

УДК 621.774.35

Ханін М.І., Чередниченко І.П., Алексеев А.В.

## ВИЗНАЧЕННЯ ПОТОЧНИХ ЛІНІЙНИХ ЗМІЩЕНЬ І ЧАСТКОВИХ ОБТИСКІВ ПРИ ПІЛІГРИМОВІЙ ПРОКАТЦІ ТРУБ, ВИХОДЯЧИ З ІСТИННИХ ЗНАЧЕНЬ ОБ'ЄМІВ ПОДАЧІ

Запропонована уточнена методика розрахунку часткових обтисків по довжині робочого конуса і дрібності деформації в пілігримових процесах, що базується на визначенні поточних лінійних зміщень, виходячи з істинних значень об'ємів подачі.

Предложена уточненная методика расчета частных обжатий по длине рабочего конуса и дробности деформации в пилигримовых процессах, базирующаяся на определении текущих линейных смещений, исходя из истинных значений объемов подачи.

The specified method of calculation of the private reduction out is offered on length of working cone and shot of deformation in rotary forge processes, being based on determination of current linear displacements, coming from the truth values of volumes of serve

### Вступ

Пілігримові процеси в станах гарячої і холодної прокатки характеризуються змінною величиною обтисків діаметра і товщини стінки по довжині робочого конуса (сумарної зони деформації). Розподіл часткових обтисків по довжині конуса визначається, в першому наближенні, калібровкой технологічного інструменту. Вказаний розподіл, у свою чергу, впливає на зміну силових параметрів і пружню деформацію робочої кліті, що в сумі визначає остаточну закономірність розподілу обтисків по довжині конуса.

У будь-якому випадку необхідним є рішення задачі точного визначення часткових обтисків в довільному перетині зони деформації по заданій калібровці валків. Це дозволяє вибирати оптимальні параметри калібровки і створювати раціональний розподіл силових параметрів.

**Проблема.** На важливості точного рішення даної задачі акцентував увагу П.Т. Ємельяненко. У роботі [1] він показав помилковість рішення Г. Лобковитца (рис. 1, а), згідно якому обтиск по стінці в довільному перетині  $x$  дорівнює різниці товщини стінок у вказаному і попередньому перетині, віддаленому від перетину  $x$  на величину подачі  $m$ . Таке рішення, що не враховує подовжнє зміщення металу, продеформованого до підходу валків в перетин  $x$ , дає явно занижені результати.

Правильно враховуючи механізми протікання деформації металу, П.Т. Ємельяненко [1, 2] сформулював наступне правило: «Величина обтиску в періодичній частині профілю пілігримової головки дорівнює

