

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ПРОФІЛЮВАННЯ КАНАВОК НА ТРУБАХ РОЛИКОВИМ ОБКочУВАННЯМ

Проводился процесс моделирования обкатки ребристой трубы восемью роликами, а также одним острым роликом. Для каждого процесса получены результаты распределения интенсивности напряжений по толщине сформированной канавки на трубе из стали X1810T на каждом этапе формирования. Результаты моделирования этих процессов использовались для определения оптимальных технологических параметров процесса обкатки. Они хорошо согласуются с экспериментальными данными.

The simulation rolling ribbed pipe was performed eight rollers, and one sharp roller. For each process, the results obtained by the intensity distribution of stress across the thickness of the formed grooves on the pipe steel X1810T at each stage of formation. The results of modeling these processes were compared to find the optimal parameters of the process running. They are in good agreement with experimental data.

Інтенсифікація теплообміну в каналах є ефективним способом зменшення габаритних розмірів і металоємкості теплообмінних апаратів. Аналіз робіт в цьому напрямі показує, що найбільша увага приділяється турбулізації потоку за допомогою кільцевих діафрагм різних геометричних розмірів і типів, які розміщуються на внутрішній поверхні круглої труби [1]. Інтенсифікація тепловіддачі цим способом зменшує в 1,5 – 2 рази габаритні розміри і масу теплообмінного апарату. У дослідженнях [1] найбільш ефективними виявилися труби з локальними виступами на внутрішній поверхні труби. Тому також може бути ефективним турбулізатором і гвинтоподібна труба. Існує декілька запатентованих способів виготовлення гвинтоподібних труб, як з використанням оправки так і без них. Відомим способом виготовлення гвинтоподібних труб є роликове обкочування з використанням оправки [2]. Цей спосіб використовується при виготовленні довгомірних гвинтів гвинтових насосів, які виконуються з тонкостінних труб із нержавіючих і важкооброблюваних сталей, які застосовуються в нафтогазовидобувній промисловості [2].

Процес обкочування роликом зводиться до пластичної зміни форми шляхом локального переміщення металу. Холодна пластична деформація, яка відбувається при обкочуванні, значною мірою впливає на зміну фізико-механічних властивостей. Показники опору деформації збільшуються. При обкочування роликом слід прагнути до мінімальної неоднорідності деформації, оскільки градієнт деформації підвищує середнє питоме зусилля і знижує пластичність, що може привести до руйнування і створення у виробі залишкових напружень [3]. При обкочування роликом метал, що деформується, зміцнюється, причому нерівномірне зміцнення супроводжується підвищенням твердості деформованого металу, що дозволяє враховувати зміну величини зони зміцнення вимірюванням твердості. Це можна використовувати для експериментально-розрахункового визначення НДС області пластичної деформації методом твердості [4, 5].

Комп'ютерне моделювання різних процесів, включаючи й процеси обробки металів тиском, дозволяє досить точно провести оптимізацію технології та оснащення.

Мета роботи: проведення математичного моделювання процесу профілювання ребристої труби роликовим обкочуванням, аналіз її напружено-деформованого стану та порівняння його з НДС ребристої труби, що був отриманий експериментальним шляхом.

Одним з можливих способів отримання ребристих труб є спосіб роликового обкочування. В якості профілюючих інструментів для отримання гофрів на тонкостінній трубі з нержавіючої сталі X18H10T ($\sigma_{0,2} = 530 \text{ МПа}$, $\sigma_{\epsilon} = 740 \text{ МПа}$) застосовуються ролики та оправка. В попередній роботі ми розглядали можливі варіанти технологій виготовлення гвинтоподібних труб [3], які також можуть бути використані для отримання кільцевих гофрів на трубах.

Математичне моделювання процесу отримання ребристої труби було проведено методом скінчених елементів з використанням програмного комплексу DEFORM 3D, що був наданий тимчасово компанією "ТЕСИС" (м. Москва). Труба з зовнішнім діаметром 38 мм, довжиною 40мм та товщиною 1мм деформувалася вісьмома роликами, які послідовно збільшували глибину канавки на трубі, що дало більш плавне виконання профілю. Заготовка була встановлена на оправку діаметром 36 мм, шириною канавки 8 мм та глибиною 5 мм. Схема процесу роликового обкочування показана на рис. 1. Для моделювання процесу роликового обкочування була використана жорстко-пластична з лінійним зміцненням модель матеріалу. Крива зміцнення матеріалу X18H10T показана на рис. 2. Труба була розбита на сітку тетраедричних скінчених елементів з мінімальними розмірами 0.6 мм та максимальними 1.2 мм. Кількість вузлів в моделі заготовки становила – 103299, а кількість тетраедричних елементів – 452601. В області деформування сітка була подрібнена на тетраедричні елементи з розмірами 0.3 мм для більш

точного заповнення матеріалом канавки оправки. Ролики та оправка задавались як абсолютно жорсткі тіла. Коефіцієнт тертя становив – 0.1. Оправка із заготовкою оберталась без проковзування.

