

4. Бахтинов Б.П. Калибровка прокатных валков / Б.П.Бахтинов, М.М.Штернов. - М: Металлургиздат, 1953. - 784с.
5. Штернов М.М. Калибровка угловой стали / М.М.Штернов. - Свердловск: Металлургиздат, 1961. - 57с.
6. Есипов В.Д. Методика расчета калибровки валков для прокатки равнобокой угловой стали в открытых калибрах / В.Д.Есипов // Сталь. - 1968. - № 9. - С.816-818.
7. Фурман Я.Б. Уточненный метод расчета калибровки угловой стали / Я.Б.Фурман, В.И.Гридневский // Бюллетень ЦНТИИ черной металлургии. - 1970. - № 24(644). - С.28-30.
8. Фурман Я.Б. Рациональная калибровка неравнобокой угловой стали / Я.Б.Фурман, В.И.Гридневский // Сталь. - 1969. - № 9. - С.809-813.
9. Кочетов И.М. Калибровка валков с применением систем развернутых калибров / И.М.Кочетов. – М.: Металлургия, 1971. - 110с.

*Надійшла до редколегії 20.04.2012.*

УДК 621.771

ШТОДА М.М., к.т.н., доцент  
ШТОДА І.І., зав. лабораторії  
УСТИМЕНКО Р.С., студент

Дніпродзержинський державний технічний університет

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ МЕТАЛУ ПРИ ПРОКАТУВАННІ В ЯЩИЧНИХ КАЛІБРАХ З РІЗНИМИ ВИПУСКАМИ**

**Вступ.** Система прямокутних ящичних калібрів досить широко розповсюджена при прокатуванні профілів крупного та середнього перерізів. Така система використовується на блюмінгах, неперервно-заготовочних станах, обтискних станах тріо та в перших клітях сортових станів [1].

**Постановка задачі.** У даний час розроблено рекомендації для побудови ящичних калібрів, проте, як зазначають самі ж розробники, їх ніяким чином не треба розуміти як обов'язкові. Їх розроблено перш за все з метою допомогти починаючому калібрувальнику. У конкретних умовах того чи іншого стану оптимальних результатів можна досягти при розмірах калібру, які суттєво відрізняються від отриманих за рекомендованими формулами. Особливо обережно в цьому відношенні треба підходити до величини ухилу стінок і ширини калібру, які змінюються в кожному окремому випадку.

Тому дослідження деформованого стану металу при прокатуванні в ящичних калібрах з різними випусками досі є актуальними.

Для дослідження деформованого стану металу при прокатуванні в ящичних калібрах було обрано експериментальний метод сіток, який дозволяє швидко та з великою точністю отримати розподіл деформацій по поперечному перерізу штаби.

**Результати роботи.** Для виконання досліджень було відлито прямокутні свинцеві зразки з поперечним перерізом 20x30 мм. З метою отримання ущільненої структури металу литі заготовки прокатували на стані 180 лабораторії ДДТУ на розмір 18x22 мм, а потім на стругальному верстаті отримували остаточні розміри поперечного перерізу заготовок 16x20 мм. Довжина зразків була більше 100 мм. Далі кожен зразок було розрізано навпіл в поперечному напрямі та на одній з отриманих частин було нанесено сітку на поперечному перерізі з клітинкою зі стороною 1 мм. Потім обидві частини за допомогою легкоплавкого сплаву було з'єднано в єдиний зразок. Отримані таким чи-

ном зразки прокатували в ящичних калібрах стану 180 лабораторії ДДТУ (рис.1) з різними випусками калібрів.

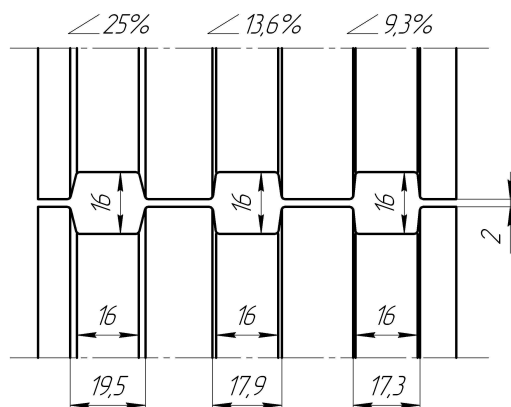


Рисунок 1 – Розміри ящичних калібрів стану 180

Прокатування проводили на сухих валках з абсолютним обтисненням 4 мм. Після прокатування виконували виміри координат вузлів сітки.

