

Е.П. Грибков, д-р техн. наук, проф., проф. кафедри, e-mail: gribkov.eduard@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-1565-6294>

Ю.К. Добронос, канд. техн. наук, доц., доц. кафедри, e-mail: Yuriy.Dobronosov@mipolytech.education, <https://orcid.org/0009-0001-9608-3386>

В.В. Кухар, д-р техн. наук, проф., проректор з науково-дослідної роботи, e-mail: volodymyr.kukhar@mipolytech.education, <https://orcid.org/0000-0002-4863-7233>

Х.В. Малій, канд. техн. наук, доц. кафедри, e-mail: kristina.maliy@mipolytech.education, <https://orcid.org/0000-0002-9046-4268>

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА» (Запоріжжя, Україна)

Тривимірний аналіз напружено-деформованого стану металу при правці труб на правильних косовалкових машинах зі спеціальним профілюванням валків

Для підвищення конкурентоспроможності вітчизняної металопродукції, зокрема труб, необхідно забезпечити їх відповідність міжнародним стандартам за основними показниками якості. Процес правки труб забезпечує такі показники якості, як прямолінійність та форма поперечного перерізу. Косовалкові трубоправильні машини є найпоширенішими й найбільш ефективними для виправлення труб малих і середніх діаметрів. Найбільш сучасними є шестивалкові трубоправильні машини зі спеціальними профілюваннями валків, які забезпечують правку двох видів: у калібрі профільованих валків і на кроці між валковими обоймами. Але нестача знань про закономірності процесу правки стримує широке впровадження таких машин. В роботі розроблено скінченно-елементну модель та з її використанням виконано дослідження впливу параметрів процесу правки в профільованих валках з симетричним та асиметричним профілюванням крайніх пар валків на показники прямолінійності труб та сили правки. За результатами їх реалізації встановлено, що правка в калібрі і на кроці дозволяє майже втричі зменшити залишкову кривизну труби при меншому у 2,5 рази переkritті середніх валків відносно крайніх. При цьому майже вдвічі зростає сила на найбільш навантажених середніх валках, що слід враховувати з огляду можливості виникнення овальності перерізу тонкостінних труб. Використання додаткового асиметричного профілювання крайніх валків з регулюванням кроку практично не впливає на якість правки в калібрі, підвищує до 15 % якість правки на кроці при зниженні на 5–7 % максимальної сили правки. Розроблена скінченно-елементна модель дозволяє визначати раціональні значення переkritтів валків для забезпечення мінімальної залишкової кривизни труб.

Ключові слова: обробка металів тиском, правка, труба, косовалкова трубоправильна машина, напружено-деформований стан, ролик профілювальний, технологічні налаштування, енергосилові параметри.

Постановка проблеми. Виробництво труб є важливою часткою вітчизняної металургійної промисловості. Одним зі шляхів забезпечення конкурентоспроможності трубної продукції на світових ринках є її відповідність міжнародним стандартам за всіма показниками. Тому забезпечення показників якості труб є першочерговою задачею. В її рішенні не останню роль відіграє процес правки труб, який забезпечує їхню прямолінійність та форму поперечного перерізу.

Косовалкові трубоправильні машини є найпоширенішими й найбільш ефективними для виправлення труб малих і середніх діаметрів. Важливим завданням при рішенні питань удосконалення процесу виправлення труб і трубних заготовок на косовалкових трубоправильних машинах є поліпшення якості

правки, у тому числі і якості виправлення кінцевих ділянок. Одним зі шляхів підвищення якості правки за рахунок збільшення числа знакозмінних вигинів є збільшення числа пар правильних валків із трьох (шестивалкові машини) до чотирьох-п'яти (восьми- і десятивалкові машини) і більше [1–3]. Однак цей шлях не вирішує завдання виправлення кривизни кінців труб. Внаслідок того, що технологічний прогин для створення пружно-пластичного вигину для цих схем установлюється тільки шляхом змінення кроку валків, тобто зсуву валків однієї (або більше) обойми відносно валків сусідніх обойм, кінцева ділянка труб не піддається достатнім для якісного виправлення пружно-пластичним деформаціям. Також зростає металоємність, і ускладнюється обладнання правильних машин.

