



УДК 621.643:620.17

ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗПОДІЛУ ТРИВІСНИХ ЗАЛИШКОВИХ НАПРУЖЕНЬ В ЗОНАХ КІЛЬЦЕВИХ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ МАГІСТРАЛЬНИХ ТРУБОПРОВОДІВ

Ю.В. Банахевич¹, А.В. Драгілев², А.О. Кичма³

¹ ПАТ «УКРТРАНСГАЗ», 01021, м. Київ, вул. Кловський узвіз
9/2,

² ПП «Інжинірингові технології», 02660, м. Київ, вул.
Колекторна, 3,

³ Національний університет «Львівська політехніка», 79013, м.
Львів, вул. С. Бандери, 12,

ТзОВ НВП «Інтегратор», akvchma@gmail.com

Більшість сучасних методів розрахунку залишкових зварювальних напружень ґрунтується на математичному моделюванні процесів, що зумовлюють їх на стадії виготовлення і розвитку під час експлуатаційного навантаження, та використання числових методів, зокрема методу скінченних елементів. Сучасний розвиток числових методів, комп'ютерної техніки, механіки деформівних тіл та наявності комерційних пакетів комп'ютерних програм типу Ansys, Sysweld, Woldpredictions тощо дозволяє, якщо відома «історія» виготовлення і експлуатації зварних з'єднань, розрахувати в них залишкові напруження [1].

Наявні алгоритми прослідковування «історії» формування залишкових напружень, які реалізовані у вищезгаданих пакетах програм, переважно ґрунтуються на досить загальних математичних моделях пружнов'язкопластичного деформування матеріалу в процесі зварювання і подальшого експлуатаційного навантаження. Алгоритм реалізації такого підходу полягає в поетапному прослідкуванні формування залишкових напружень, коли розв'язок на кожному наступному кроці будується з урахуванням відомого розв'язку на попередньому і враховує зміни навантажування і властивостей матеріалу.

На базі вище згаданого підходу розроблено пакет комп'ютерних програм як для розрахунку залишкових напружень в зварних з'єднаннях елементів конструкцій, так і для



оцінки взаємодії залишкових напружень з зовнішнім силовим або температурним навантаженням.

В даній роботі з використанням запропонованого пакету комп'ютерних програм досліджено тривісний розподіл залишкових напружень і пластичних деформацій в зонах кільцевих зварних з'єднань магістральних трубопроводів різних товщин і діаметрів.

Для аналізу рівня і розподілу залишкових технологічних деформацій і напружень в зоні зварного з'єднання віднесено трубу до циліндричної системи координат z, β, r , де z – відстань довільної точки вздовж осі труби від початкового перерізу, який суміσιμο з площиною зварного шва, β – кут між початковою і довільною площинами, що проходять через вісь обертання, r – координата вздовж зовнішньої нормалі до серединної поверхні труби. Четвертий переріз труби площиною, що проходить через вісь обертання, зображено на рис. 1.

Позначимо через R_0 і R_1 радіуси зовнішньої та внутрішньої поверхні труби, а через $2h$ її товщину (рис. 1).

Компоненти тензора повної деформації e_{ij} зобразимо у вигляді суми

$$e_{ij} = e_{ij}^e + e_{ij}^0 \quad (i, j = z, \beta, r), \quad (1)$$

де e_{ij}^0 – компоненти тензора залишкових термопластичних деформацій, e_{ij}^e – компоненти тензора пружної деформації, викликані залишковими напруженнями так, що

$$e_{ij}^e = \frac{1}{E} \left[(1 + \mu) \sigma_{ij} + \mu \delta_{ij} \sigma_{kk} \right]. \quad (2)$$

Тут δ_{ij} – символи Кронекера, E – модуль Юнга, μ – коефіцієнт Пуассона.