Перед прокатуванням виконували виміри координат вузлів сітки, приймаючи за початок координат точку  $O$  – центр перерізу, а напрямок координатних осей сумістивши з осями симетрії. Вузли координатної сітки позначали двома індексами:  $i$  – номер вузла в напрямку осі  $OY$ ;  $j$  – номер вузла в напрямку осі  $OZ$ .

На підставі виміру координат визначали переміщення точок:

$$u_y = y_1 - y_0 ; \quad (1)$$

$$u_z = z_1 - z_0 , \quad (2)$$

де  $y_0, z_0$  – координати вузлів до деформації;

$y_1, z_1$  – координати вузлів після деформації.

Розраховані значення переміщень точок використовуємо для визначення лінійних та кутових деформацій у центрах розглядуваних осередків за приблизними формулами:

$$\epsilon_y = \frac{\Delta u_y}{\Delta y} ; \quad (3)$$

$$\epsilon_z = \frac{\Delta u_z}{\Delta z} ; \quad (4)$$

$$\gamma_{yz} = \frac{\Delta u'_z}{\Delta y} + \frac{\Delta u'_y}{\Delta z} , \quad (5)$$

де  $\Delta y, \Delta z$  – крок координатної сітки;

$\Delta u_y$  – різниця переміщень точок з індексами  $(i; j)$  та  $(i-1; j)$  в напрямку осі  $OY$ ;

$\Delta u_z$  – різниця переміщень точок з індексами  $(i; j)$  та  $(i; j-1)$  в напрямку осі  $OZ$ ;

$\Delta u'_y$  – різниця переміщень точок з індексами  $(i; j)$  та  $(i; j-1)$  в напрямку осі  $OY$ ;

$\Delta u'_z$  – різниця переміщень точок з індексами  $(i; j)$  та  $(i-1; j)$  в напрямку осі  $OZ$ .

Таким чином, у розгляді деформованого стану кожного осередку беруть участь три його вузли.

Вважаючи деформований стан плоским, визначаємо інтенсивність деформації в кожній точці за формулою

$$\epsilon_i = \frac{\sqrt{2}}{3} \cdot \sqrt{\epsilon_y^2 + \epsilon_z^2 + \frac{3}{2} \cdot \gamma_{yz}^2} \quad (6)$$

За описаною методикою було проведено дослідження деформованого стану при прокатуванні в ящичному калібрі з випуском 25%, 13,6% та 9,3%.

Поперечний переріз заготовок показано на рис.2.

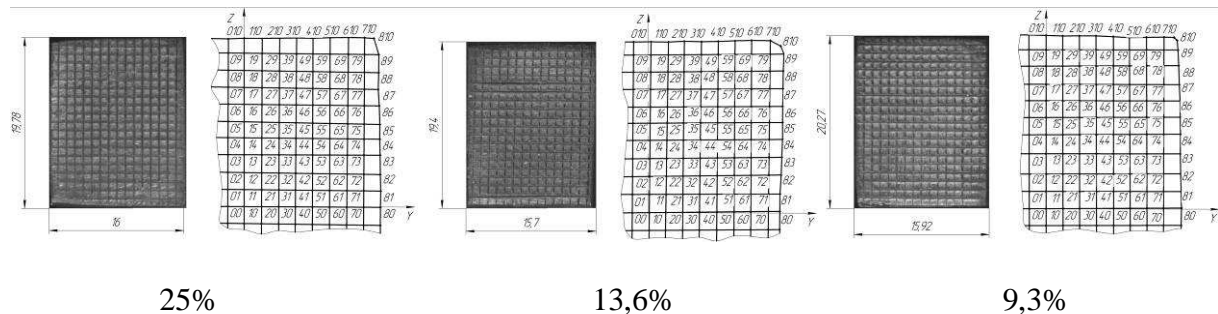


Рисунок 2 – Загальний вигляд поперечного перерізу вихідних заготовок

Внаслідок симетрії перерізу достатньо виконати виміри координат вузлів для четвертої частини перерізу.