Для рішення цього завдання були розроблені шестивалкові машини для виправлення круглих виробів із пружно-пластичним вигином безпосередньо у профільованих правильних валках, які одержали назву валкового калібру (рис. 1) [4, 5]. У процесі правки на машині з такою схемою труба піддається деформаціям двох видів: вигину по довжині між послідовно розташованими обоймами валків і вигину в межах подовжених валків середньої обойми за рахунок спеціально виконаного профілювання цих валків.

Валок середньої пари, на який опирається труба при вигині між обоймами, прийнято називати опорним, а протилежний — натискним. Бочка опорного валка середньої пари виконується подовженою із заниженням профілю від теоретичного гіперболоїдного, причому заниження плавно зменшується від максимальної величини в середині бочки валка до нуля на її торцях, а бочка натискного валка цієї пари виконується подовженою із профілем, найбільше заниження якого від теоретичного гіперболоїдного на торцях дорівнює заниженню в середині бочки опор-

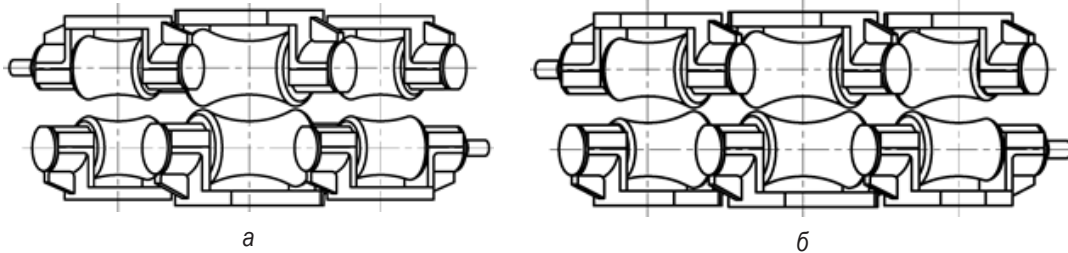


Рис. 1. Косовалкові правильні машини для правки труб на кроці і у калібрі з подовженою бочкою середніх валків та симетричною (а) і асиметричною (б) бочкою крайніх валків [3; 4]

ного валка й плавно зменшується до нуля в середині бочки (горловині). При цьому якість правлення буде визначатися наступними конструкційними й налаштувальними характеристиками: відстанню між валками в кожній обоймі; зсувом (перекриттям) середньої обойми відносно крайніх обойм для забезпечення прогину на кроці валків машини; кутом установки валків крайніх обойм, що відповідають діаметру труби, що виправляється; кутом установки подовжених валків середньої обойми для створення необхідної величини прогину на довжині цих валків відповідно до діаметра труби, що виправляється [5].

У наш час через новизну зазначених технологій відсутні кількісні оцінки впливу параметрів процесу виправлення для машин з виправленням усередині калібру на якість готової продукції, що обмежує ефективність їхнього застосування.

Метою даної роботи було поліпшення ефективності правки труб на основі уточнення знань про закономірності впливу параметрів процесу на якість виправлення труб у косовалкових машинах зі спеціальним профілюванням валків.

Методологія дослідження. Дослідження було проведене з використанням методу скінченних елементів, який у наш час є найбільш раціональним методом рішення прикладних завдань теорії обробки металів тиском (ОМТ) та який дозволяє максимально наблизити модель процесу до реальних умов його реалізації й урахувати максимальне число факторів [6—9]. Як програмний продукт для реалізації зазначеного методу використовували Abaqus CAE, як універсальну програму загального призначення для проведення багатоцільового інженерного аналізу фізичних процесів [10; 11].

Як об'єкт дослідження була прийнята косовалкова машина з діаметром роликів по горловині 600 мм і довжиною бочки, яка варіювалася від номінальної

800 мм залежно від виду процесу, що моделюється. Номінальний крок обойм машини склав 1500 мм і міг змінюватись в межах 40 мм при моделюванні валків з асиметричним профілюванням залежно від виду процесу, що моделюється, за рахунок осьового переміщення крайніх валків. Кути установки валків спочатку вибиралися однаковими для всіх моделей з урахуванням рекомендацій роботи [12] і варіювалися у процесі моделювання в діапазоні 28—320. Моделювали правку труб діаметром 273 мм з товщиною стінки 8 мм, 15 мм, 20 мм зі сталі 10, опір деформації якої з урахуванням деформаційного зміцнення склав 400 МПа [13]. Початковий прогин труби приймали 10 мм/п.м.