Розглянемо випадок осесиметричного напруженого стану, коли відмінними від нуля є осьові e_{zz}^0 , колові (окружні) $e_{\beta\beta}^0$, радіальні e_{rr}^0 і зсувні e_{rz}^0 залишкові термопластичні деформації та осьові σ_{zz} , колові (окружні) $\sigma_{\beta\beta}$, радіальні σ_{rr} і зсувні в поперечному напрямку σ_{rz} залишкові напруження. Решта

компонент тензора залишкових деформацій та напружень дорівнюють нулю, тобто

$$e_{z\beta}^0 = e_{r\beta}^0 = 0, \quad \sigma_{z\beta} = \sigma_{r\beta} = 0. \quad (3)$$

Числовий аналіз розподілу залишкових деформацій e_{ij}^0 і напружень σ_{ij} в зоні багаточарового кільцевого зварного шва проведено для з'єднання труб діаметром $D = 2R_0 = 1420$ мм і товщиною $2h = 18,7$ мм.

Розглянуто зварне з'єднання труб діаметром $2R_0 = 1420$ мм, виготовлених зі сталі 10Г2БТ ($E = 2 \cdot 10^5$ МПа; $\mu = 0,3$; $\sigma_B = 588$ МПа; $\sigma_T = 461$ МПа). Зварний шов виконано електродом марки УОНИ-13/55. Четвертний переріз і розроблення торців труб зображено на рис. 2.

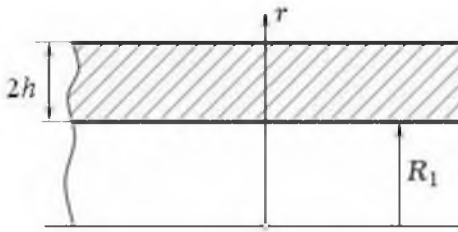


Рис. 1. Четвертний переріз труби та осі координат r, z

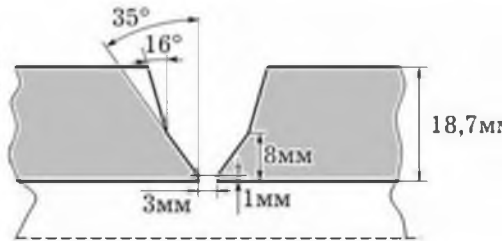


Рис. 2. Розроблення торців труб

На рис. 3 графічно зображено розподіл колових $\sigma_{\beta\beta}$ (рис.3, а), осьових σ_{zz} (рис. 3, б), радіальних σ_{rr} (рис. 3, в) та зсувних σ_{rz} (рис. 3, г) залишкових напружень в зоні зварного кільцевого шва.

