

Д.А. Богдан, В.Ф. Балакін, М.М. Штода, Ю.М. Николаєнко

**МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ СИЛОВОЇ ТА ДЕФОРМАЦІЙНОЇ ВЗАЄМОДІЇ
СМУГИ І ВАЛКІВ ПРИ ПРОКАТЦІ
З ІНТЕНСИВНОЮ ПЛАСТИЧНОЮ ДЕФОРМАЦІЄЮ**

Анотація. Все більш жорсткі вимоги пред'являються до якості нафтогазових труб, зокрема, до їх корозійної стійкості. Використання вуглецевих марок для їх виготовлення за традиційною технологією не забезпечує достатнього рівня захисту від корозії або є надто дорогим. Застосування механізму інтенсивної пластичної деформації дає змогу значно змінити зернистість і тим самим підвищити механічні властивості металу та його корозійну стійкість. Розроблена схема простого процесу прокатки з холостим роликком передбачає використання інтенсивної пластичної деформації. Математична модель процесу дозволяє встановити справжню ступінь деформації смуги, спроектувати лабораторний експеримент, визначити корозійну стійкість металу та розробити промислову установку для обробки внутрішньої поверхні труб.

Ключові слова: інтенсивна пластична деформація, смуга, валки, математична модель, механічні властивості, корозійна стійкість.

Постановка проблеми. Умови експлуатації труб нафтогазового сортаменту визначають жорсткі вимоги до їх структури та властивостей, зокрема, корозійної стійкості. Відомо, що механічні властивості і корозійна стійкість сталей істотно залежать від ступеня подрібнення зерна і однорідності структури. Одним із способів формування дрібнозернистої структури, підвищення механічних та корозійних властивостей є інтенсивна пластична деформація.

З метою визначення впливу інтенсивної пластичної деформації на деформаційне опрацювання сталевих смуг була розроблена схема простого процесу прокатки з холостим роликком. Можливий вплив інтенсивної пластичної деформації в такій схемі на структуру металу зажадало розробки математичної моделі, метою якої є визначення величини істинної пластичної деформації. Передбачається на основі результатів математичного моделювання, лабораторного експерименту при прокатці смуг і визначенні їх корозійної стійкості в за-

пропонованій схемі розробити промислову установку для обробки внутрішньої поверхні труб.

Результати роботи. Математичну модель запропонованої схеми прокатки з певною величиною інтенсивної пластичної деформації передбачається описати чотирьома етапами.

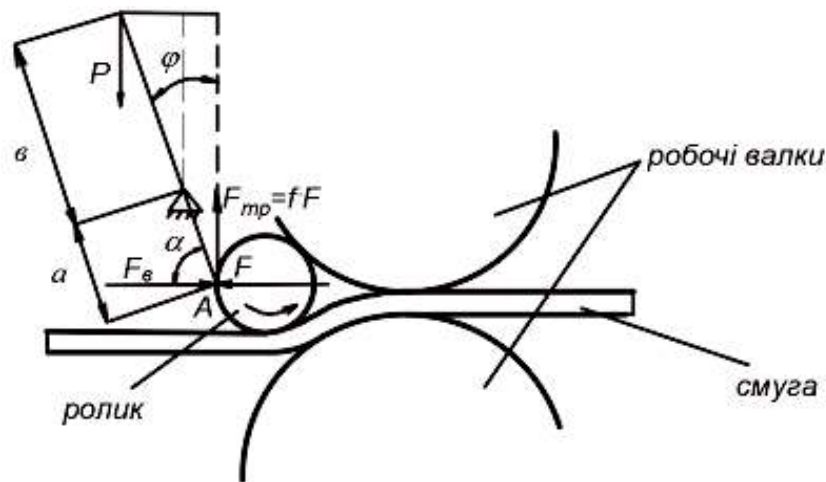
Перший – визначення сили притиснення холостого ролика в матеріал при фіксованій величині зусилля, прикладеного до важеля механізму.

Другий – визначення величини сили тиску холостого ролика на смугу, що прокатується та робочий валок.

Третій – визначення глибини вдавнення ролика в смугу при заданому навантаженні в відсутності обертання валків.

Четвертий – визначення дійсного та еквівалентного ступеня деформації смуги холостим роликом.

1. Визначення сили вдавнення холостого ролика за допомогою важільного механізму на лабораторному стані «180» (рисунок 1).