Моделювання процесу, а саме вибір скінченних елементів, побудову скінченно-елементної сітки, моделювання тіл валків і труби та виду контакту між ними, переміщення валків у глобальній системі координат виконували аналогічно до моделювання в роботі [14]. Так валки моделювали як поверхні обертання, що не деформуються, утворені обертанням кривої розрахункового профілю навколо осі валка з використанням тривимірних чотирьохвузлових недеформованих елементів типу R3D4 [10]. Матеріал труби моделювали у вигляді ізотропного пружно-пластичного тіла, а при її дискретизації були використані чотирьохвузлові прямокутні елементи оболонки з контролем руйнування типу S4R [10]. Контакт між валками і заготовкою задавався моделлю контакту «Поверхня до поверхні» з коефіцієнтом тертя $\mu = 0,25$.

Власне, скінченно-елементна модель, що відповідає схемі на рис. 1а, представлена на рис. 2. Довжина бочки крайніх роликів в цьому випадку відповідала номіналу, а середніх роликів склала 1225 мм. Профілювання виконані відповідно до методики, представленої в роботі [15].

Результати дослідження та їх аналіз. Результати, одержані при реалізації моделювання процесу, подано у вигляді відповідних графічних залежностей (рис. 3—6).

Аналіз одержаних результатів свідчить, що у випадку використання схеми правки у косовалковій машині зі спеціальним профілюванням валків з виправленням на кроці та у середині калібру можна домогтися більш якісних показників результуючої кривизни $\Delta\sigma$ при менших величинах прогину середньої пари валків, ніж на машинах з правкою лише на кроці (див. рис. 5а). Так, для змодельованих типорозмірів

остаточна кривизна при правці в калібрі склала 0,5 мм/п.м при 1,5 мм/п.м для правки на кроці при значно меншому, в 2,5 рази, прогині середньої обойми відносно крайніх. При моделюванні, у тому числі й у частині візуалізації процесу в часі, підтверджене забезпечення виправлення кінцевих ділянок труби. Однак сила правки, створювана роликками, різко зростає й більш ніж удвічі перевищує аналогічні показники при виправленні тільки на кроці роликкових обойм (див. рис. 5б). Найбільша сила правки має місце для верхнього ролика середньої пари (опорного). Відзначено необхідно враховувати у зв'язку з

