

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕРМОПРУЖНОСТІ ТРУБНИХ СТАЛЕЙ ПРИ МІСЦЕВОМУ НАГРІВАННІ ТРУБОПРОВОДУ

В.Я. Грудз, В.Б. Зануляк

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел.(03422) 42157,
e-mail: public@nuing.edu.ua

Процес врізання в діючий трубопровід супроводжується приварюванням патрубків до нього. При цьому відбувається місцеве нагрівання металу труби і, відповідно, зміна його механічних характеристик. Встановлено, як змінюються властивості трубної сталі з підвищенням температури та визначено допустимий тиск в трубопроводі під час приварювання патрубка.

Ключові слова: труба, безвогневе врізання, термопружність

Процесс врезки в действующий трубопровод сопровождается привариванием патрубка-отвода к нему. При этом происходит местный нагрев металла трубы и, соответственно, изменение его механических характеристик. Установлено как изменяются свойства трубной стали с повышением температуры и определено допустимое давление в трубопроводе при приваривании патрубка.

Ключевые слова: труба, горячая врезка, термоупругость

The process of cutting in an operating pipeline is accompanied welding on of the union coupling-taking to him, here is the local heating of metal of pipe and, accordingly, change of his mechanical descriptions. It is set as properties of pipe steel change at the increase of temperature and possible pressure which can be in a pipeline during welding on of the union coupling is certain.

Keywords: pipe, hot tapping, thermoelasticity

Газотранспортний комплекс України на даний час знаходиться на етапі формування єдиної газотранспортної системи, яка включає ряд газотранспортних систем і магістральних газопроводів, з'єднаних перемичками, що утворюють закільцьовану мережу. Створення і розвиток газотранспортної мережі неможливі без приєднання газопроводів-відводів до газотранспортних магістралей. Прогресивними в плані розвитку газотранспортної мережі вважаються методи врізання в діючий газопровід без зупинки перекачування і стравлювання тиску. В такому випадку досягається не тільки значний виграш у часі проведення технологічної операції, але й економія енергоресурсів і зменшення рівня забруднення атмосфери.

Крім того, старіння магістральних газонафтопроводів призводить до зростання частоти відновлювальних та профілактичних ремонтів лінійної частини, які доцільно проводити без зупинки перекачування продукту. Локалізація місця проведення ремонту на лінійній частині вимагає застосування спеціальних механічних пристроїв, що рухаються в потоці продукту до місця дефекту і зупиняється стопорним пристроєм, який врізається в трубопровід під тиском.

З метою проведення реконструкції і розвитку газонафтотранспортних систем, а також для проведення ремонтів лінійної частини без зупинки перекачування продукту виникає необхідність у створенні техніки і технології безвогневого врізання в діючі трубопроводи під тиском.

Слід зауважити, що процес врізання в діючий трубопровід під тиском є надзвичайно складним і небезпечним, оскільки супроводжу-

ється місцевим нагріванням тіла труби. Для його практичної реалізації необхідно створити не тільки якісне обладнання, але й прогресивну технологію. Тому необхідні наукові дослідження, в першу чергу, теплових процесів у трубопроводі, викликаних зварювальною дугою, а також термопружності трубопровідної сталі.

Міське нагрівання трубопроводу здійснюється зварювальною дугою як джерелом тепла у ході проведення ремонтних робіт на лінійній його частині. При цьому знижуються всі механічні властивості трубної сталі, що може призвести до втрати пружності матеріалу. Якщо ремонтні роботи проводити без припинення перекачування продукту, то, з одного боку, рух продукту в трубопроводі призведе до охолодження стінки труби і зменшить температуру нагрівання, а, з іншого, – викличе небезпеку руйнування трубопроводу від дії внутрішнього тиску. Тому проведення вогневих робіт на діючому трубопроводі завжди передбачає зниження внутрішнього тиску. За даними [1] величина тиску в трубопроводі під час проведення зварювальних робіт не повинна перевищувати 1,5 МПа, не залежно від товщини стінки труби і марки сталі.

Визначення напружено-деформованого стану стінки трубопроводу під дією внутрішнього тиску та температурних напружень від рухомого точкового джерела тепла є задачею термопружності, часткові розв'язки якої наведено в [2].

