивченні згину циліндричних оболонки [4], виділимо із індикатора [1] елементарну смугу малої ширини (рис. 1). В районі товстостінного кільця її можна з певними припущеннями розглядати як півплощину з тріщиною, а взаємодію індикатора з ніпелем моделювати накладкою. В такому випадку ми маємо задачу, в якій розглядається взаємодія півплощини із накладкою, а саме, її вплив на коефіцієнт інтенсивності напружень у вершині тріщини, яку містить півплощина.

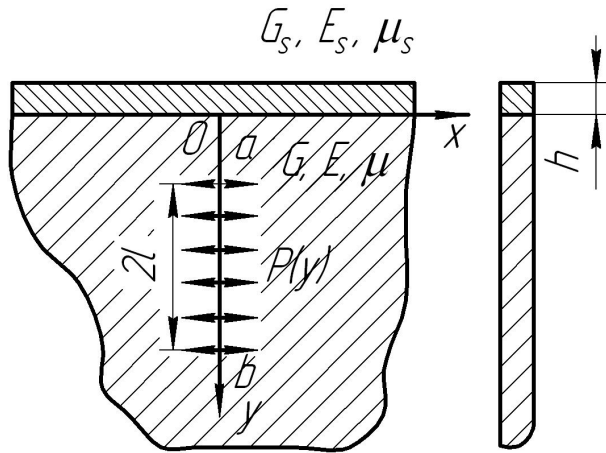


1 – ніпель; 2 – індикатор
Рисунок 1 – Елементарна смуга, виділена із індикатора та ніпеля

Розглянемо півплощину, яка характеризується пружними постійними G , E , μ (модулем зсуву, модулем Юнга і коефіцієнтом Пуассона відповідно) і містить тріщину довжини $2l$, перпендикулярну до границі (рис. 2). Півплощина вздовж межі $y=0$ підкріплена щільно з'єднаною з нею пружною накладкою висоти h з пружними постійними G_s , E_s , μ_s . Таку накладку можна розглядати як пружну тонку пластину, позбавлену згинальної жорсткості [5]. Вважаємо, що бічна поверхня накладки при цьому вільна від напружень.

Внаслідок прийнятих припущень

$$\sigma_{yy}^{(s)}(x,0) = 0; \quad \sigma_{xx}^{(s)}(x,0) = 0. \quad (1)$$



a, b – координати вершин тріщини;
 $2l$ – довжина тріщини.

Рисунок 2 – Розрахункова схема для визначення коефіцієнтів інтенсивності напружень у вершинах тріщини

Півплощина завантажена рівномірно розподіленими зусиллями σ_x^∞ . Тріщина в півплощині вільна від навантажень. Необхідно дати кількісну оцінку концентрації інтенсивності поля напружень біля вершини крайової тріщини, що взаємодіє з накладкою.

Розв'язок поставленої задачі можна представити як суперпозицію двох задач – задачі про півплощину з накладкою без тріщини і задачі про півплощину з накладкою і тріщиною, яка завантажена внутрішнім (відомим з першої задачі) тиском. Розв'язок першої відомий [5]. Зупинимось на розв'язку задачі про пружну рівновагу ізотропної, підсиленої накладкою, півплощини з прикорйовою тріщиною (рис. 2). Зовнішніми навантаженнями у півплощині будуть лише розтягуючі зусилля інтенсивності $p(y)$, прикладеної до берегів тріщини. Необхідно знайти значення коефіцієнтів інтенсивності напружень біля вершини тріщини, що вийшла на поверхню розділу накладки з півплощиною залежно від фізико-механічних властивостей матеріалів, що складають композицію.

Граничні умови задачі такі:

$$\varepsilon_x = \varepsilon_x^{(s)} \text{ при } y = 0. \quad (2)$$

При $x = 0$:

$$\tau_{xy}^{(s)}(0, y) = 0, \quad -h < y < 0, \quad (3)$$

$$\tau_{xy}(0, y) = 0, \quad 0 < y < \infty;$$

$$\sigma_{yy}(0, y) = p(y), \quad a < y < b, \quad (4)$$

$$u^{(s)}(0, y) = 0, \quad -h < y < 0.$$

Тут $\tau_{xy}^{(s)}, \tau_{xy}, \sigma_{yy}$ – компоненти тензора напружень; $u^{(s)}$ – компонента вектора переміщень, ε_x – відносна деформація в напрямку осі Ox .

Рівняння рівноваги підкріплюючого елемента при $y = 0$ набуде вигляду [5]

$$\eta_* \frac{d\sigma_{xx}}{dx} + h\tau_{xy}^{(s)} = 0, \quad (5)$$

де $\eta_* = E_s F_s / E$ (F_s – площа поперечного перерізу стрингера).

Розв'язок задачі плоскої теорії пружності в переміщеннях такий:

$$u(x, y) =$$

$$= \frac{2}{\pi} \int_0^\infty \{A_1 + A_2 [y + (\chi + 1) / 2\alpha]\} \cdot e^{-\alpha y} \sin(\alpha x) d\alpha +$$

$$+ \frac{2}{\pi} \int_0^\infty B(u) u^{-1} [(\chi + 1) / 2 + ux] \cdot e^{-ux} \cos(yu) du;$$

$$v(x, y) = \quad (6)$$

$$= \frac{2}{\pi} \int_0^\infty \{A_1 + A_2 [y + (\chi + 1) / 2\alpha]\} \cdot e^{-\alpha y} \cos(\alpha x) d\alpha -$$

$$- \frac{2}{\pi} \int_0^\infty B(u) u^{-1} [(\chi + 1) / 2 + ux] \cdot e^{-ux} \sin(yu) du,$$

де: $\chi = (3 - \mu) / (1 + \mu)$ – для умов загальнонапруженого стану; $\chi = 3 - 4\mu$ – для плоскої деформації; μ – коефіцієнт Пуассона.