P – вага вантажів на вільному кінці важеля; $L = a + v$ – довжина важеля;

$F_{\text{в}}$ – сила вдавлювання ролика в осередок деформації;

F – сила, зворотна по відношенню до сили вдавнення $F_{\text{в}}$ (сила реакції з боку ролика); $F_{\text{тр}}$ – сила тертя ковзання між важелем і роликом;

f – коефіцієнт тертя ковзання; A – точка контакту важеля і ролика в місці горизонтального діаметра ролика; φ – кут між важелем і вертикальною віссю;

α – кут між важелем і горизонтальною віссю

Рисунок 1 – Розрахункова схема

За пишемо векторне співвідношення при знаходженні системи в рівновазі

$$\vec{F}_\theta = -F. \quad (1)$$

За пишемо рівняння балансу моментів, тобто рівняння рівноваги відносно опори важеля

$$P \cdot \varrho \cdot \sin \varphi + F_{mp} \cdot a \cdot \sin \varphi - F \cdot a \cdot \cos \varphi = 0. \quad (2)$$

$$P \cdot \varrho \cdot \sin \varphi + f \cdot F \cdot a \cdot \sin \varphi - F \cdot a \cdot \cos \varphi = 0. \quad (3)$$

Тоді сила реакції з боку ролика F визначиться з виразу

$$F = \frac{P \cdot \varrho \cdot \sin \varphi}{a \cdot \cos \varphi - f \cdot a \cdot \sin \varphi}, \text{ при } 0 \leq \alpha \leq 90^\circ. \quad (4)$$

Використовуючи рівняння (1), отримаємо величину (модуль) сили вдавнення ролика

$$F_\theta = F = \frac{P \cdot \varrho \cdot \sin \varphi}{a \cdot \cos \varphi - f \cdot a \cdot \sin \varphi}, \quad (5)$$

або

$$F_\theta = \frac{P \cdot \varrho}{a} \frac{\sin \varphi}{\cos \varphi - f \cdot \sin \varphi}, \quad (6)$$

У разі відсутності обертання ролика і валків можна покласти в рівняння (6) $f=0$, тоді

$$F_\theta = \frac{P \cdot \varrho}{a} \cdot \frac{\sin \varphi}{\cos \varphi} = \frac{P \cdot \varrho}{a} \cdot \operatorname{tg} \varphi. \quad (7)$$

2. Визначення величини сили тиску ролика на смугу при прокатці (рисунок 2).

Визначимо кути α , β і γ з наступних співвідношень [1]

$$\cos \gamma = \frac{A^2 + B^2 - C^2}{2AB}, \quad \sin \gamma = \sqrt{1 - \cos^2 \gamma}. \quad (8)$$

У відсутності обертання $F_{mp} = 0$, $f_1 = f_2 = 0$, тоді рівняння рівноваги ролика набувають такий вигляд:

$$\sum X = +F_1 \sin \alpha + F_2 \sin \beta = F_\theta, \quad (9)$$

$$\sum Y = -F_1 \cos \alpha + F_2 \cos \beta = 0,$$

тоді

$$F_1 = \frac{F_\theta \cos \beta}{\sin \alpha \cdot \cos \beta + \cos \alpha \cdot \sin \beta} = \frac{F_\theta \cos \beta}{\Delta}, \quad (10)$$

$$F_2 = \frac{F_\theta \cos \alpha}{\sin \alpha \cdot \cos \beta + \cos \alpha \cdot \sin \beta}, \quad (11)$$