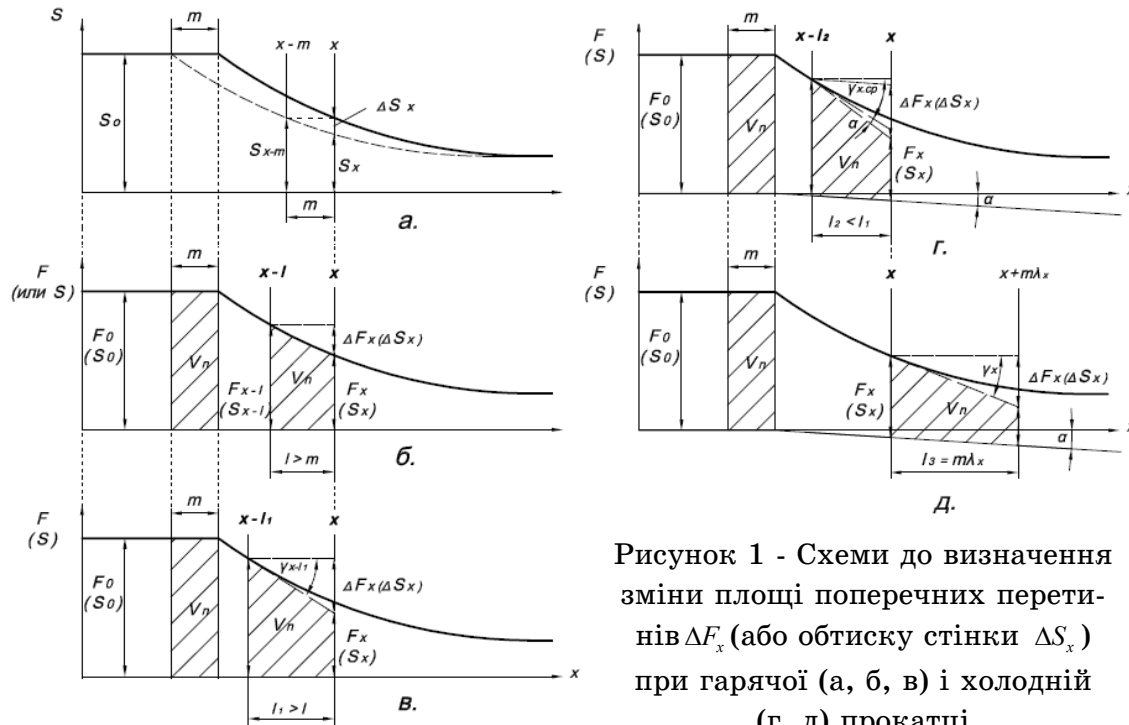


Рисунок 1 - Схеми до визначення зміни площі поперечних перетинів  $\Delta F_x$  (або обтиску стінки  $\Delta S_x$ ) при гарячій (а, б, в) і холодній (г, д) прокатці

різниці між висотою даного перетину і висотою перетину, віддаленого від першого на такій відстані, при якій об’єм, що розміщується між цими перетинами, рівний об’єму подачі металу».

Графічне представлення приведеного принципу показано на рис. 1, б.

Об’єм подачі  $V_n$  рівний

$$V_n = F_0 m, \quad (1)$$

де  $F_0 (F_3)$  - площа поперечного перетину заготовки;

$m$  - величина подачі заготовки перед одним циклом пілігримової прокатки.

На робочому конусі перед даним перетином об’єм подачі визначається як

$$V_n = \int_{x-l}^x F_x dx, \quad (2)$$

де  $F_x$  – площа довільного поперечного перетину  $x$ , зміна якого по осі  $x$  визначається калібрувкою валку і кінематикою процесу;

$l$  – відстань від перетину  $x$  до попереднього перетину, між якими розміщується об’єм подачі  $V_n$  (лінійне зміщення перед перетином  $x$ ).

Для вирішення поставленої задачі - визначення часткових обтисків в перетині  $x$ , рівного

$$\Delta S_x = S_{x-l} - S_x, \quad (3)$$

необхідно обчислити інтеграл (2). Аналітичне рішення у зв’язку з великою складністю залежності  $F_x(x)$  складно (або неможливо).

Через це П.Т. Ємельяненко запропонував приблизне рішення [2], засноване на заміні складної функції  $F_x(x)$  лінійною. Як видно з рис. 1, в, заміна складної фігури подовжнього перетину робочого конуса трапецією приводить до отримання  $l_1 > l$  і підвищення величини розрахункового обтиску в порівнянні з істинним.

**Аналіз досліджень.** Для умов холодної прокатки Ю.Ф. Шевакіним [3] запропонована схема, яка декілька відрізняється від схеми П.Т. Ємельяненка (див. рис. 1, г), хоча, вона також базується на кусочно-лінійному представленні профілю робочого конуса і що, отже, також дає наближене рішення. Згідно цій схемі

$$\Delta S_x = l_2 (tg \gamma_{x.cp} - tg \alpha), \quad (4)$$

де  $tg \gamma_{x.cp}$  - середня конусність рівчака валка на даній ділянці  $(x-l_2) - x$ ;

$tg \alpha$  - конусність оправки.

Враховуючи невизначеність величини  $\gamma_{x.cp}$  М.Б. Роговим [4] і П.К. Тетеріним [5] запропонована спрощена формула (див. рис. 1, д):

$$\Delta S_x = l_3 (tg \gamma_x - tg \alpha) = m \lambda_x (tg \gamma_x - tg \alpha), \quad (5)$$

де  $tg \gamma_x$  - конусність рівчака в перетині  $x$ ;

$$\lambda_x = \frac{F_0}{F_x} = \frac{S_3 (D_3 - S_3)}{S_x (D_x - S_x)} - \text{коефіцієнт витяжки в перетині } x.$$

Для визначення закономірності зміни  $\Delta S_x$  по довжині зони обтиску стінки  $l_0$  робочого конуса Ю.Ф. Шевакіним [2, 6] запропонована методика (див. рис. 2), що полягає у виконанні наступних операцій: розбивка довжини зони  $l_0$  на ряд рівновіддалених один від одного контрольних перетинів (який-небудь зв’язок відстаней між цими пе-

ретиною і об’ємом подачі не передбачається); розрахунок коефіцієнтів витяжки, товщини стінки, конусностей рівчака  $\gamma_i$  і обтиску по товщині стінки  $\Delta S_i$  в контрольних перетинах у відповідності з аналітичним виразом витяжки або профілю гребеня рівчака калібру. Обтиск визначається приблизно, аналогічно формулі (5):

$$\Delta S_i = m\lambda_{Si}(tg\gamma_i - tg\alpha). \quad (6)$$

Правило П.Т. Ємельяненка в розрахунку безпосередньо не використовується.