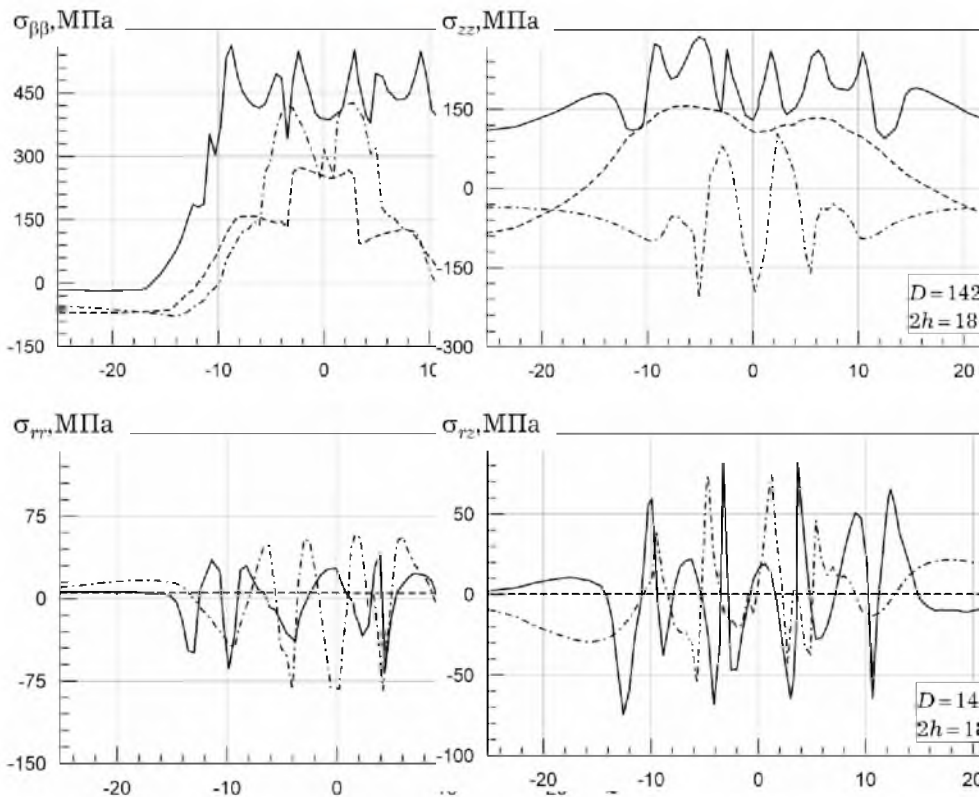


Рис. 3. Розподіл колових $\sigma_{\beta\beta}$ (а), осьових σ_{zz} (б),
радіальних σ_{rr} (в) і зсувних σ_{rz} (г) залишкових напружень в
зоні зварного шва. Суцільні лінії – напруження на зовнішній,
штрихові – на внутрішній, штрих-пунктирні – на серединній
поверхнях труби (розмірність D, h і z у мм)

Аналіз наведених на рис. 3 графічних залежностей рівня і розподілу залишкових напружень в зоні зварного з'єднання дає можливість стверджувати, що для розглянутих характерних кільцевих з'єднань магістральних трубопроводів радіальні напруження σ_{rr} є значно меншими ніж колові нормальні напруження (значення максимальних напружень σ_{rr} не



перевищує 17% від максимальних колових напружень $\sigma_{\beta\beta}$) і при побудові математичної моделі для діагностування залишкових напружень з певною точністю можна застосувати двовимірну модель теорії оболонок.

І. Махненко О.В. Математическое моделирование многопроходной дуговой сварки кольцевых швов толстостенных оболочек / О.В. Махненко, Е.А. Великоиваненко, Г.Ф. Розынка // Математическое моделирование и информационные технологии в сварке и родственных процессах: сборник трудов международной конф. – Киев. – 2002. – С. 231 – 234.

УДК 622.324.5; 614.8; 504

ПРИНЦИПИ ОЦІНЮВАННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ РИЗИКІВ, ПОВ'ЯЗАНИХ З РОЗРОБКОЮ ПОКЛАДІВ НЕТРАДИЦІЙНОГО ПРИРОДНОГО ГАЗУ

Жовтуля Л.Я., Карнаш М.О., Тацакович Н.Л.

*Івано-Франківський національний технічний університет
нафти і газу, м. Івано-Франківськ, Україна*

Нещодавно ухвалена, Стратегія сталого розвитку України на період до 2020 року [1] передбачає, в рамках вектору безпеки, реалізацію Програми енергонезалежності. Серед головних завдань програми енергонезалежності є забезпечення енергетичної безпеки та нарощування видобутку вітчизняних енергоносіїв. Важливим кроком до енергетичної незалежності може стати розробка покладів нетрадиційного газу на території України. Прикладом ефективності цієї діяльності є США – держава, яка, завдяки активній розробці покладів сланцевого газу, за останні роки перетворилась із найбільшого споживача природного газу у його експортера.

Розробка покладів сланцевого газу як одного із важковилучуваних вуглеводневих джерел стала можливою завдяки використанню технологій похило-скерованого буріння та потужного гідророзриву пласту. Крім того, технологія розробки родовищ сланцевого газу передбачає використання великої кількості свердловин, більшої у порівнянні з розробкою