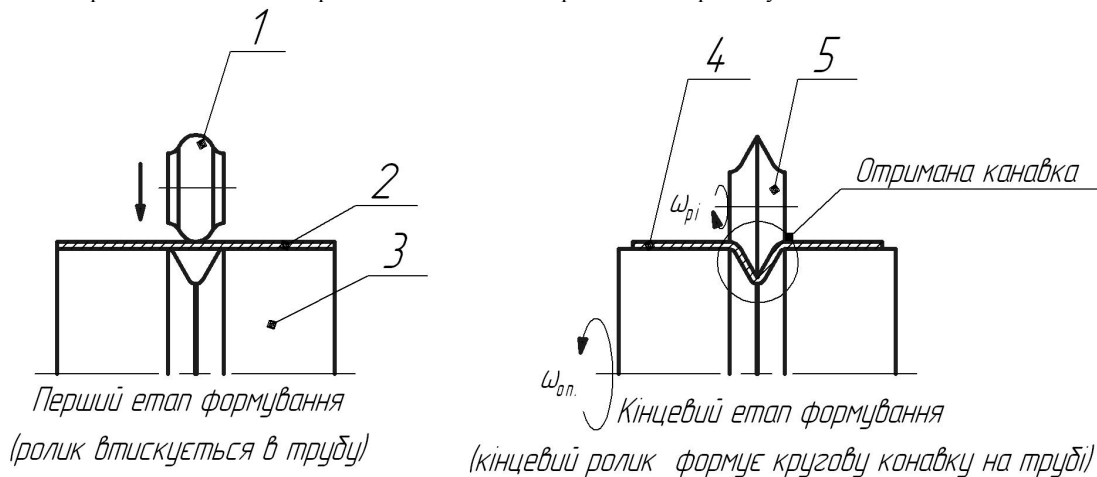


Рис. 1. Схема процесу обкочування: 1 – перший ролик, 2 – заготовка, 3 – оправка, 4 – отримана деталь, 5 – кінцевий восьмий ролик

Під час моделювання перший ролик спочатку вдавлювався в трубчасту заготовку, після її обертання з оправкою на кут 40° в початок сформованої канавки вдавлювався другий ролик і т. д. При вдавлюванні кожен ролик переміщувався в радіальному напрямку із швидкістю $v = 0,1 \text{ мм/с}$. Під час обкочування оправка з заготовкою оберталась із кутовою швидкістю $\omega_{оп} = 160 \text{ об/хв}$. Перший ролик обертався із кутовою швидкістю $\omega_{p1} = 658 \text{ об/хв}$, а другий з $\omega_{p2} = 573 \text{ об/хв}$ та відповідно наступні ролики з $\omega_{p3} = 509 \text{ об/хв}$, $\omega_{p4} = 453 \text{ об/хв}$, $\omega_{p5} = 406 \text{ об/хв}$, $\omega_{p6} = 427 \text{ об/хв}$, $\omega_{p7} = 381 \text{ об/хв}$, $\omega_{p8} = 369 \text{ об/хв}$.

