

ДО ВИБОРУ ФОРМИ ПІДСИЛЮЮЧОЇ НАКЛАДКИ ПРИ РЕМОНТІ ТРУБОПРОВОДІВ

В.Г.Топоров, к.т.н, Р.В.Шимановський, Іг.І.Капцов*

*Український науково-дослідний інститут природних газів
наб. Червоношкільна, 20, м. Харків, 61010, Україна.*

e-mail: gaz@ukrniigaz.kharkov.ru

**Науково-дослідний і проектний інститут транспорту газу
вул.Маршала Конєва, 16, Харків, 61004, Україна*

Для оцінки стану трубопроводу застосовуються зовнішні і внутрішні (для труб великого діаметру) обстеження за допомогою різних методів дефектоскопії. Виявлені дефекти класифікуються по степені небезпеки і приймаються відповідні рішення по забезпеченню подальшої безпечної експлуатації — ремонтувати трубопровід або періодичного контролювати його з метою оцінки поведінки дефекту в часі. Оцінку ступеня небезпеки поверхневих дефектів на трубопроводах і придатності трубопроводу до подальшої експлуатації в даний час прийнято проводити розрахунковими методами. На міжнародному рівні відомий, наприклад, метод англійської компанії “British Gas” і так званий “критерій B31G” з стандарту ANSI/ASME B31G–1991. В Україні діє свій нормативний документ, який дозволяє оцінити залишковий ресурс трубопроводу.

Правильна оцінка можливості подальшої експлуатації трубопроводу з дефектами вимагає знання значного числа факторів, серед яких міцність матеріалу труби (початкова і фактична), напруження, які виникають при будівництві і експлуатації, тип, кількість і розподіл дефектів, механізм росту дефектів та інше. Найбільш важливим параметром, що характеризує міру небезпеки поверхневого дефекту є його глибина, далі йдуть осьова довжина і ширина. В загальному випадку глибина визначає точку початку руйнування, в той час як осьова довжина — вид руйнування (витік або розрив). Зазвичай протяжні вздовж осі дефекти мають тенденцію до розриву, тоді як відносно короткі — тенденцію до витіку. Так звану межу “розрив – витік” знайти складно, але встановлено, що для більшості трубопроводів дефекти з осьовою довжиною, рівною трьом товщинам стінки (3δ) або менше, приводять до витіків, а дефекти з довжиною більше 3δ — до розриву.

Відомо, що дефекти типу “корозійна виразка” (втрата металу) з осьовою протяжністю не більше 3δ можуть мати глибину до 90 % від номінальної товщини стінки труби, перш чим виникне ризик руйнування і дефект приведе до витіку. Одним з найбільш поширених методів ремонту таких незначних дефектів трубопроводів є встановлення підсилюючої накладки. Якщо трубопровід має достатню надійність стосовно руйнування, цей метод ремонту може використовуватись без припинення роботи трубопроводу, тобто під тиском.

Для виявлення найбільш раціональної форми підсилюючої накладки проведено розрахунки конструкції частки трубопроводу з накладкою методом кінцевих елементів. Розглянуто три варіанти форми накладки:

круглої, подовженої вздовж окружності та подовженої вздовж твірної труби. Бажано, щоб накладка, яка встановлена на трубопроводі, не збільшувала значно рівень напружень в трубі як поки ще дефект є герметичним, так і тоді, коли дефект розгерметизувався і порожнина під накладкою знаходиться під тиском. Розрахунки проведені для конструкції з наступними параметрами: $D = 0,426$ м – зовнішній діаметр трубопроводу; $\delta = 0,006$ м – товщина стінки трубопроводу з урахуванням можливого мінусового допуску; $\delta_n = 0,007$ м – товщина накладки; $\Delta = 0,001$ м – зазор між трубою і накладкою; $\kappa = 0,006$ м – катет зварювального шва.

Вважається, що трубопровід і накладка виконані з сталі. Розрахункова схема конструкції частки трубопроводу з підсилюючою накладкою наведена на рисунку, де через d позначено розмір дефекту в трубопроводі (поки труба є герметичною – $d = 0$). Тиск P прикладається по всій внутрішній поверхні труби, а в тих випадках, коли дефект перетворився на виразку, і в порожнині між трубою і накладкою.

Трубопровід, накладка і зварювальний шов змодельовано твердотільними тетраедральними кінцевими елементами. При розрахунках використані умови симетрії конструкції відносно координатних площин.

