

### III МАШИНОБУДУВАННЯ ТА МАТЕРІАЛОБРОБКА

УДК 621.771

#### ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ВИГИНУ ТРУБИ НА ОПРАВЦІ

*Нахайчук О.В. д.т.н, професор*

*Музичук .В.І. к.т.н, доцент*

*Олексієнко Т.Л.*

*Вінницький національний аграрний університет*

*В статье предложена методика расчёта напряжённого состояния относительно процесса формообразования крутоизогнутых труб методом холодного пластического деформирования. При составлении математической модели принято, что в пластической области реализуется плоское напряжённое состояние.*

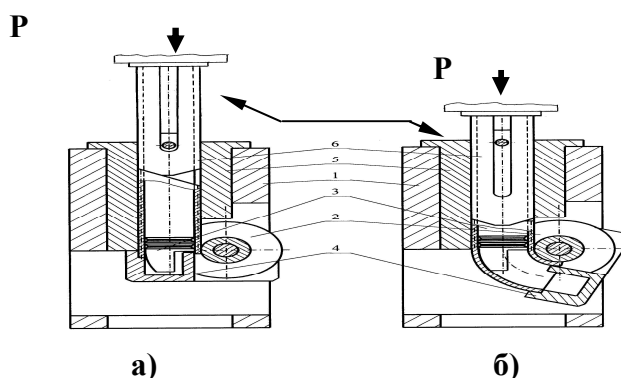
*The method of calculation of the stress state is offered in the article in relation to the process of forming of bent pipes the method of cold plastic deformation. At drafting it is accepted a mathematical model, that the flat tense state will be realized in a plastic area.*

**Вступ.** В останні роки розробляються принципово нові технологічні процеси з використанням методів холодного пластичного деформування. Одним з них є процес одержання крутовигнутих сталевих труб (відведень) методом одночасного протягування з вигином в холодному стані, розроблений в Інституті надтвердих матеріалів НАН України [1]. Такі вироби використовуються для виробництва, монтажу і ремонту систем трубопроводів, базових конструкцій в атомній промисловості та ін.

Широке впровадження даної технології стримується відсутністю надійних розрахункових методів, що дозволяють оцінити енергосилові параметри, можливість формозміни труб різних матеріалів без технологічних відмовлень (гофроутворень, втрати стійкості, руйнувань металу). Крім того, виникає необхідність прогнозування на стадії проектування технологічного процесу очікуваних фізико-механічних характеристик виробів. Для виконання вказаних задач є важливою розробка надійних математичних моделей для розрахунків напружено-деформованого стану з подальшим визначенням небезпечних областей деформування. Це дасть можливість вдосконалити існуючі процеси і забезпечити якість отримуваних виробів.

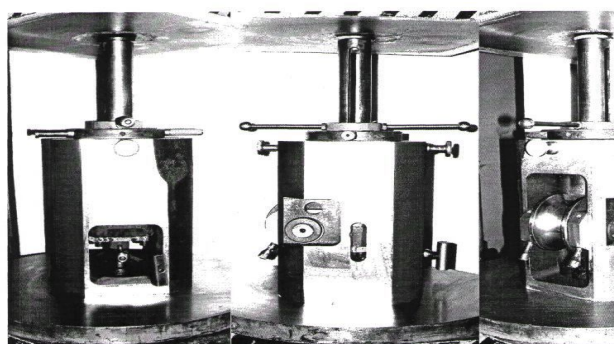
**Основна частина.** Розроблений спосіб дозволяє виготовляти відведення з мінімально допустимим радіусом вигину в діапазоні зовнішніх діаметрів  $D = 20\text{--}219$  мм з товщиною стінок  $s = (0,03\text{--}0,075)D$  і кутами вигину від  $45^\circ$  до  $90^\circ$  з різних марок сталей, у тому числі і неіржавіючих [1]. Основним елементом технологічного устаткування розробленого способу є пристрій для формування крутовигнутих відведень, схема, зовнішній вигляд і елементи якого показані на рис. 1 та 2. У центральний отвір корпусу вставлена гільза 5 із закріпленим на ній деформуючим елементом, що служить в якості напрямника для штовхача 6. В початковий момент роботи важіль знаходиться в горизонтальному положенні. Шток преса тисне на торець штовхача, заготовка проходить по робочій частині деформуючого елемента,

внаслідок чого відбувається роздача і калібрування її внутрішнього діаметра. При подальшому переміщенні заготовка входить в захватну ділянку важеля 4 і разом з ним переміщується по робочій поверхні ролика. При цьому частина радіуса деформуючого елемента перешкоджає отриманню овальності виробу вище за межі допуску і запобігає появі гофрів в місці вигину. Після закінчення формування відведення готовий виріб подається через вікно в корпусі.