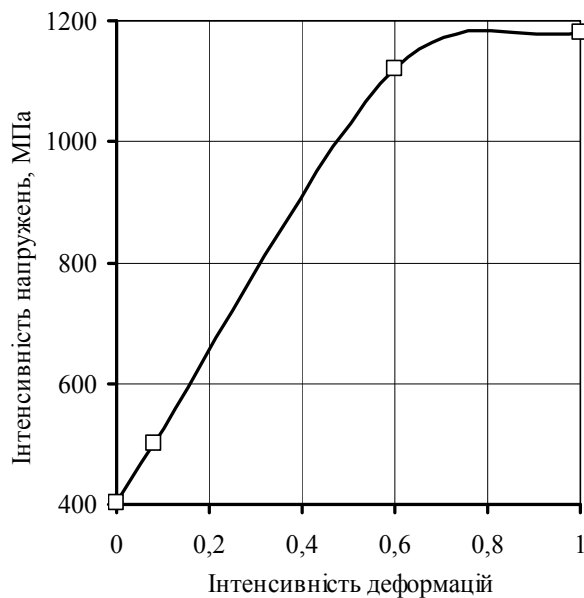


Рис. 2. Криві зміцнення сталі X18Ni10T

Креслення оправки та роликів показані на рис. 3. Кожен наступний ролик був повернутий відносно попереднього по осі оправки на кут 36° . Труба була здеформована на кут 256° . Повне деформування труби всіма десятима роликами відбудеться в подальшому моделюванні.

Для оптимізації технології попередньо проводилося моделювання процесу обкочування ребристої труби за допомогою одного гострого ролика, креслення якого показане на рис. 3, б. Для моделювання цього процесу була використана та ж модель матеріалу, що й в процесі, який описаний вище. Ролик задавався як абсолютно жорстке тіло. Коефіцієнт тертя становив 0,1. Використовувалась модель оправки така ж, як і в попередньому процесі. Спочатку ролик вдавлювався в трубчасту заготовку на величину 0,5 мм, а вже потім проходив процес обкочування труби. Після повного обороту ролика навколо труби, він знову мав вдавлюватись в трубу на величину 0,5 мм, а потім процес повторювався, і т. д. до досягнення глибини канавки 5мм. Але так, як при вдавлюванні та обертанні гострий ролик формував на трубі борозну, яка при подальшому могла призвести до руйнування матеріалу, це моделювання не було проведено до кінця. Отримана глибина канавки склала 0,5 мм. Швидкість переміщення ролика при вдавлюванні становила $v = 0,1 \text{ мм/с}$, а кутова швидкість при його обертанні навколо своєї осі $\omega_p = 423 \text{ об/хв}$.

Кутова швидкість обертання оправки становила $\omega_{оп} = 160 \text{ об/хв}$.

Чисельним моделюванням отримано розподіл інтенсивності напружень для процесу обкочування багатьма роликами (рис. 4), а також для процесу моделювання роликового обкочування одним гострим роликом (рис. 5). При моделюванні багатороликового обкочування отримана глибина профілю становить 4 мм.

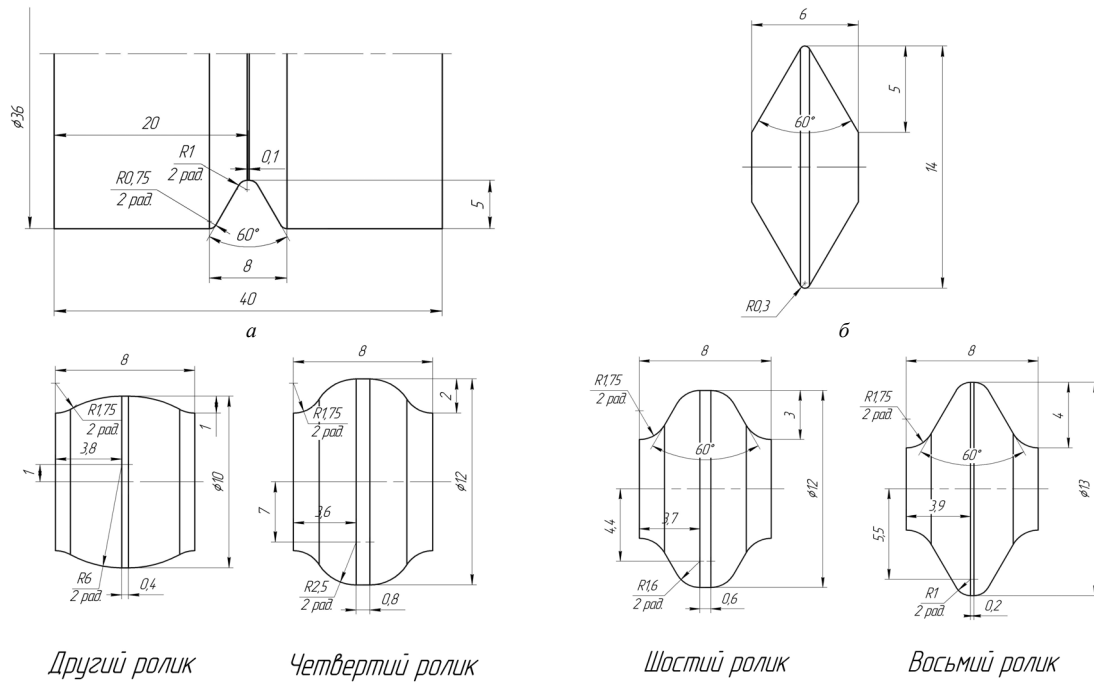


Рис. 3. Креслення оправки – а, гострого ролика для процесу однороликового обкочування труби – б та роликів, що використовуються в процесі багатороликового обкочування труби – в