Однак через складність постановки і реалізації задачі для умов вказаного навантаження неможливо одержати її розв'язок, тому слід використати спрощені методи, зокрема метод суперпозиції часткових розв'язків. До таких

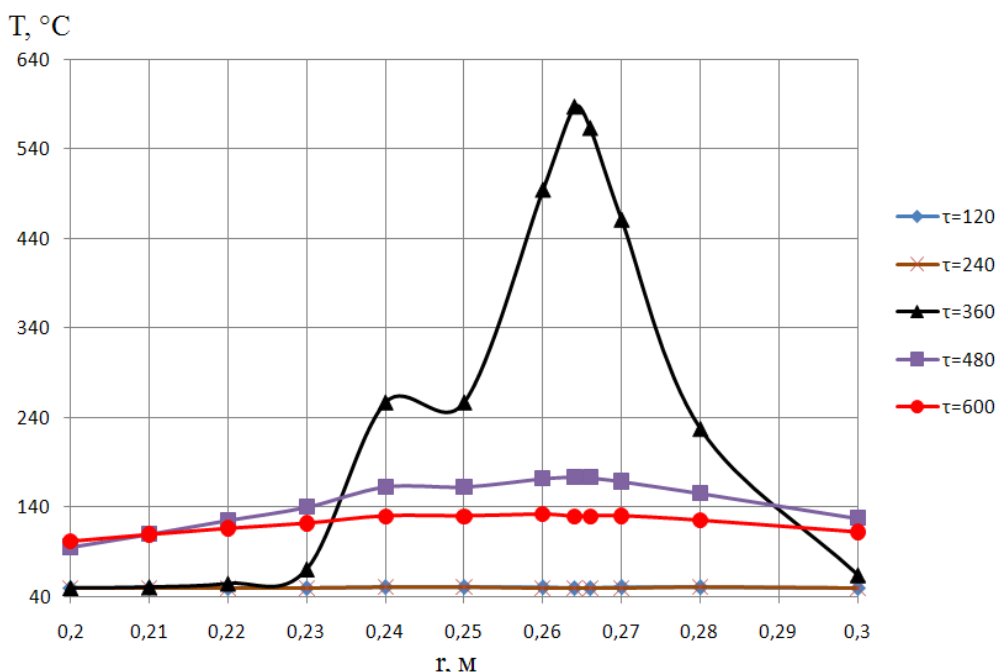


Рисунок 1 – Залежність температури стінки труби, до якої приварюється патрубок, від радіуса r (м) для різних значень часу τ (с)

розв’язків належить побудова температурного поля в стінці трубопроводу від дії рухомої зварювальної дуги як джерела тепла, визначення температурних напружень в стінці труби та напружень від внутрішнього тиску.

Під час проведення теоретичних досліджень формування температурного поля в стінці трубопроводу від дії рухомої зварювальної дуги як джерела тепла було отримано таку математичну модель:

$$\begin{aligned}
 T = \sum_{n=0}^{\infty} & \left\{ a \cos n(\varphi - \omega\tau) \int_0^{\infty} \frac{p(p^2 + x^2) J_n(pr_0) J_n(pr)}{a^2(p^2 + x^2)^2 + n^2\omega^2} dp - \right. \\
 & - n\omega \sin n(\varphi - \omega\tau) \int_0^{\infty} \frac{p J_n(pr_0) J_n(pr)}{a^2(p^2 + x^2)^2 + n^2\omega^2} dp - \\
 & - e^{-ax^2\tau} \left[a \cos n\varphi \int_0^{\infty} \frac{p(p^2 + x^2) J_n(pr_0) J_n(pr)}{a^2(p^2 + x^2)^2 + n^2\omega^2} e^{-ap^2\tau} dp - \right. \\
 & \left. \left. - n\omega \sin n\varphi \int_0^{\infty} \frac{p J_n(pr_0) J_n(pr)}{a^2(p^2 + x^2)^2 + n^2\omega^2} e^{-ap^2\tau} dp \right] \right\} \quad (1)
 \end{aligned}$$

Створення даної математичної моделі процесу нестационарного розподілу тепла в стінці труби від точкового джерела, що рухається по колу, з врахуванням теплообміну з навколишнім середовищем та продуктом, що рухається в трубопроводі, дало змогу одержати розв’язок, графічне зображення якого показано на рисунку 1. Як видно з графіків, миттєва температура стінки труби може перевищувати 550°C на момент часу 360 секунд (коли дуга перебуває в точці, що розглядається), проте з плином часу вона швидко знижується, і через 120 секунд