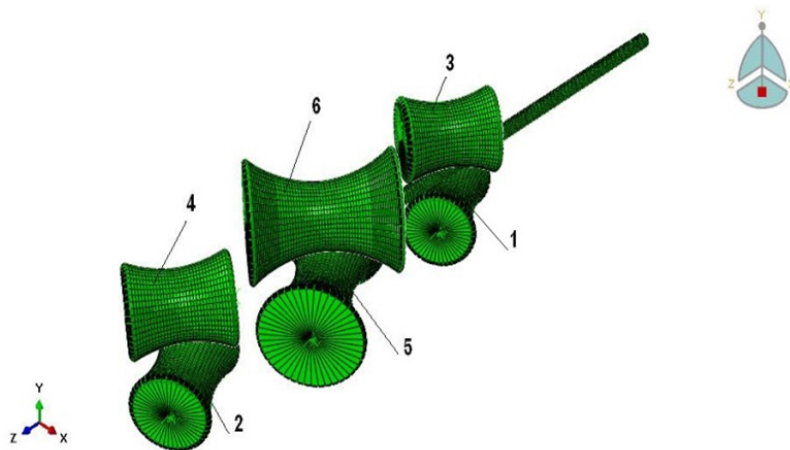
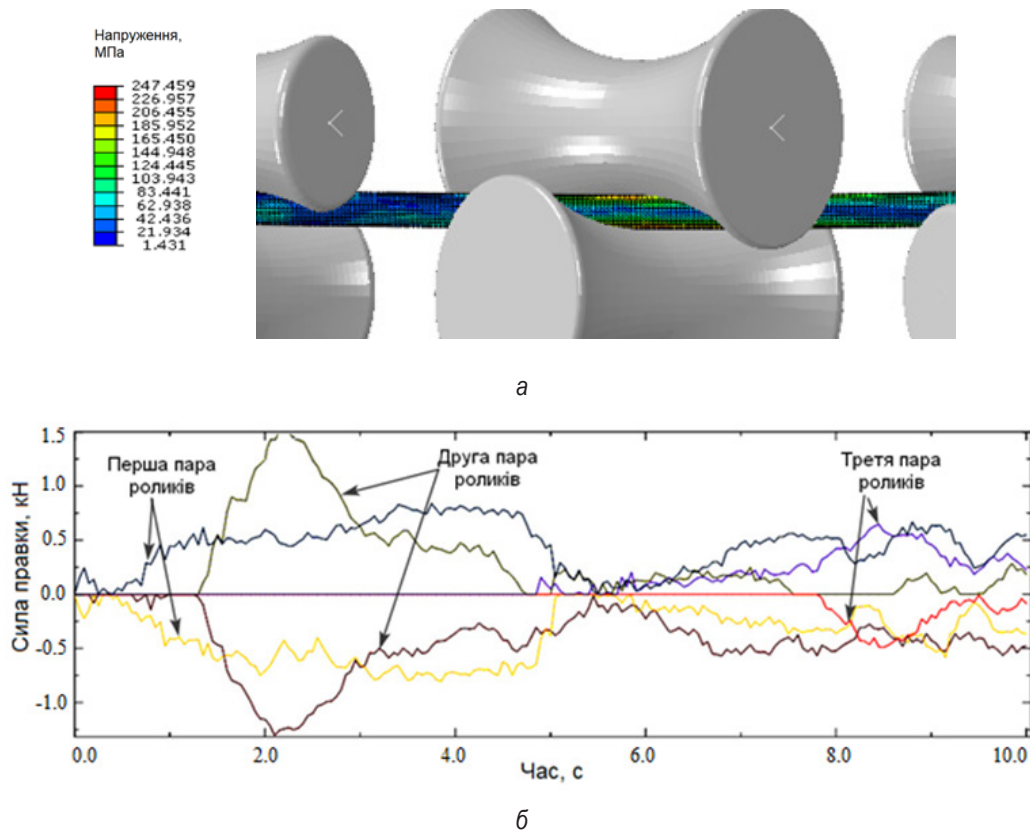


Рис. 2.

Скінченно-елементна модель та нумерація роликів шестивалкової машини за рис. 1а



труба $\varnothing 273$ мм; $S = 8$ мм; $\sigma_T = 400$ МПа

Рис. 3.

Приклад результатів розрахунку напруженого стану труби в середніх валках (а) та зміни сили правки від часу кроку розрахунку (б)

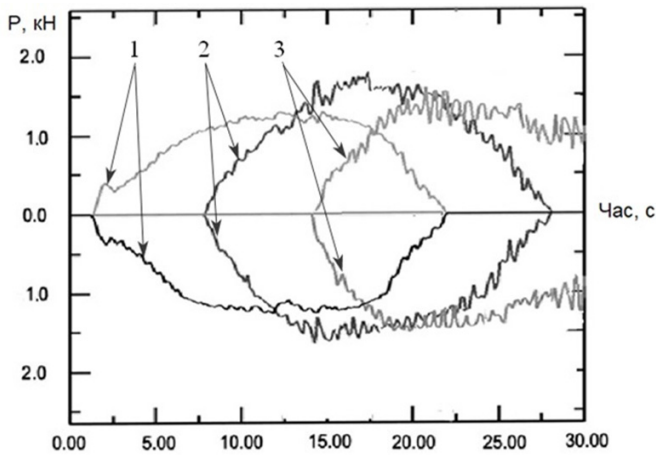


Рис. 4. Розрахункові залежності зміни сили виправлення для кожного ролика від часу кроку розрахунку

можливістю овалізації перерізу труби під дією сили виправлення, розглянутого в роботі [14]. Даний фактор накладає додаткове обмеження на вибір параметрів процесу при виправленні тонкостінних труб.

Скінченно-елементну модель процесу правки в косовалковій машині з асиметричним профілюванням крайніх валків (див. рис. 1б) представлено на рис. 6. Середні валки мають довжину бочки 1225 мм і симетричне профілювання, крайні валки виконані асиметричними і мають довжину бочки 1015 мм. Моделювання виконували для того ж типорозміру труб, що і в попередньому випадку. Початкову кривизну труби приймали 10 мм/п.м.