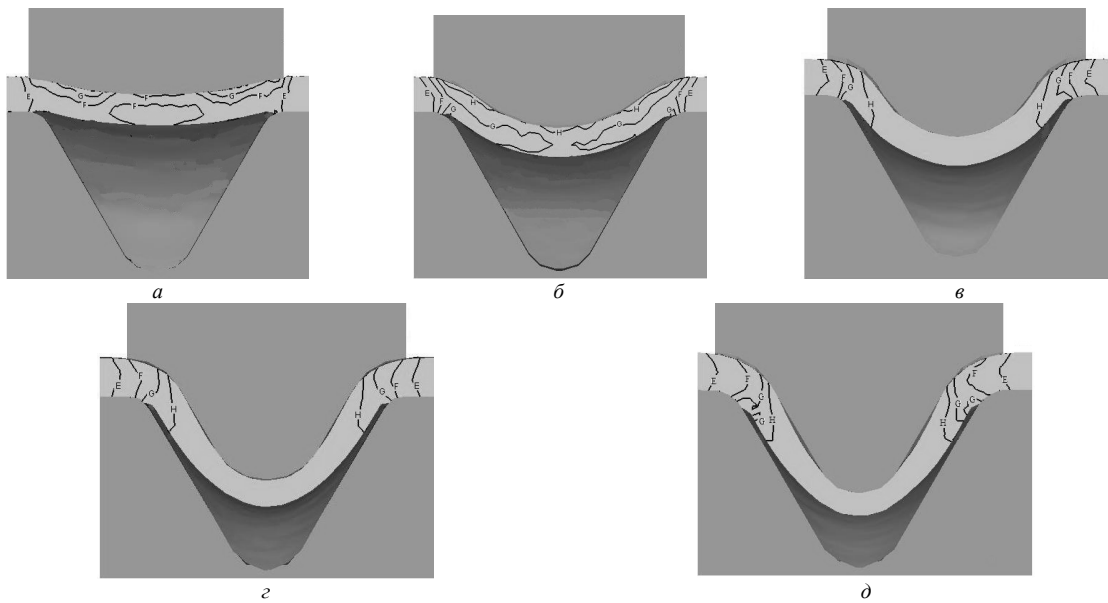


Рис. 4. Розподіл інтенсивності напружень в zdeформованих перерізах труби, при значеннях $E = 663$ МПа, $F = 829$ МПа, $G = 995$ МПа, $H = 1160$ МПа, на різних етапах обкочування: а – при глибині канавки 0,5 мм, б – при глибині канавки 1,5 мм, в – при глибині канавки 2,5 мм, г – при глибині канавки 3,5 мм, д – при глибині канавки 4 мм

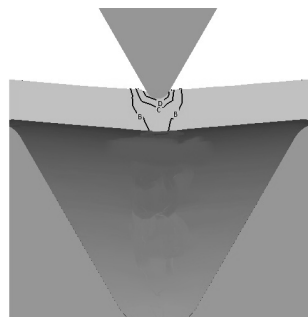


Рис. 5. Розподіл інтенсивності напружень в перерізі труби при моделюванні обкочування одним роликом: $B = 599$ МПа, $C = 785$ МПа, $D = 971$ МПа, $E = 1160$ МПа (на контактній поверхні ролика і труби)

Мікротвердість та інтенсивність напружень визначені експериментальним шляхом в перерізі канавки при її профілюванні обточуванням роликом до виникнення руйнування наведені на рис. 6, які були отримані в роботі [4]. Мікротвердість вимірювали мікротвердоміром ПМТ – 3, а залишкові напруження знаходили за формулою [5]:

$$\sigma_u = K \cdot HV \quad (1)$$

де $K = 0,3$, HV – твердість по Вікерсу.