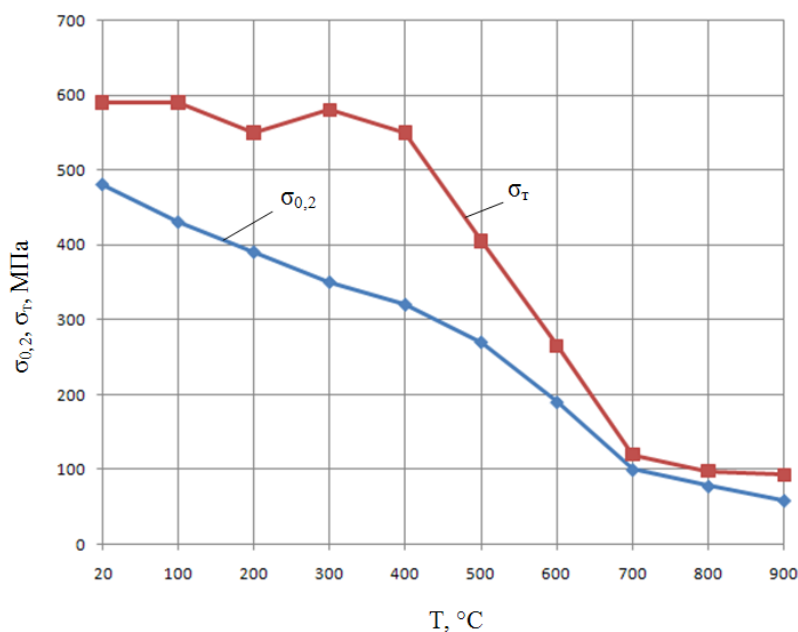
складає 150°C, а після 360 секунд спадає практично до початкового значення. Таким чином, процес нагрівання триває 2-3 хв. з наступним охолодженням протягом 6-8 хв. Зауважимо, що максимальна миттєва температура залежить від потужності теплового джерела і спостерігається в околі дії зварювальної дуги, а тривалість процесу визначається теплофізичними характеристиками трубної сталі, швидкістю руху джерела та витратою продукту в трубопроводі та його властивостями.

Визначення напружень термопружності в стінці труби проводилось за таких припущень:

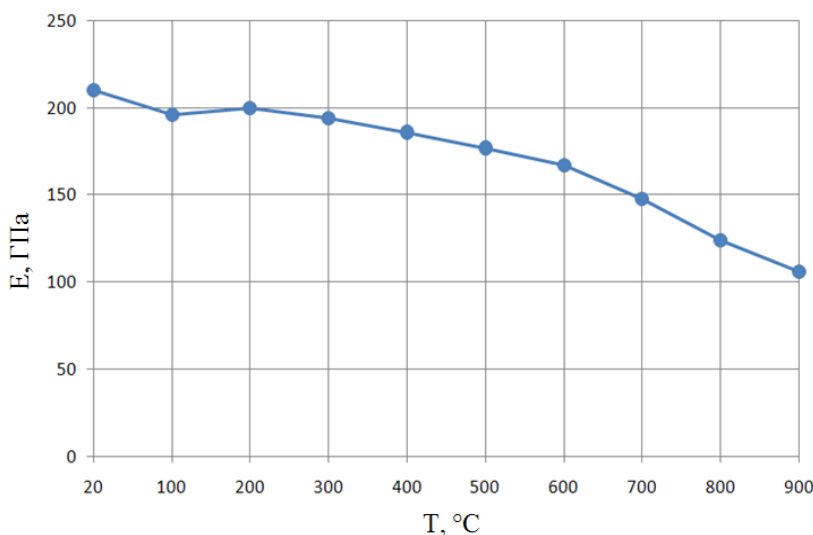
- матеріал труби “працює” в зоні прямої пропорційності (закон Гука);
- зона термовпливу представляється у вигляді балки із защемленням кінців;
- поле термонапружень змінюється в часі відповідно до зміни температури;
- напруження від внутрішнього тиску в трубопроводі є сталими і не залежать від температурного впливу.

З метою встановлення залежностей механічних властивостей трубної сталі 14Г2АФ від температури проводились експериментальні дослідження на дослідному стенді АИМА-ТС-1. В досліді були використані взірці з неексплуатованої сталі, які піддавались випробуванням в діапазоні 20-900°C. В результаті встановлено залежності границі міцності $\sigma_{0,2}$, межі пластичності σ_T та модуля пружності E від температури, які у вигляді графіків зображені на рисунку 2.

Об’єднуючи результати розподілу температур по поверхні труби і залежності механічних характеристик сталі від температури, можна побудувати розподіл механічних характеристик (модуля пружності і межі пластичності) по поверхні труби. Такі залежності зображені на рисунку 3.



а)



б)

а – залежності границі міцності $\sigma_{0,2}$, границі плинності σ_{Tl} від температури;
 б – залежність модуля пружності E від температури

Рисунок 2 – Залежності механічних властивостей сталі 14Г2АФ від температури

Використовуючи залежність модуля пружності по поверхні труби, можна знайти напруження в стінці, що виникають від дії температур:

$$\sigma_T = \alpha_t \cdot \Delta t \cdot E(t) \quad (2)$$

Напруження від внутрішнього тиску трубопроводу не залежать від температури впливу і можуть бути знайдені з залежності:

$$\sigma_p = \frac{p \cdot d}{2\delta} \quad (3)$$

де: p – внутрішній тиск;

d, δ – внутрішній діаметр і товщина стінки трубопроводу.