Регулювання кроку для модельованого сортаменту відповідно до рекомендацій роботи [5] виконували осьовим зрушенням крайніх роликів відносно осі правлення, для нашого випадку на величину 65 мм, що відповідало величині кроку 1535 мм.

Результати математичного моделювання в косовалковій машині з асиметричним профілюванням валків наведено на рис. 7—9.

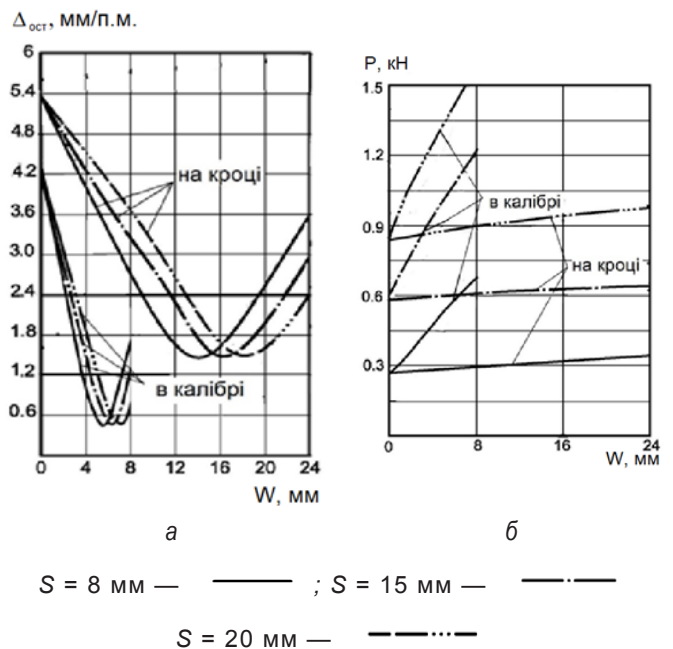
Порівняння результатів моделювання правки труб в косовалковій правильній машині з симетричним та асиметричним профілюванням валків свідчить, що при правці в калібрі середніх валків та на кроці між середніми і крайніми валками якість виправлення в калібрі змінюється незначно, а якість виправлення на кроці поліпшується більш істотно (див. рис. 9а), до 15 % по мінімальній залишковій кривизні за рахунок можливості змінювати крок роликів. Сила правки як у калібрі, так і на кроці менша для варіанту з асиметричним профілюванням крайніх валків на 5—7 %.

Максимальні напруження в трубі, що виправляється, для обох схем мають місце на контакті з валками середньої обойми при правці в калібрі. В цілому, результати моделювання підтвердили ефективність правки з асиметричним профілюванням крайніх валків.

Обговорення. Практична спрямованість роботи полягає в тому, що розроблена скінченно-елементна модель може бути використана для визначення енергосилових параметрів, зокрема, сили правки в валкових обоймах та показників результуючої кривизни труб

при проектуванні технологічних режимів правки в косовалкових машинах зі спеціальним профілюванням валків. Зокрема, як видно з рис. 5а та рис. 9а, можна встановити раціональні значення перекриття валків, які забезпечують мінімальну залишкову кривизну труб, а також визначити максимальні в часі сили правки, які не повинні перевищувати величин, що призводять до деформації і овалізації перерізу тонкостінних труб. Для умов, що досліджувались, раціональне перекриття роликів складає від 5 до 7 мм при правці в калібрі та від 14 до 18 мм при правці на кроці для труб діаметром 273 мм і товщиною стінки від 8 до 20 мм (рис. 5а). Використання симетричного або асиметричного профілювання не дає принципової різниці з точки зору якості правки, так й сили правки (рис. 9). Однак використання правки в калібрі поліпшує якість правки значно, до 0,4 мм/м за максимальної якості при правці на кроці 1,2 мм/м.