Аналіз зміни координат точок дозволяє отримати поле переміщень для випадків, що досліджуються (рис.3).

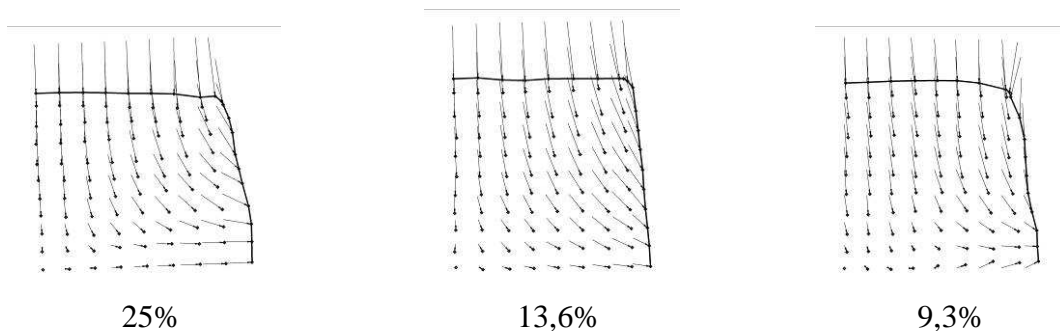


Рисунок 3 – Поле переміщень при прокатуванні в ящичних калібрах з різними випусками

Як видно з рис.3, напрям переміщень часток металу при прокатуванні в калібрах з випусками 25% та 13,6% поступово змінюється з вертикального на контактні штаби з валками на горизонтальний біля зазору. При прокатуванні в калібрі з випуском 9,3% ця зміна напрямку протікає не так інтенсивно, як у попередніх випадках, і в куті калібра помітне переміщення часток у напрямі, протилежному розширенню.

За результатами вимірювань будуюмо поля деформацій в напрямі осі OZ (рис.4).

Як видно з рис.4, найбільші значення деформацій у вертикальному напрямку для всіх випадків спостерігаються біля контакту металу з валками, що можна пояснити найбільшими переміщеннями часток у вертикальному напрямі в цих шарах зразка. Нижче цих шарів металу спостерігається доволі рівномірний розподіл деформацій за виключенням шарів металу біля горизонтальної осевої лінії, що можна пояснити зміною напрямку переміщення часток з вертикального на горизонтальний. Для випуску калібра 9,3% (рис.4) найбільші значення стискаючих деформацій у вертикальному напрямку спостерігаються в куті калібра (-1,2 одиниці), що можна пояснити найбільшими переміщеннями часток у вертикальному напрямі в цих шарах зразка. Уздовж стінки існують ділянки з вертикальними деформаціями, що розтягують, до 0,4 одиниці, що пояснюється дією випуску калібра. Ни-

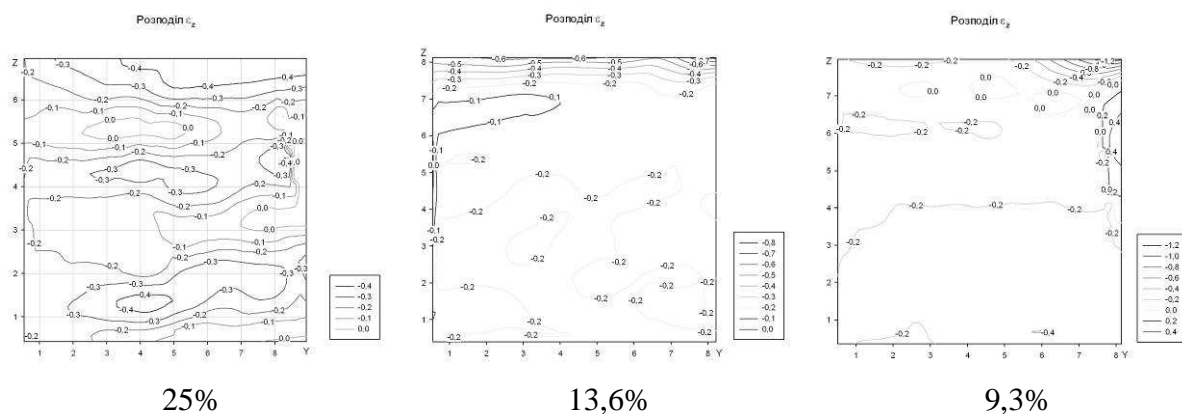


Рисунок 4 – Поле вертикальних деформацій

жче цих шарів металу спостерігається доволі рівномірний розподіл деформацій на рівні -0,2 одиниці.