**Рис. 1. Схема пристрою для формоутворення кривовигнутих відведень методом холодного пластичного деформування :**

1- корпус ,2- ролик , 3- деформуючий елемент, 4-важіль, 5- гільза, 6- штовхач



а)



б)

в)

г)

**Рис. 2. Пристрій для формоутворення відведень способом одночасного вигину із протягуванням:**

а – загальний вигляд пристрою; б – важіль і ролик; в – штовхач і деформуючий елемент; г – внутрішня захватна частина важеля

На рис. 2. наведений загальний вид пристрою зі складовими частинами.

На рис. 3. представлені заготовки відведення з параметрами  $90^\circ 45 \times 2,5$  на різних етапах формоутворення та різних ступенях деформації.



Рис. 3. Поетапне деформування заготовки відведення  $90^\circ$   $45 \times 2,5$

Розподіл напружень в небезпечній області можна визначити експериментально-аналітичним шляхом із застосуванням моментної теорії оболонок і теорії вигину для зміцнювального матеріалу [2]. Для розрахунків складені рівняння рівноваги і сил для елементарного зовнішнього елемента циліндричної заготовки (рис. 4). Згідно наведеної схеми, зусилля можна визначити як:

$$dN_\alpha = \sigma_\alpha s r d j; \quad dN_\theta = s R_2 \sin \alpha d j; \quad dN_\kappa = \sigma_\kappa R_2 r \sin \alpha d j; \quad (1)$$

де  $dN_\alpha$  - сила, що діє перпендикулярно площині МК;  $dN_\theta$  - сила, що діє в окружній площині, у проекції на нормаль до площини вигину;  $dN_\kappa$  - зусилля від контактного тиску на дорн. Тоді значення моментів відносно площини перерізу АВ будуть:

$$dM_\alpha = \sigma_\alpha s r R_2 (1 - \cos \alpha) d j; \quad dM_\theta = 0.5 \sigma_\theta s R_2^2 \sin^2 \alpha d j; \\ dM_\theta = 0.5 \sigma_\kappa r R_2^2 \sin^2 \alpha d j. \quad (2)$$

Для схеми згинаючий момент  $M_\zeta$ , який діє у площині МК, дорівнює сумі елементарних моментів, тоді можна записати для сил і моментів:

$$\begin{cases} dM_\zeta r d j = dM_\alpha + dM_\theta - dM_{\hat{e}}; \\ dN_\theta + dN_\alpha = dN_{\hat{e}}. \end{cases} \quad (3)$$

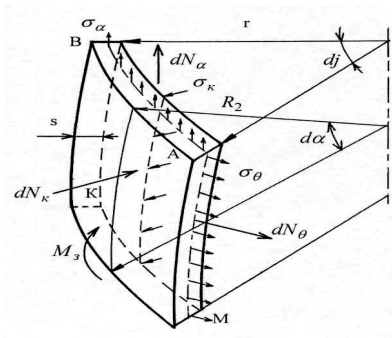


Рис. 4. До визначення напруженого стану при згинанні труби на оправці

Умова переходу оболонки в пластичний стан може бути записана у вигляді кінцевого співвідношення між силами та моментами, діючими у меридіональних і окружних перерізах оболонки. Тоді, використовуючи рівняння В. І. Вершиніна [2], згинаючий момент буде рівним:

$$M_{\zeta} = (s^2 / 4\sigma_u)(\sigma_u^2 - \sigma_{\alpha}^2), \quad \sigma_{\theta} = \sigma_u. \quad (4)$$