Висновки. Аналіз літературних джерел свідчить про нестачу даних про закономірності процесу правки в косовалкових трубоправильних машинах зі



труба $\varnothing 273$ мм; $\sigma_T = 400$ МПа, початковий прогин труби 10 мм/п.м

Рис. 5. Розрахункові залежності результуючої кривизни труби $\Delta_{ост}$ (а) й сили правки P (б) від прогину середньої пари валків W , отримані при моделюванні процесу правки на косовалковій правильній машині в калібрі й на кроці при різних товщинах стінки S

спеціальними профілюваннями валків, що обмежує можливість їхнього використання. Актуальність проблеми та практична спрямованість роботи обумовлені необхідністю підвищення ефективності роботи трубоправильних машин на основі розвитку знань про закономірності процесу правки. Розроблено скінченно-елементні моделі правки труб на косовалкових машинах з виправленням в калібрі валків зі спеціальним профілюванням та на кроці між валковими обоймами. За результатами їх реалізації встановлено, що правка в калібрі і на кроці дозволяє майже втричі

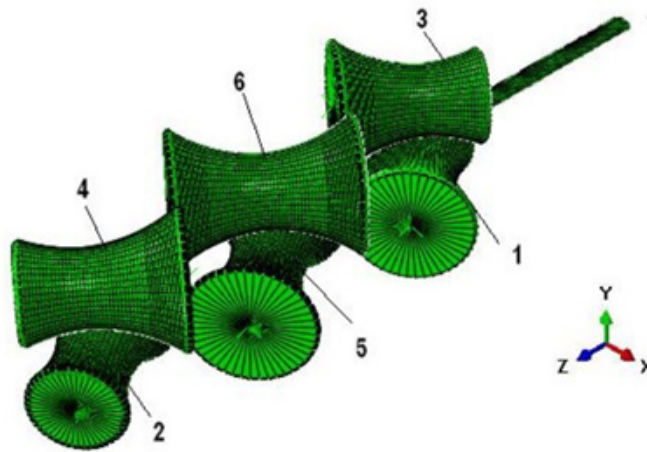
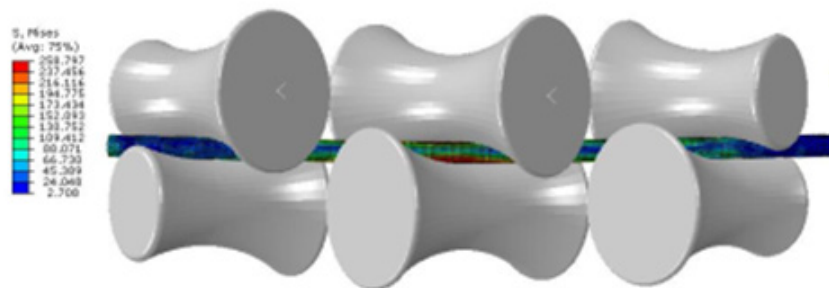
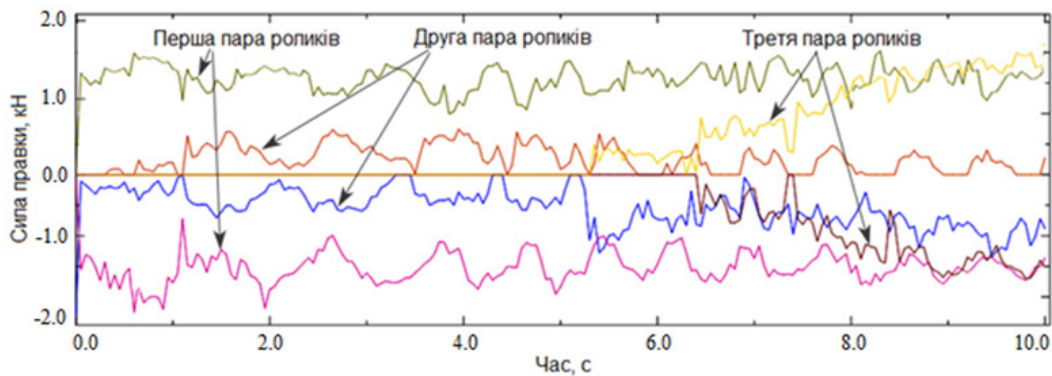


Рис. 6. Скінченно-елементна модель та нумерація валків шестивалкової машини з асиметричним профілюванням крайніх валків за рис. 16



а



б

труба $\varnothing 273$ мм; $S = 8$ мм; $\sigma_T = 400$ МПа, прогин труби 10 мм/п.м

Рис. 7. Приклад результатів розрахунку напруженого стану труби (а) та зміни сили правки в часі (б)

зменшити залишкову кривизну труби при меншому у 2,5 рази перекритті середніх валків відносно крайніх. При цьому майже вдвічі зростає сила на найбільш навантажених середніх валках, що слід враховувати з огляду можливості виникнення овальності перерізу тонкостінних труб. Використання додаткового асиметричного профілювання крайніх валків з регулюванням кроку практично не впливає на якість правки в калібрі, підвищує до 15 % якість правки на кроці при зниженні на 5—7 % максимальної сили правки. Розроблена скінченно-елементна модель дозволяє виз-

начати раціональні значення перекриттів валків для забезпечення мінімальної залишкової кривизни труб.