На рис.5 наведено поле поперечних деформацій.

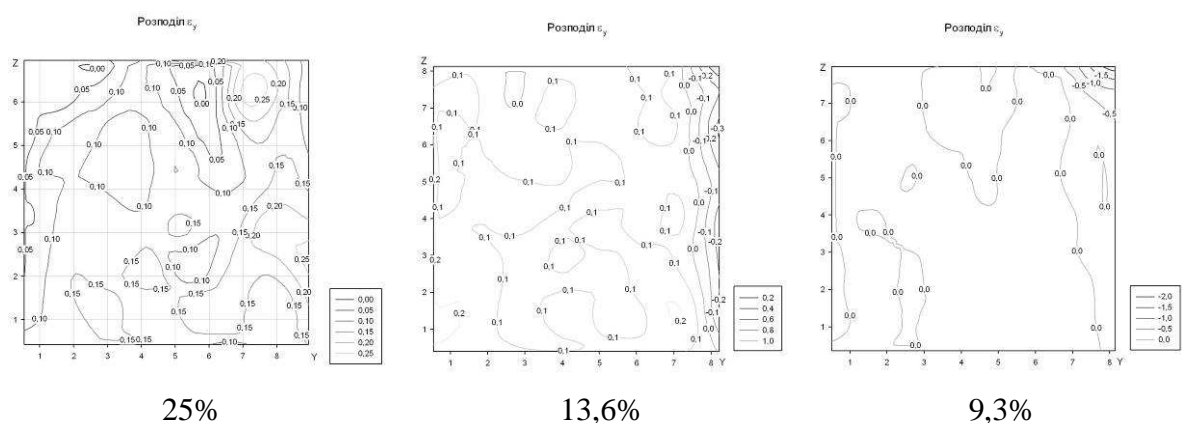


Рисунок 5 – Поле поперечних деформацій

З рис.5 видно, що при прокатуванні в ящичних калібрах з випуском 25% в шарах металу біля горизонтальної осі поперечні деформації збільшуються по мірі наближення до країв зразка. Це пояснюється відсутністю стінок у цих місцях. У верхніх приконтактних шарах зразка характер розподілу поперечної деформації має інший вигляд: біля вертикальної осі дорівнює 0%, так як поперечна течія металу відсутня, в наступних перерізах збільшується до 10%, потім знов зменшується до 0%, що можна пояснити початком зміни напрямку течії часток металу, а далі знов збільшується до 25%, а біля країв із-за стримуючої дії стінок калібру знов зменшується до 10%.

При прокатуванні в ящичному калібрі з випуском 13,6% (рис.5) в шарах металу біля стінок калібру виникають стискаючі поперечні деформації до -0,3 одиниць, що можна пояснити утримуючою дією стінок калібру. Це підтверджується й тим фактом, що в місці зазору поперечна деформація дорівнює 0.

При прокатуванні в ящичному калібрі з випуском 9,3% (рис.5) в куті калібру виникають стискаючі поперечні деформації до -2,0 одиниць, що можна пояснити утримуючою дією стінок калібру. У глибині зразка поперечна деформація практично відсутня.

На рис.6 наведено поле кутових деформацій.

Як видно з рис.6, найбільші кутові деформації для всіх випадків спостерігаються в куті калібру, що пояснюється стискаючою дією дна та стінок калібру.