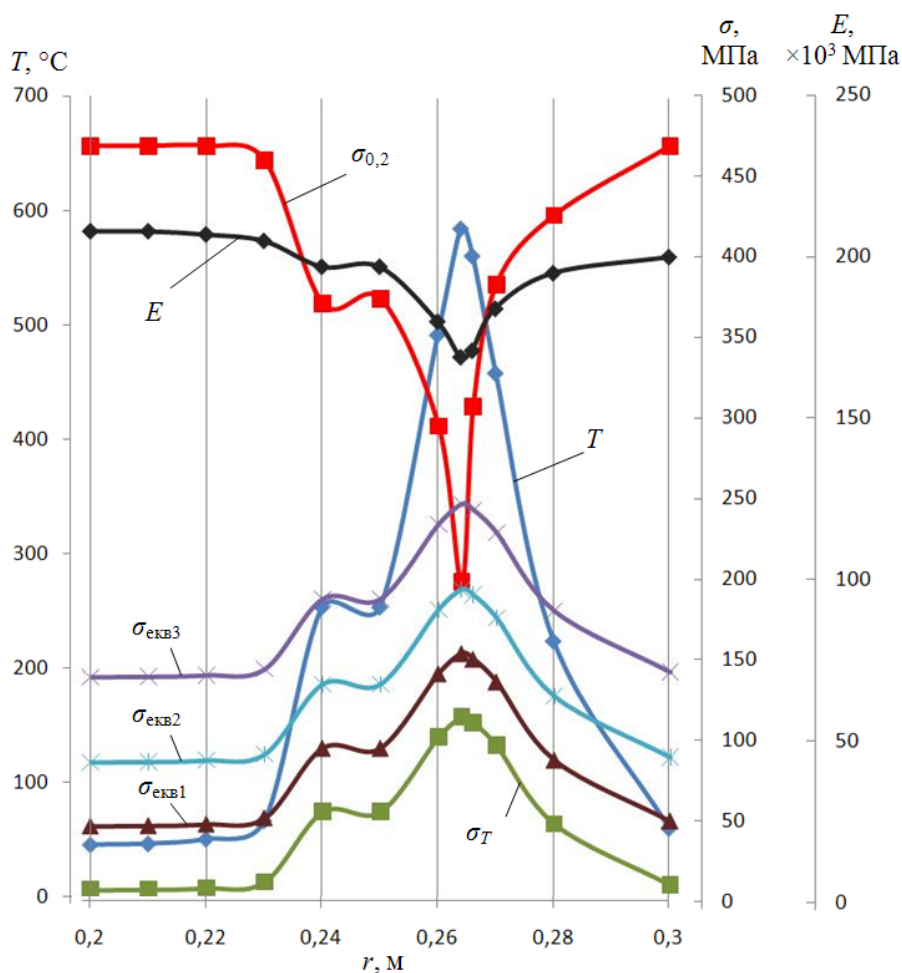
Еквівалентні напруження від дії внутрішнього тиску і температурного поля можуть бути визначені шляхом сумування.

Таким чином, можна побудувати розподіл еквівалентних напружень в стінці трубопрово-

ду по поверхні труби в залежності від внутрішнього тиску.

Якщо екстремальні еквівалентні напруження в стінці труби не перевищуватимуть границі плинності трубної сталі за максимальної температури, то матеріал працюватиме в межах пружності і руйнування не відбудеться. Таким чином, можна вибрати критичний тиск в трубопроводі, перевищення якого призведе до плинності трубної сталі і можливої при цьому аварії.

На рисунку 3 зображені криві розподілу еквівалентних напружень в стінці труби $\varnothing 529 \times 10$ мм із сталі 14Г2АФ і зміну напружень границі плинності цієї сталі від температури. Аналіз графіків свідчить, що, враховуючи запас міцності, можна прийняти допустимий тиск в газопроводі не вище 4,5 МПа.



$\sigma_{\text{екв1}}$ – сумарні еквівалентні напруження в стінці труби при $p = 1,5$ МПа;
 $\sigma_{\text{екв2}}$ – те ж при $p = 3$ МПа; $\sigma_{\text{екв3}}$ – те ж при $p = 5$ МПа

Рисунок 3 – Розподіл напружень в стінці труби та залежність механічних властивостей сталі 14Г2АФ від температури

Література

1 Бут В.С. Присоединение дуговой сваркой отводов к магистральным нефтепроводам под давлением [Текст] / Бут В.С. – М. : ВНИИОЭНГ, 1991. – 91 с. – (Обзор, информ. Сер. “Транспорт и хранение нефти”).

2 Подстригач Я.С. Обобщенная термомеханика [Текст] / Я.С. Подстригач, Ю.М. Коляно. – К. : Наукова думка, 1976. – 310 с.

Стаття поступила в редакційну колегію
27.07.10

Рекомендована до друку професором
Д. Ф. Тимківим