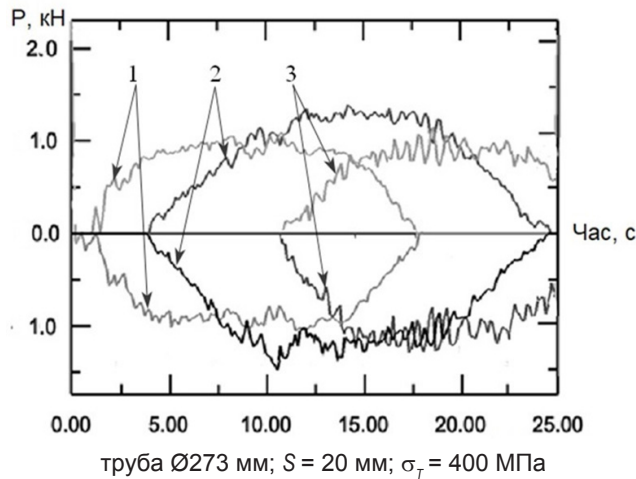


Рис. 8. Розрахункові залежності зміни сили правки для машини з асиметричним профілюванням валків для кожного ролика від часу кроку розрахунку

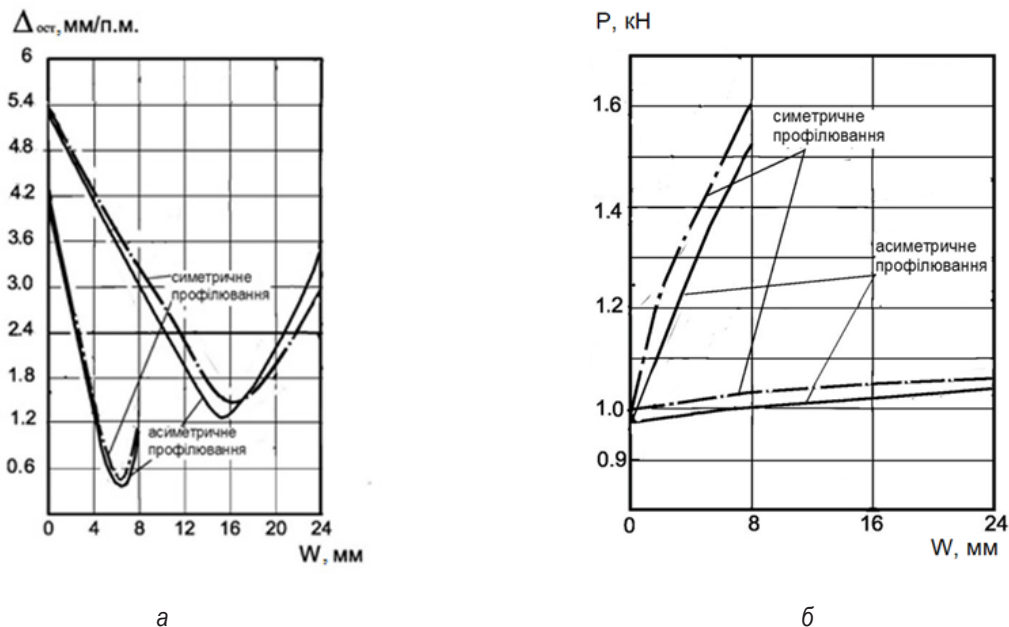
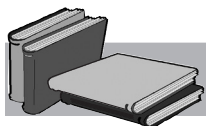


Рис. 9. Порівняння розрахункових залежностей результуючої кривизни труби $\Delta_{ост}$ (а) й сили правки P (б) від прогину середньої пари валків W , отриманих при моделюванні процесу правки на косовалковій правильній машині в калібрі й на кроці при симетричному і асиметричному профілюванні крайніх валків (труба $\text{Ø}273$ мм; $S = 20$ мм; $\sigma_T = 400$ МПа, прогин труби 10 мм/п.м)