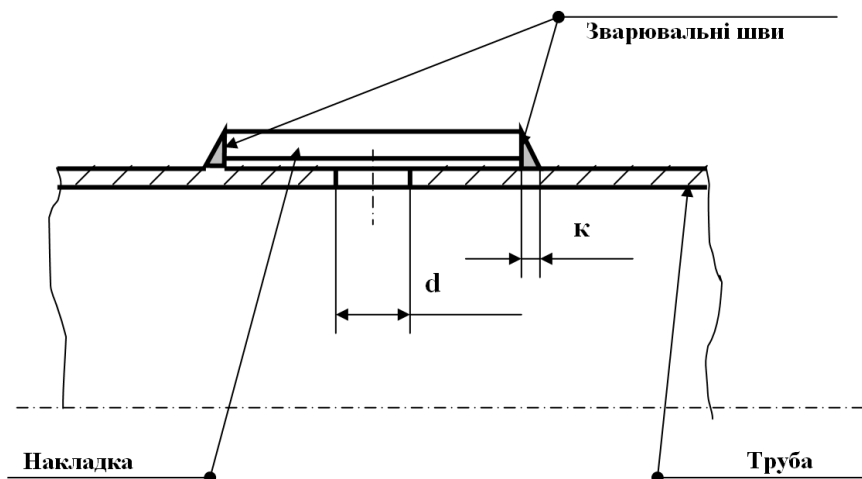


Рис.1 - Розрахункова схема конструкції

Напружений стан трубопроводу з накладкою є більш складним, ніж звичайної труби, тому міцність елементів конструкції оцінювалась по найбільших еквівалентних напруженнях, які розраховані по гіпотезі енергії формозміни Фон Мізеса:

$$\sigma_{\text{е\acute{e}а}} = \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)},$$

де $\sigma_x = \sigma_{11}$, $\sigma_y = \sigma_{22}$, $\sigma_z = \sigma_{33}$, $\tau_{xy} = \sigma_{12}$, $\tau_{yz} = \sigma_{23}$, $\tau_{zx} = \sigma_{31}$ – компоненти тензора напружень в тій точці елемента конструкції, яка розглядається.

Результати розрахунків для трубопроводу з трьома варіантами підсилюючих накладок наведено в таблиці, де позначено: $K_H = \sigma_{H \max} / \sigma_{\text{тр}}$ – коефіцієнт напружень в накладці; $K_{\text{ш}} = \sigma_{\text{ш} \max} / \sigma_{\text{тр}}$ – коефіцієнт напружень в зварювальному шві; $K_A = \sigma_A / \sigma_{\text{тр}}$, $K_B = \sigma_B / \sigma_{\text{тр}}$ – коефіцієнти напружень в

точках А і В трубопроводу відповідно, де $\sigma_{тр}$ - максимальні еквівалентні напруження в трубопроводі без дефекту і без накладки; $\sigma_{н\ max}$ - максимальні еквівалентні напруження в накладці; $\sigma_{ш\ max}$ - максимальні відносні еквівалентні напруження в зварювальному шві; σ_A, σ_B - відносні еквівалентні напруження в точках А і В відповідно, ці точки розташовані в місцях максимальних напружень поблизу зварювальних швів (в поздовжньому і поперечному перерізах труби).

За результатами розрахунків можна зробити такі висновки:

1. За відсутності тиску в зазорі між трубою і накладкою (труба герметична) для всіх розглянутих схем установки накладки збільшення напружень в основній трубі не перевищує 3...7 % в невеликій зоні (40...60 мм) поблизу зварювального шва.

2. При порушенні герметичності трубопроводу і появи тиску під накладкою найбільш раціональними є кругла накладка (схема 1) і накладка, подовжена у напрямку окружності (схема 2). Для цих схем збільшення напруження в основній трубі не перевищує 18,5 % при незначному зменшенні жорсткості труби в зоні під накладкою. При значному дефекті труби під накладкою зростання напружень в точці В труби для схеми 2 може досягати 32 %.

3. Напруження в накладці для всіх розглянутих варіантів розрахунку (крім варіанту $d = 100$ мм для схеми 3) нижче, ніж в основній трубі.

4. Встановлення накладки по схемі 3 (вздовж твірної) застосовувати не бажано через підвищений рівень напружень як в основній трубі, так і в накладці при розгерметизації труби під накладкою.

Таким чином, при ремонті дефектів трубопроводів типу “корозійна виразка” найбільш раціональною формою підсилюючої накладки є кругла форма. Як виключення в деяких обґрунтованих випадках можлива також установка накладки, що незначно подовжена вздовж окружності труби.