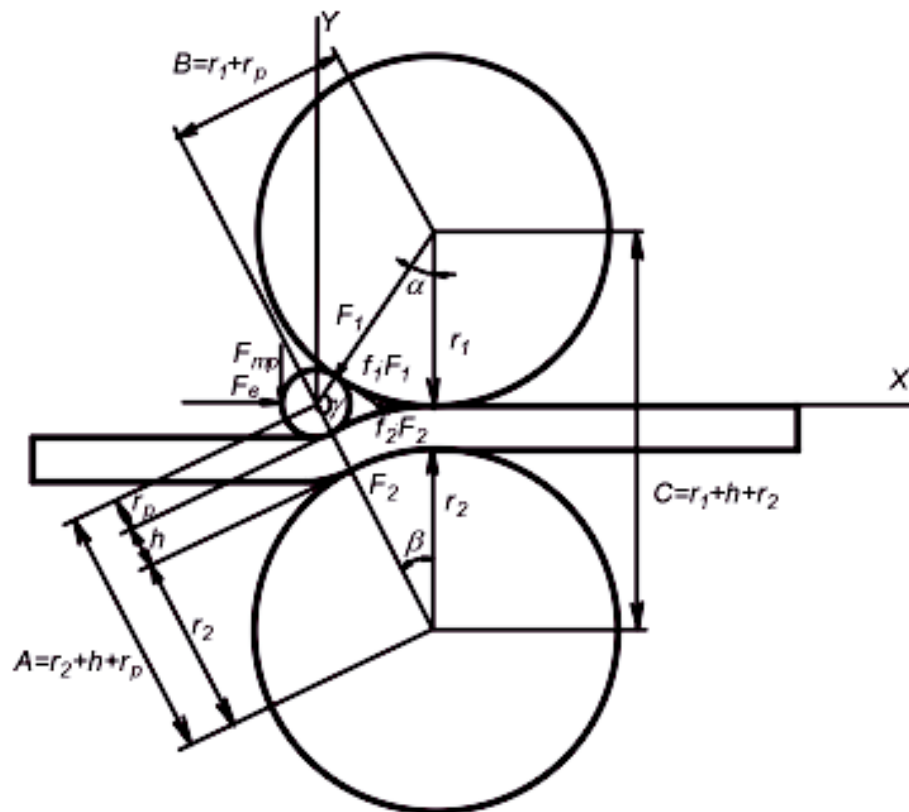
де $\Delta = \sin \alpha \cdot \cos \beta + \cos \alpha \cdot \sin \beta$.

Оскільки початкова товщина смуги h не перевищує 1,5% від суми радіусів робочого валка і ролика, прийmemo $h=0$, тоді $\alpha = \beta$ і рівняння (10), (11) трансформуються у вираз

$$F_2 = F_1 = \frac{F_\theta \cos \alpha}{2 \cdot \cos \alpha \cdot \sin \alpha} = \frac{F_\theta}{2 \cdot \sin \alpha}, \quad (12)$$

Визначимо α відповідно до рівняння (8) по співвідношенням:

$$\cos \gamma = \frac{2A^2 - C^2}{2A^2},$$



F_θ , F_{mp} – сили вдавнення і тертя з боку важеля на ролик;

F_1 , F_2 – сила тиску з боку верхнього валка на ролик, нижнього валка на метал смуги і смуги на ролик; f_1 , f_2 – коефіцієнти тертя ролика з валком і ролика з смугою; r_p – радіус ролика; r_1 , r_2 – радіуси верхнього і нижнього валків

Рисунок 2 – Розрахункова схема до визначення величини сили тиску ролика на смугу при прокатці

$$\sin \gamma = \sqrt{1 - \cos^2 \gamma}, \quad (13)$$

$$\sin \alpha = \frac{A}{C} \sin \gamma,$$

де $A = r + r_p$ ($r = r_1 = r_2$), $C = 2r$.

3. Визначення глибини вдавнення ролика в смугу при заданому навантаженні у відсутності обертання валків (рисунок 3).

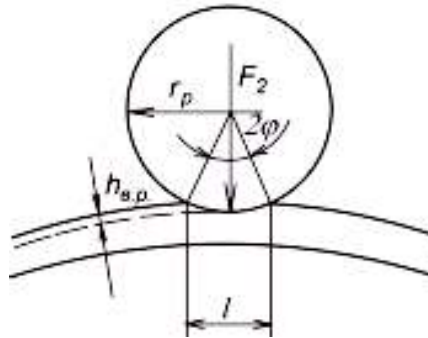
Умови рівноваги у відсутності обертання валків і ролика

$$F_2 = \sigma_T \cdot l \cdot B, \quad (14)$$

де σ_T – межа плинності металу;

l – довжина осередку деформації;

B – ширина смуги.



$h_{в.р.}$ – глибина вдавнення ролика; 2φ – центральний кут ролика при вдавненні

Рисунок 3 – Розрахункова схема до визначення глибини вдавнення ролика в смугу

Дугу контакту ролика з смугою замінимо хордою. Тоді, використовуючи відоме співвідношення в теорії прокатки $\alpha = \sqrt{\frac{\Delta h}{R}}$ [2] і рівняння (14) визначимо 2φ і $h_{в.р.}$:

$$2\varphi = \frac{l}{\pi d_p}, \quad (15)$$

$$\frac{2\varphi}{2} = \sqrt{\frac{h_{в.р.}}{r_p}}, \quad (16)$$

тоді

$$h_{в.р.} = \sqrt{\sqrt{r_p} \varphi}. \quad (17)$$

4. Визначення дійсного та еквівалентного ступеня деформації смуги холостим роликом.