Зміцнення матеріалу при розрахунках можна враховувати параметрами апроксимації кривої течії [3]. Скориставшись методом подільних сіток, можна знайти залежність інтенсивності деформації від кута  $\alpha$  при відповідній апроксимації степеневими функціями [4,5]. Значення напружень можна визначити за залежностями:

$$\sigma_{\alpha} = \sigma_u \left[ -\frac{R_2}{s} \cdot (1 - \cos \alpha)^2 + \sqrt{\frac{R_2^2}{s^2} \cdot (1 - \cos \alpha)^4 + 1} \right]; \quad \sigma_{\theta} = \sigma_u, \quad (5)$$

де  $\sigma_{\alpha}$  і  $\sigma_{\theta}$  - головні напруження в меридіональному і окружному перетинах;  $\sigma_u$  - інтенсивність напружень ( $\sigma_u = A e_u^n$ );  $\alpha$  - кут повороту перерізу труби;  $S$  - товщина стінки труби;  $R_2$  - кривизна вигину зовнішньої частини заготовки в меридіональному напрямку,  $R_2 = (d-s)/2$ ,  $R$  - радіус вигину центральної вісі заготовки,  $d$  - зовнішній діаметр заготовки,  $A$  і  $n$  - параметри зміцнення кривої течії матеріалу,  $e_u$  - інтенсивність деформацій;  $e_u^*$  - накопичена інтенсивність деформацій в кінцевій точці на дузі.

На рис. 5 представлені результати розрахунку напруженого стану для різних кутів вигину труб.

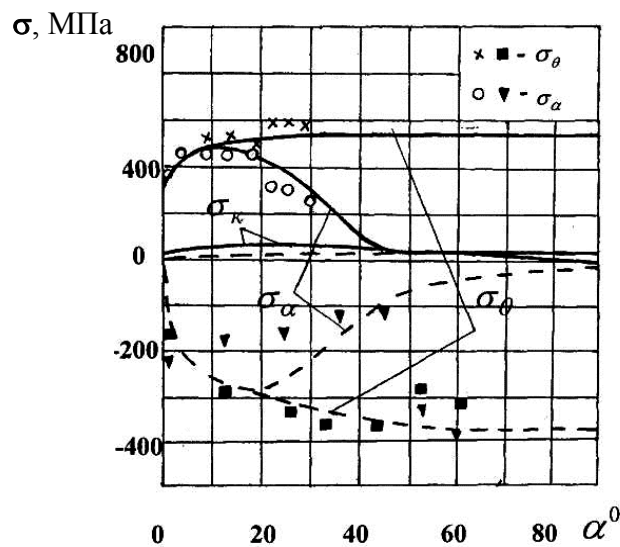


Рис. 5. Результати розрахунку напруженого стану

### Висновки

1. За результатами аналізу деформації подільної сітки, яка була нанесена на заготовку до деформування, можна вважати, що вона в процесі формоутворення піддається складному деформуванню – одночасно діють згинаючі деформації та деформації зсуву, причому в місцях контакту з інструментом, а також в облойних ділянках деформований стан характерний тільки для цього методу вигину.

2. Представлена методика розрахунку напруженого стану може бути покладена в основу вивчення механіки формування процесів згинання труб на оправках, при проведенні яких створюється прийнятна схема деформованого стану для забезпечення необхідних параметрів якості отримуваних виробів.

### Література

1. Розенберг О.А., Мельниченко В.В., Студенець С.Ф. Новая технология получения крутоизогнутых стальных отводов методом холодного пластического деформирования // Изв. АИН Украины, спец. выпуск отделения “Тяжёлого и транспортномашиностроения”. – 1998. – С. 96–102.

2. Теорияковки и штамповки / Унксов Е.П., Джонсон У., Колмогоров В.Л. и др./ под. ред. Е.П. Унксова, А.Г. Овчинникова. – М.: Машиностроение, 1992. – 720 с.

3. Дель Г. Д. Определение напряжений в пластической области по распределению твёрдости. – М.: Машиностроение, 1971. – 200 с.

4. Механіка деформування в процесі виготовлення крутозігнутих трубчастих заготовок / В.А. Огородніков, О.В. Нахайчук, О.В. Грушко, В.Г. Нахайчук // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2000. – №2 (29). – С. 66-71.

5. Нові технологічні процеси з використанням прогресивних методів пластичного деформування: / О.В. Нахайчук, О.О. Розенберг, В.А. Огородніков, А.Д. Крицький, В.В. Мельниченко, С.Ф. Студенець. Монографія. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. – 158 с.