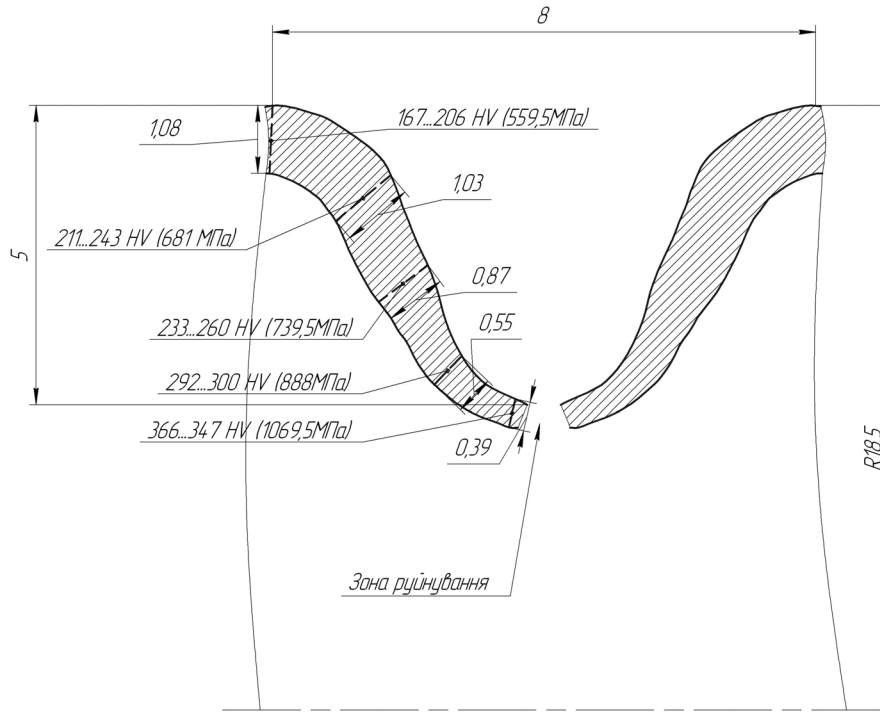


Рис. 6. Розподіл твердості та інтенсивності напружень (в дужках) в заготовці, що визначені експериментальним шляхом

Висновки.

1. При використанні роликів з малими радіусами заокруглення робочої поверхні $r < \frac{L}{8}$ (L – ширина канавки на оправці) відбувається локалізація деформації та нерівномірна деформація стінки труби, що може призвести до руйнування труби.

2. При використанні 8-ми роликів, які послідовно збільшують глибину канавки на 0,5 мм, відбувається краще заповнення канавки матеріалом та зменшується можливість виникнення тріщин.

3. Порівняння результатів моделювання та експериментів показали, що в обох випадках із збільшенням глибини заповнення канавки збільшується потоншення стінки труби в районі радіусу, яке призводить до руйнування (див. рис. 4, д та рис. 5).

4. Отримані результати розподілу напруження були порівняні із результатами розподілу напружень експериментальних даних. Встановлено, що максимальна інтенсивність напруження при моделюванні роликівого обточування не перевищує 1160 МПа, а в експериментальних дослідженнях інтенсивність залишкових напружень становила 1069,5 МПа.

Список літератури

1. Рогачев В. А. Интенсификация теплообмена в круглой трубе / Рогачев В. А., А. М. Терех, В. Д. Бурлей, А. В. Семеняко. // Энергетика: экономика, технологии, экология. – 2008. – № 1. – С. 36 – 42
2. Пат. 2121405 РФ, МКИ В 21 D 15/04. Способ изготовления винтовых деталей и устройство для его осуществления. Заявл. 20.12.1995; Опубл. 10.11.1998, – 6 с.
3. Маковой В. О. Профілювання гвинтоподібних труб обточуванням / Маковой В. О., Бородій Ю. П., Кліско А. В., Проценко П. Ю. // Вісник Київського політех. ін-та. Машинобудування. – 2010. – №60. – С. 55 – 60.
4. Маковой В. О. Напряженно-деформированное состояние винтоподобных труб при профилировании / Маковой В. О., Бородій Ю. П., Проценко П. Ю. // Вестник НТУ «ХПИ». – г. Харьков. №42. – С. 64 – 70.
5. Огородников В.А. Механіка процесів формозмінювання з однотипними схемами механізму деформації / Огородников В.А., Музичук В.І., Нахайчук О.В. – Вінниця, Універсум, 2007. – 179 с.