Порівняння схеми деформування при крученні під високим гідростатичним тиском в ковадлах Бріджмена і в запропонованій схемі – тиском холостим

роликом дозволяє зробити висновок про їх аналогію. Можна припустити, що за умови повного прилипання металу до поверхонь смуги і ролика, об'єм, що знаходиться між ними підвергається зсуву на величину переміщення l однієї з поверхонь, яка визначається з рівняння (14) (рисунок 4).

Визначимо істинну деформацію e при прокатці з роликом з виразу для кручення [3]

$$e = \ln\left(\frac{2\varphi \cdot r}{h}\right). \quad (18)$$

де φ – половина кута дуги контакту ролика з валком, рад.;

r – радіус ролика, мм;

h – товщина смуги, мм.

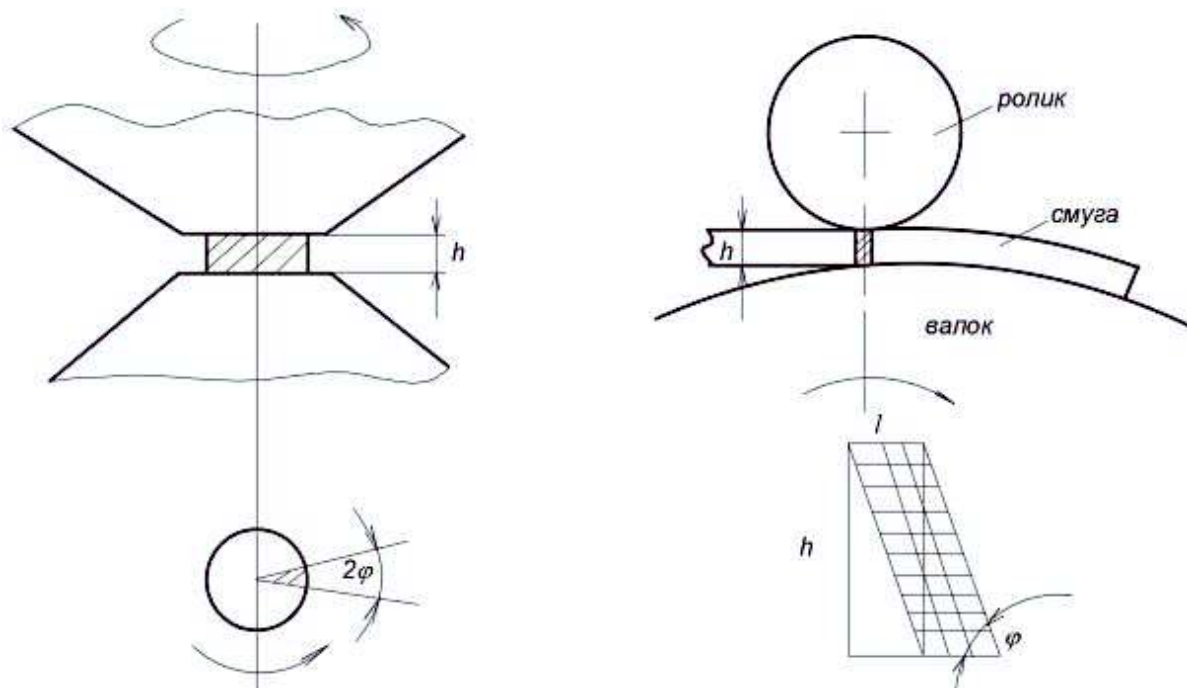


Рисунок 4 – Схема деформації в ковадлах Бріджмена і при прокатці з роликом

Для зіставлення ступені зсувної деформації при крученні зі ступенем деформації при простому процесі прокатки визначимо еквівалентну деформацію в співвідношенні з критерієм Мізеса

$$e_{екв} = \frac{e}{\sqrt{3}}. \quad (19)$$

Слід зазначити, що ступені деформації розраховані для запропонованої схеми з використанням рівнянь (18) і (19) приблизно відповідають тим величинам ступеня деформації, які мають місце в реальності. Експериментальні дослідження мікроструктури прокатного металу, його корозійних властивостей

дозволяє встановити залежності між теоретичними результатами і експериментом, використовувані при подальшому проектуванні.

5. Результати рішення тестової задачі по визначенню величини істинної деформації при заданих умовах проведення експерименту.

Прокатку здійснювали на стані «180» ДГТУ.

Матеріал зразків сталь 3 та сталь 20.