Дрібність деформації запропоновано визначати як

$$n_d = \frac{l_0}{m\lambda_{cp}} \approx \frac{l_0}{m \frac{1+2\lambda_{\Sigma}}{3}}, \quad (7)$$

де  $\lambda_{\Sigma}$  - сумарний коефіцієнт витяжки.

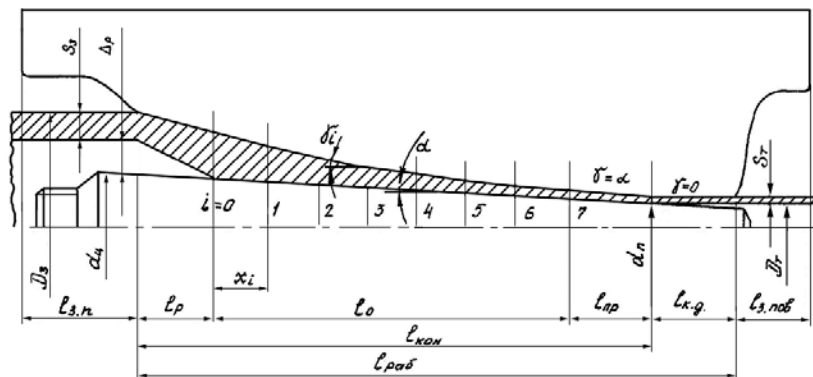


Рисунок 2 - Розбивка зони обтиску стінки

**Постановка задачі.** У даній роботі запропонована нова методика розрахунку обтисків стінки по довжині робочого конуса і дрібності деформації, що безпосередньо базується на використанні правила П.Т. Ємельяненка. Оскільки точне рішення, пов'язане з аналітичним розкриттям інтеграла (2), зустрічає значні математичні утруднення, пропонується методика заснована на чисельному інтегруванні, виконаному за допомогою ПК. Дрібність деформації визначається в ході рішення як число об’ємів подачі, що укладаються в об’ємі робочого конуса.

**Результати досліджень.** Схема до визначення параметрів показана на рис. 3.

Граничні перетини  $k=0; k=1$  і т.д. відокремлюють об’єми подачі  $V_n$  на робочому конусі. Об’єм подачі визначається підсумовуванням елементарних об’ємів, де  $\Delta x$  - елементарний крок інтегрування;  $F_i$  -

площа поперечного перетину робочого конуса, визначувана на кожному кроці  $\Delta x$  відповідно до параметрів калібровки (математичними виразами профілю рівчака валка і оправки).

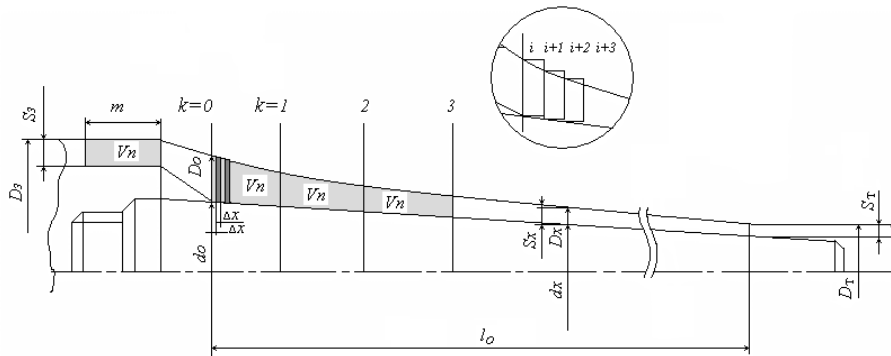


Рисунок 3 - Зміна параметрів деформації по довжині робочого конуса

Підсумовування елементарних об'ємів  $\sum_{i=0}^{i=l_0/\Delta x} \Delta V_i$  ведеться по всій довжині зони  $l_0$  з виділенням граничних перетинів  $k_i$ , що відокремлюють об'єми подачі, в яких  $i = i_k$ .

Значення  $i_k$  і відповідно перетини  $k_i$  знаходяться за допомогою логічного блоку, в який введена умова

$$\sum_{i=0}^{i_k} \Delta V_i \leq k V_n, \quad (8)$$

де  $k = 1, 2, 3, \dots$ ; координати цих перетинів  $x_k = i_k \Delta x$ .