Відповідні компоненти тензора напружень визначаються на основі закону Гука. Задовольнивши граничні умови (1)-(3), виразимо невідомі A_j ($j=1,2$) через функцію $B(u)$. Тоді на основі граничної умови (4) дістанемо дуальне інтегральне рівняння відносно невідомої функції $B(u)$, яке із введенням функції $c(t)$ співвідношенням

$$B(u) = \frac{2}{\chi + 1} \int_a^b c(t) \sin(ut) dt \quad (7)$$

зведеться до сингулярного інтегрального рівняння

$$\frac{1}{\pi} \int_a^b \frac{c(t) dt}{t - y} - \frac{1}{\pi} \int_a^b \left[\frac{1}{t + y} + K(y, t) \right] c(t) dt = \quad (8)$$

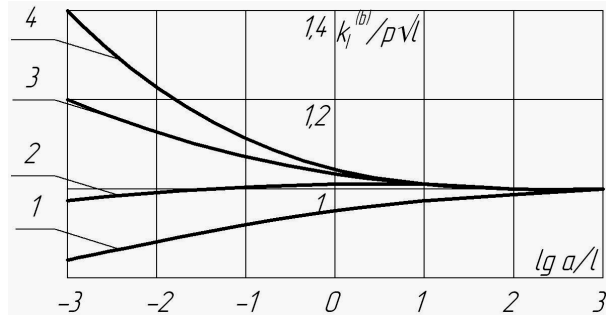
$$= 0,25(1 + \chi)p(y) / (\pi G), \quad y \in [a, b].$$

Тут ядро $K(y, t)$ визначається формулою

$$K(y, t) = 2 \int \alpha \left[t + \frac{(y\alpha - 2)(ht + 2\eta)}{2\eta x + h} \right] e^{-\alpha(y+t)} d\alpha, \quad (9)$$

$\eta = G_s / G$, G_s і G – модуль зсуву відповідно у покритті і матриці. Рівняння (8) являє собою сингулярне інтегральне рівняння з ядром типу Коші. Розв'язок його можна отримати за допомогою чисельних методів [6]. При розв'язанні рівняння (8) використовували метод механічних квадратур, відповідно до якого воно замінялось дискретним аналогом алгебраїчних рівнянь, причому число інтерполяційних точок вибирали так, щоб збільшення їх кількості не впливало на кінцевий результат. Випадок крайової тріщини імітувався умовою рівності нулю коефіцієнта інтенсивності напружень у вершині, що вийшла на край півплощини. На основі

даних числових розв'язків рівняння (8) встановлена зміна значень коефіцієнтів інтенсивності напружень у вершині крайової тріщини для деяких конкретних композицій (тріщина – абсолютно жорсткий край, $\eta = 10$, $\eta = 0,1$, тріщина – вільний край; рис. 3). Саме варіант тріщина – абсолютно жорсткий край певною мірою реалізований у індикаторі, запропонованому в [1]. А згідно з рис. 3 зменшення жорсткості накладки призводить до збільшення коефіцієнта інтенсивності напружень



1 – тріщина – абсолютно жорсткий край; 2 – $\eta = 10$; 3 – $\eta = 0,1$; 4 – тріщина – вільний край

Рисунок 3 – Залежності коефіцієнта інтенсивності напружень для різних композицій

Як видно із отриманих результатів, можна стверджувати, що виконання концентратора напружень у товстостінному кільці, яке зазнає впливу ніпеля як охоплюючої деталі, призводить до значного зменшення коефіцієнта інтенсив-

ності напружень у вершині концентратора. За відсутності пресової посадки при тих самих інших умовах коефіцієнт інтенсивності напружень зростає приблизно в 4 рази. Це призводить до висновку про необхідність внесення конструктивних змін під час конструювання концентратора напружень в індикаторі з метою сприйняття розширеного діапазону спектра зовнішніх навантажень на елементи бурильної колони.

Література

1. Патент України № 62007, МПК E21B17/042, 2003.
2. Лисканич М.В., Джус А.П. Дослідження залежності напруженого стану індикатора від параметрів його зони контакту з ніпелем різьбового з'єднання // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2002. – № 1(2). – С. 44-48.
3. Щербюк Н.Д., Якубовський Н.В. Резьбовые соединения труб нефтяного сортамента и забойных двигателей. – М.: Недра, 1974. – 256 с.
4. Тимошенко С.П. Сопротивление материалов. Т. II. – М.: Наука, 1965. – 480 с.
5. Александров В.И., Мхитарян С.М. Контактные задачи для тел с тонкими покрытиями и прослойками. – М.: Наука, 1983. – 486 с.
6. Панасюк В.В., Саврук М.П., Дацишин А.П. Распределение напряжений около трещин в пластинах и оболочках. – К.: Наукова думка, 1976. – 444 с.