Розміри смуг: $H_0=1,5$ мм, $B=30$ мм; $L=400$ мм.

Діаметр роликів: 30 мм та 23,3 мм.

Матеріал валків – вибілений чавун.

Матеріал роликів – загартована оправочна сталь 60С2ХФА.

Обтиснення у валках за прохід $\Delta h=0,2$ мм.

Розміри елементів важільної системи (див. рис. 1): $a=500$ мм; $b=1570$ мм;

$$\frac{b}{a} \approx 3.$$

1. Визначимо силу вдавнення ролика в разі відсутності обертання, приймаючи $f=0$ і $\varphi=30^\circ$

$$F_\phi = \frac{P \cdot b}{a} \frac{\sin \varphi}{\cos \varphi} = \frac{P \cdot b}{a} \cdot \operatorname{tg} \varphi,$$

$$F_\phi = 195 \cdot 3 \cdot 0,5774 = 338 \text{ кг.}$$

При $\varphi=20^\circ$, $\operatorname{tg} \varphi=0,3640$ і

$$F_\phi = 195 \cdot 3 \cdot 0,3640 = 213 \text{ кг.}$$

При наявності обертання F_ϕ легко розраховується за формулою (6).

2. Розрахунок сили вдавнення роликів F у разі відсутності смуги, тобто $h=0$, тоді при $d_p=30$ мм і $r=180$ мм

$$A = B = r + r_p = 195 \text{ мм,}$$

$$C = r_1 + r_2 = 2r = 360 \text{ мм,}$$

$$\cos \gamma = \frac{A^2 + B^2 - C^2}{2AB} = \frac{2A^2 - C^2}{2A^2} = \frac{76050 - 129600}{76050} = -\frac{53550}{76050} = -0,704142,$$

$$\gamma = 90^\circ + 45^\circ = 135^\circ, \sin \gamma = 0,7071,$$

$$\sin \alpha = \sin \gamma \frac{A}{C} = 0,7071 \frac{195}{360} = 0,3830,$$

$$\sin \beta = \sin \alpha = 0,3830,$$

$$\cos \alpha = \cos \beta = \sqrt{1 - 0,3830^2} = 0,9218,$$

$$\alpha = \beta = \frac{180 - 135}{2} = 22,5^\circ.$$

Графічна побудова підтвердила знайдені кути $\alpha = \beta = 22,5^\circ$.

Відповідно до рівняння (12) визначимо

$$F_1 = F_2 = \frac{F_b}{2 \cdot \sin \alpha} = \frac{338}{2 \cdot 0,3830} = 441 \text{ кг.}$$

3. Розрахунок сили F в разі наявності смуги $h=1,5$ мм, $d_p=30$ мм

$$A = 195 + 1,5 = 196,5 \text{ мм, } B = 195 \text{ мм,}$$

$$C = r_1 + r_2 + h = 361,5 \text{ мм,}$$

$$\cos \gamma = \frac{A^2 + B^2 - C^2}{2AB} = \frac{38612 + 38025 - 130682}{76635} = -0,705226,$$

приймаємо $\approx -0,7071 = \cos 135^\circ$

$$\gamma = 90^\circ + 45^\circ = 135^\circ, \sin \gamma = 0,7071,$$

$$\sin \alpha = \sin \gamma \frac{A}{C} = 0,7071 \frac{196,5}{361,5} = 0,384,$$

$$\sin \beta = \sin \gamma \frac{B}{C} = 0,7071 \frac{195}{361,5} = 0,381.$$

Таким чином, практично $\alpha \approx \beta \approx 22,5^\circ$, тобто наявності смуги в валках незначно впливає на результати розрахунку.

Приймемо

$$\sin \alpha = 0,383; \cos \alpha = 0,924;$$

$$\sin \beta = 0,383; \cos \beta = 0,924;$$

тоді

$$\Delta = \sin \alpha \cdot \cos \beta + \cos \alpha \cdot \sin \beta = 2 \cdot 0,383 \cdot 0,924 = 0,708.$$

Визначимо за формулами (10) і (11)

$$F_1 = \frac{F_g \cos \beta}{\Delta} = \frac{338 \cdot 0,924}{0,708} = 445 \text{ кг,}$$

$$F_2 = \frac{F_g \cos \alpha}{\Delta} = \frac{338 \cdot 0,924}{0,708} = 445 \text{ кг.}$$