З приведеної умови (8) видно, що точність розрахунку залежить від величини кроку інтегрування  $\Delta x$ . Для перевірки впливу  $\Delta x$  виконали розрахунки розподілу обтисків стінки по довжині робочого конуса для маршруту прокатки  $57 \times 4.5 \rightarrow 38 \times 1.8$  мм на стані ХПТ-55 при подачі  $m = 6$  мм, конусності оправки  $2 \operatorname{tg} \alpha = 0.023$ . Калібровка гребеню рівчака розрахована виходячи із закону розподілу стінки по довжині зони обтиску  $l_0$ , запропонованого Ю.Ф. Шевакінім [6]:

$$S_x = \frac{S_0}{\frac{\lambda_s - 1}{1 - e^{-0.64}} \left( 1 - e^{-0.64 \frac{x}{l_0}} \right) + 1}. \quad (9)$$

Крок інтегрування  $\Delta x$  варіювали в межах 0,1–0,5 мм. Результати розрахунку показали, що збільшення  $\Delta x$  призводить до порушень плавності ходу кривої зміни  $\Delta S_i$  по довжині обтискової зони.

Для вказаного вище маршруту холодної прокатки і калібровки інструменту виконані порівняльні розрахунки розподілу обтисків стінки по довжині зони обтиску по двох методиках:

- широко використовуваний в даний час методиці Ю.Ф. Шевакіна, що базується на розрахунку параметрів в контрольних перетинах, відстані між якими не пов'язані з об'ємом подачі;

- запропонованій методиці, заснованій на правилі П.Т. Ємельяне-нка, що полягає у визначенні обтисків по різниці стінок в двох граничних перетинах (попередньому і подальшому), між якими розміщується об'єм подачі, і визначенні об'єму подачі шляхом чисельного інтегрування (при  $\Delta x = 0,1$  мм).

Результати розрахунку приведені на рис. 4. Вони показують, що в основному відмінність розрахункових обтисків спостерігається на початку робочого конуса, де воно досягає 25%. Число точок на кривій 1 відповідає числу циклів (дрібності) деформації на довжині зони обтиску стінки. Для даного прикладу отримали: по методиці Ю.Ф. Шевакіна  $n_0 = 22$ , по запропонованій методиці  $n_0 = i_{k\Sigma} = 30$ , тобто більше на 36%.

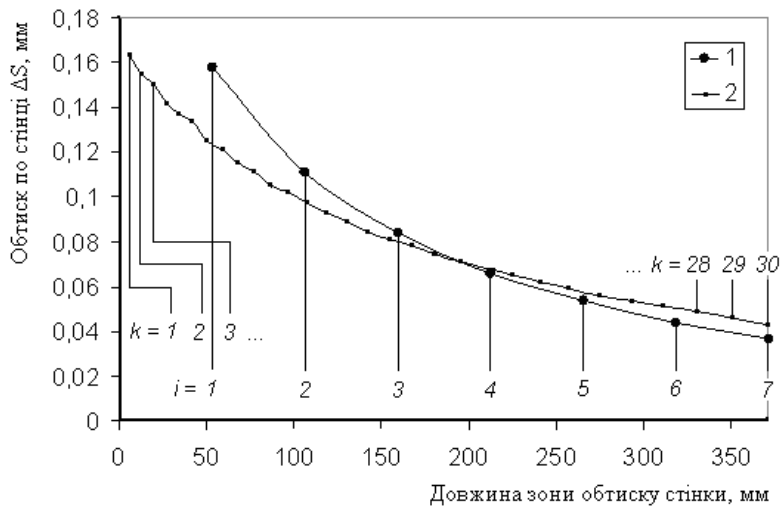


Рисунок 4 - Розподіл обтисків стінки  $\Delta S_i$  по довжині робочого конуса, розраховане по методиці Ю.Ф. Шевакіна (1) і запропонованій методиці (2)

Запропонована методика може бути використана при уточненому розрахунку режимів деформації і енергосилових параметрів в станах пілігримової прокатки.

### Висновки

Розроблена нова методика розрахунку обтисків по товщині стінки труби в довільних перетинах, розподіли обтисків по довжині робочого конуса, а також дрібність деформації в станах пілігримової прокатки, теоретичною базою якої є правило П.Т. Ємельяненка. Використання цього правила забезпечує вищу точність визначення параметрів в порівнянні з відомими методиками.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Емельяненко П.Т. Истинные значения обжатий в пильгерных процессах. - Теория и практика металлургии, 1940. №3.
2. Емельяненко П.Т. Теория косо́й и пилигримовой прокатки. – М.: Металлургиздат, 1949. – 492с
3. Шевакин Ю.Ф. Калибровка и усилия при холодной прокатке труб. – М.: Металлургиздат, 1963. – 272с.
4. Рогов М.Б. Теоретические и экспериментальные вопросы холодной прокатки труб из нержавеющей стали марки 1Х18Н9Т: Автореф. Дис. ... канд.техн.наук. – Днепропетровск, 1951.
5. Тетерин П.К. Рациональная калибровка валков станов холодной прокатки труб. – Сталь, 1953, №13.
6. Шевакин Ю.Ф., Глейберг А.З. Производство труб: Учебник для вузов. – М.: Металлургия, 1968. – 440с.