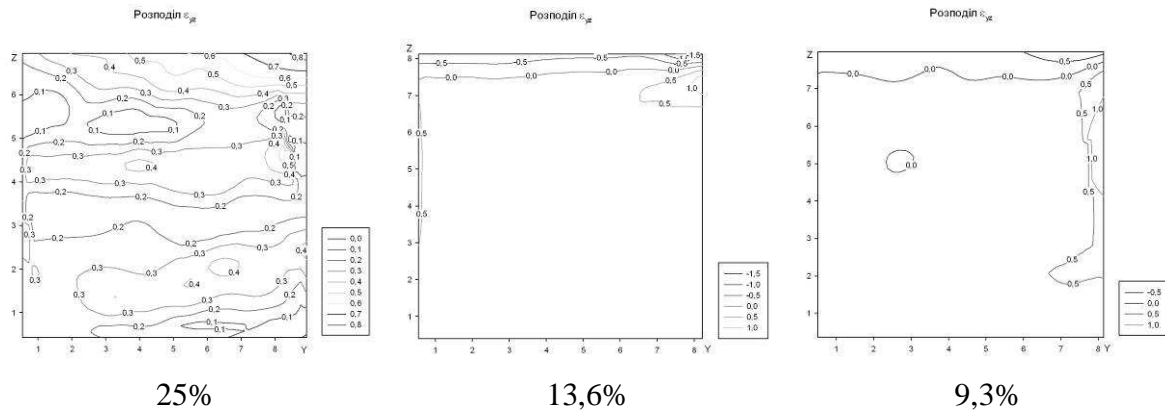


Рисунок 6 – Поле куткових деформацій

Подібно розподіляється по перерізу й інтенсивність деформацій (рис.7).

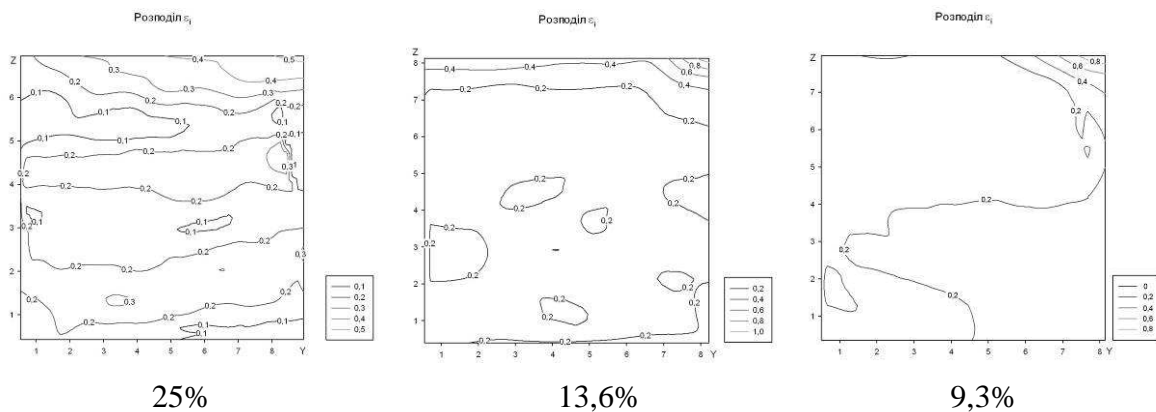


Рисунок 7 – Розподіл інтенсивності деформацій

**Висновки.** Виконано якісний та кількісний аналіз деформованого стану металу при прокатуванні свинцевих зразків прямокутної форми в ящичних калібрах з різною величиною випуску калібра.

Виявлено, що при зменшенні величини випуску калібра збільшується обмеження розширення. Найбільш рівномірна проробка металу спостерігається при прокатуванні в ящичному калібрі з випуском 13,6%. При прокатуванні в ящичному калібрі з малим випуском (9,3%) на бічній поверхні зразка виникають деформації, що розтягують, що може призвести до розривів металу на боковій поверхні прокату.

Можна рекомендувати при конструюванні ящичних калібрів обирати випуск калібра близько 15%, що дозволить отримувати найбільш рівномірну та повно пророблену структуру металу після прокатування та ефективно контролювати значення розширення штаби.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Бахтинов Б.П. Калибровка прокатных валков / Б.П.Бахтинов, М.М.Штернов. – М.: Металлургиздат, 1953. – 784с.

Надійшла до редколегії 30.05.2012.