4. Розрахунок сили вдавнення роликів у разі відсутності смуги ($h=0$) при $d_p=23$ мм і $r=180$ мм

$$A = B = r + r_p = 180 + 11,5 = 191,5 \text{ мм,}$$

$$C = 2r = 360 \text{ мм,}$$

$$\cos \gamma = \frac{2A^2 - C^2}{2A^2} = \frac{73344,5 - 129600}{73344,5} = -0,7670,$$

$$\sin \gamma = \sqrt{1 - \cos^2 \gamma} = \sqrt{1 - 0,7670^2} = 0,6416, \gamma = 40^\circ,$$

$$\sin \alpha = \sin \gamma \frac{A}{C} = 0,6416 \cdot \frac{191,5}{360} = 0,3413, \alpha = 20^\circ,$$

$$\cos \alpha = \sqrt{1 - \sin^2 \alpha} = \sqrt{1 - 0,3413^2} = 0,94,$$

Тоді при $\varphi = 30^\circ$, $r_p = 23$ мм, $r = 180$ мм і $\alpha \approx \beta = 20^\circ$, отримаємо

$$F_1 = F_2 = \frac{F_\theta \cos \beta}{\Delta} = \frac{338 \cdot 0,9460}{0,6416} = 495 \text{ кг.}$$

Таким чином, зменшення діаметра ролика призводить до збільшення сили вдавнення $\approx 11\%$.

5. Розрахунок сили вдавнення ролика при зміні діаметра валків.

Прийmemo $h = 0$ мм, $d_p = 30$ мм, $r = 90$ мм, тоді

$$A = B = r + r_p = 90 + 15 = 105 \text{ мм,}$$

$$C = 2r = 180 \text{ мм,}$$

$$\cos \gamma = \frac{2A^2 - C^2}{2A^2} = \frac{2 \cdot 105^2 - 180^2}{2 \cdot 105^2} = -0,469,$$

$$\sin \gamma = \sqrt{1 - \cos^2 \gamma} = \sqrt{1 - 0,2199^2} = 0,8832,$$

$$\sin \alpha = \sin \gamma \frac{A}{C} = 0,8832 \cdot \frac{105}{180} = 0,5152,$$

$$\cos \alpha = \sqrt{1 - \sin^2 \alpha} = \sqrt{1 - 0,5152^2} = 0,8571.$$

Тоді при $\varphi = 30^\circ$, $r_p = 30$ мм, $r = 90$ мм і $\alpha \approx \beta = 21^\circ$, отримаємо

$$\begin{aligned} \Delta &= \sin \alpha \cdot \cos \beta + \cos \alpha \cdot \sin \beta = \\ &= 0,5152 \cdot 0,9335 + 0,8571 \cdot 0,3583 = 0,4809 + 0,3135 = 0,7944. \end{aligned}$$

$$F_1 = F_2 = \frac{F_\theta \cos \beta}{\Delta} = \frac{338 \cdot 0,8751}{0,7944} = 372 \text{ кг.}$$

Зменшення діаметра валків в 2 рази призводять до зменшення сили вдавнення ролика на 25%.

6. Розрахунок сили вдавнення ролика $\varnothing 23$ мм.

Прийmemo $h = 1,5$ мм, $d_p = 23$ мм, $r = 90$ мм, тоді

$$A = r_1 + h + r_p = 90 + 1,5 + 11,5 = 103 \text{ мм,}$$

$$C = r_1 + r_2 + h = 90 + 90 + 1,5 = 181,5 \text{ мм},$$

$$B = r_1 + r_p = 90 + 11,5 = 101,5 \text{ мм},$$

$$\cos \gamma = \frac{A^2 + B^2 - C^2}{2AB} = \frac{10609 + 10302 - 32942}{2 \cdot 103 \cdot 101,5} = -0,5753,$$

$$\gamma = 125^\circ, \sin \gamma = 0,8191,$$

$$\sin \alpha = \sin \gamma \frac{A}{C} = 0,8191 \cdot \frac{103}{181,5} = 0,4648,$$

$$\sin \beta = \sin \gamma \frac{B}{C} = 0,8191 \cdot \frac{101,5}{181,5} = 0,4580,$$

тоді

$$F_1 = \frac{F_g \cos \beta}{\Delta} = \frac{338 \cdot 0,8910}{0,4648 \cdot 0,8910 + 0,8829 \cdot 0,4580} = \frac{301,158}{0,4141 + 0,4043} = 367,98 \text{ кг},$$

$$F_2 = \frac{338 \cdot 0,8829}{0,8184} = 364 \text{ кг}.$$

7. Визначення істинного і еквівалентного ступеню деформації смуги холодним роликом.

Визначимо довжину дуги контакту ролика з металом l для двох діаметрів валків 360 мм і 180 мм та двох діаметрів роликів 30 і 23 мм. Виходячи з рівняння (14)

$$F_2 = \sigma_T \cdot l \cdot B,$$

тоді

$$l = \frac{F_2}{\sigma_T \cdot B}.$$

Прийmemo межу плинності сталі 20 $\sigma_{0,2} = 25 \text{ кг/мм}^2$

$$\begin{aligned} D_g = 360 \text{ мм} & \rightarrow d_p = 30 \text{ мм} \quad l = \frac{445}{25 \cdot 30} = 0,593 \text{ мм} \\ & \rightarrow d_p = 23 \text{ мм} \quad l = \frac{495}{25 \cdot 30} = 0,66 \text{ мм} \\ D_g = 180 \text{ мм} & \rightarrow d_p = 30 \text{ мм} \quad l = \frac{372}{25 \cdot 30} = 0,496 \text{ мм} \\ & \rightarrow d_p = 23 \text{ мм} \quad l = \frac{364}{25 \cdot 30} = 0,486 \text{ мм} \end{aligned}$$

Визначимо 2ϕ з рівняння (15) для кожного поєднання діаметрів валків і роликів

$$\begin{array}{ll}
 D_{\delta}=360 \text{ мм} & \rightarrow d_p = 30 \text{ мм} \quad 2\varphi = 0,00629 \text{ мм} \\
 & \rightarrow d_p = 23 \text{ мм} \quad 2\varphi = 0,00302 \text{ мм} \\
 D_{\delta}=180 \text{ мм} & \rightarrow d_p = 30 \text{ мм} \quad 2\varphi = 0,00526 \text{ мм} \\
 & \rightarrow d_p = 23 \text{ мм} \quad 2\varphi = 0,00664 \text{ мм}
 \end{array}$$

Істинну та еквівалентну деформації визначимо з рівнянь (18) та (19)

$$e = \ln \left(\frac{2\varphi \cdot r_p}{h} \right); e_{екв} = \frac{e}{\sqrt{3}}$$

$$\begin{array}{ll}
 D_{\delta}=360 \text{ мм} & \rightarrow d_p = 30 \text{ мм} \quad e = \ln \frac{0,00628 \cdot 15}{1,5} = -2,766 \text{ мм} \\
 & \rightarrow d_p = 23 \text{ мм} \quad e = \ln \frac{0,00902 \cdot 11,5}{1,5} = -2,67 \text{ мм} \\
 D_{\delta}=180 \text{ мм} & \rightarrow d_p = 30 \text{ мм} \quad e = \ln \frac{0,00526 \cdot 15}{1,5} = -2,94 \text{ мм} \\
 & \rightarrow d_p = 23 \text{ мм} \quad e = \ln \frac{0,00664 \cdot 11,5}{1,5} = -2,97 \text{ мм}
 \end{array}$$

Висновки. Порівняння еквівалентної деформації $e_{екв}$ роликком і деформації валками діаметром 180 мм з обтисненням $\Delta h=0,2$ мм; $\mu=1,15$; $e=0,139$ показує на порядок більшу величину деформації роликком.

Таким чином, розроблена математична модель запропонованого способу прокатки з інтенсивною пластичною деформацією, проведені розрахунки дають можливість припустити значні зміни структури матеріалу, зменшення розмірів зерен. Останнє безумовно повинно відобразитися на зміні фізико-механічних властивостей матеріалу, а саме підвищення його корозійної стійкості і рівня механічних властивостей.

ЛІТЕРАТУРА / ЛИТЕРАТУРА

1. Бронштейн И.Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов / И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев. – М.: Наука, 1986. – 544 с.
2. Динник А.А. Энергосиловые и кинематические параметры процесса прокатки: Учебное пособие / А.А. Динник. – Днепропетровск: ДМетИ, 1974. – 85 с.
3. Томсен Э. Механика пластических деформаций при обработке металлов / Э. Томсен, Ч. Янг, Ш. Кобаяши. – М.: Машиностроение, 1968. – 504 с.

REFERENCES

1. Bronstein IN Handbook of mathematics for engineers and students of universities / IN Bronstein, K.A. Semendyaev. - M.: Nauka, 1986. - 544 p.

2. Dinnik AA Energy and kinematic parameters of the rolling process: Textbook / AA Dinnik. - Dnepropetrovsk: DMetI, 1974. - 85 p.
3. Thomsen E. Mechanics of plastic deformations in metalworking / E. Thomsen, C. Young, S. Kobayashi. - M.: Mashinostroenie, 1968. - 504 p.

Received 17.09.2021.

Accepted 23.09.2021.

Математическая модель силового и деформационного взаимодействия полосы и валков при прокатке с интенсивной пластической деформацией

Все более жесткие требования предъявляются к качеству нефтегазовых труб, в частности, к их коррозионной стойкости. Использование углеродистых марок для их изготовления по традиционной технологии не обеспечивает достаточного уровня защиты от коррозии или есть слишком дорогой. Применение механизма интенсивной пластической деформации позволяет значительно изменить зернистость и тем самым повысить механические свойства металла и его коррозионную стойкость. Разработана схема простого процесса прокатки с холостым роликом предусматривает использование интенсивной пластической деформации. Математическая модель позволяет установить истинную степень деформации полосы, спроектировать лабораторный эксперимент, определить коррозионную стойкость металла и разработать промышленную установку для обработки внутренней поверхности труб.

Mathematical model of force and deformation interaction of strip and rolls during rolling with intense plastic deformation

The operating conditions of oil and gas pipes determine strict requirements for their structure and properties, in particular, corrosion resistance. It is known that the mechanical properties and corrosion resistance of steels significantly depend on the degree of grinding of the grain and the homogeneity of the structure. One of the ways to form a fine-grained structure, increase mechanical and corrosion properties is intense plastic deformation.

In order to determine the effect of intense plastic deformation on the deformation treatment of steel strips, a scheme of a simple rolling process with a blank roller was developed. The possible influence of intense plastic deformation in such a scheme on the structure of the metal required the development of a mathematical model, the purpose of which is to determine the magnitude of the true plastic deformation. Based on the results of mathematical modeling, laboratory experiment in rolling strips and determining their corrosion resistance in the proposed scheme, it is envisaged to develop an industrial installation for processing the inner surface of pipes.

The mathematical model of the proposed rolling scheme with a certain value of intense plastic deformation is expected to be described in four stages.

The first is to determine the force of pressing the idler roller into the material at a fixed amount of force applied to the lever of the mechanism.

The second is to determine the magnitude of the pressure force of the idler roller on the rolled strip and the working roll.

The third is to determine the depth of indentation of the roller in the strip at a given load in the absence of rotation of the rolls.

Fourth - determining the actual and equivalent degree of deformation of the strip by a blank roller.

Conclusion. Comparison of equivalent deformation $e_{екв}$ roller and deformation rollers with a diameter of 180 mm with compression $\Delta h=0,2$ мм; $\mu=1,15$; $e=0,139$ shows an order of magnitude greater deformation of the roller. The mathematical model of the offered way of rolling with intensive plastic deformation is developed, the carried-out calculations give the chance to assume considerable changes of structure of material, reduction of the sizes of grains. The latter should certainly be reflected in the change of physical and mechanical properties of the material, namely the increase of its corrosion resistance and the level of mechanical properties.

Богдан Дмитрий Алексеевич - директор по качеству и технологии «Интерпайп НТЗ».

Балакин Валерий Федорович - д.т.н., профессор кафедры качества, стандартизации и сертификации Национальной металлургической академии Украины.

Штода Максим Николаевич - к.т.н., доцент кафедры обработки металлов давлением Днепропетровского государственного технического университета.

Николаенко Юлия Николаевна - старший преподаватель кафедры теории, технологии и автоматизации металлургических процессов Национальной металлургической академии Украины.

Богдан Дмитро Олексійович - директор з якості та технології «Интерпайп НТЗ».

Балакін Валерій Федорович - д.т.н., професор кафедри якості, стандартизації та сертифікації Національної металургійної академії України.

Штода Максим Миколайович - к.т.н., доцент кафедри обробка металів тиском Дніпровського державного технічного університету.

Николаєнко Юлія Миколаївна - старший викладач кафедри теорії, технології та автоматизації металургійних процесів Національної металургійної академії України.

Bohdan Dmytro Oleksiiovych - Director of Quality and Technology, Interpipe NTZ.

Balakin Valeriy Fedorovich - Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Quality, Standardization and Certification of the National Metallurgical Academy of Ukraine.

Shtoda Maksym Mykolayovych - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Metal Pressure Processing, Dnipro State Technical University.

Nykolayenko Yulia Mykolayivna - Senior Lecturer of the Department of Theory, Technology and Automation of Metallurgical Processes of the National Metallurgical Academy of Ukraine.