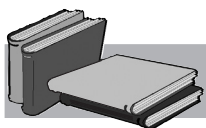


ЛІТЕРАТУРА

1. Завгородний Д.В., Гаврильченко О.А., Завгородний А.В. Прецизионная правка толстостенных труб нефтяного сортамента на десятивалковых правильных машинах. *Обработка материалов давлением*. 2008. № 1 (19). С. 268—271.
2. Zdanevich S.S., Pogrebnyak R.P., Zdanevich S.V. Structural analysis and rational design of mechanisms of cross-roll tube straightening machines. *Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovs'k National University of Railway Transport*. 2018. Vol. 5 (77). P. 65—73. <https://doi.org/10.15802/stp2018/147630>
3. Маскилейсон А.М., Москалев В.А., Левитсюя Д.С., Хотимский Ю.Л. Машины для точной правки труб. *Сталь*. 1989. № 5. С. 58.
4. Завгородний Д.В., Завгородний А.В. Машина для правки тонкостенных труб. *Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні*: тематич. зб. наук. пр. Краматорськ: ДДМА, 2007. С. 353—356.

5. Пат. № 14376 Україна, B21D 3/00. Правильна косовалкова машина / Федорінов В.А., Сатонін О.В., Завгородній Д.В.; заявник та патентоволодар Донбаська державна машинобудівна академія. – № U200510706; заяв. 14.11.2005; опубл. 15.05.2006, Бюл. № 5. URL: <https://uapatents.com/5-14376-pravilna-kosovalkova-mashina.html>
6. Tanner R.I., Huang X., Xue S.-C., Phan-Thien N. Finite volume computational methods for polymer processing. *Proc. of the 7 Int. Conf. on numerical methods in industrial forming processes*. Enschede (Netherlands), 1998. P. 3—9.
7. Zhang Z.Q., Yan Y.H., Yang H.L. A simplified model of maximum cross-section flattening in continuous rotary straightening process of thin-walled circular steel tubes. *Journal of Materials Processing Technology*. 2016. Vol. 238. P. 305—314. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2016.07.034>
8. Zhang Zi-Qian. Prediction of Maximum Section Flattening of Thin-walled Circular Steel Tube in Continuous Rotary Straightening Process. *Journal of Iron and Steel Research*. 2016. Vol. 23. Iss. 8. P. 745—755. [https://doi.org/10.1016/S1006-706X\(16\)30116-9](https://doi.org/10.1016/S1006-706X(16)30116-9)
9. Clicil J.-S., Roque C., Pan C., Button S.T. Analysis of metal forming process based on meshless method. *Journal of Materials Processing Technology*. 1998. № 80—81. P. 642—646.
10. Abaqus 6.11 Abaqus/CAE User's Manual. URL: http://130.149.89.49:2080/v6.11/pdf_books/CAE.pdf
11. Lin Bisen, Coe David, Harris Richard, Frans Klever. Accurate Prediction of Casing Collapse Resistance by 3D Finite Element Modeling. Paper presented at the IADC/SPE International Drilling Conference and Exhibition. 2022.
12. Завгородній Д.В., Завгородній А.В. Экспериментальное исследование влияния углов установки валков на качество выправляемых труб, а также энергосиловые параметры процесса правки. *Вісник Донбаської державної машинобудівної академії*. 2007. № 3. С. 37—41.
13. Кроха В.А. Упрочнение металлов при холодной пластической деформации. Москва: Машиностроение, 1980. 157 с.
14. Завгородній А.В., Грибков Э.П. Совершенствование технологий и оборудования процессов правки труб на косовалковых трубоправильных машинах. *Обработка материалов давлением*. 2016. № 2 (43). С. 148—155.
15. Завгородній В.Г., Шевцов С.А., Завгородній Д.В., Чемерис С.В. Автоматизированное проектирование рабочих роликов косовалковых правильных машин для правки труб различного сортамента. *Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні*. 2003. С. 210—214.

Надійшла 18.07.2023



REFERENCES

1. Zavhorodnyi, D.V., Havrylchenko, O.A., Zavhorodnyi, A.V. (2008). Precision straightening of thick-walled OCTG on ten-roll straighteners. *Materials working by pressure*, 1 (19), 268—271 [in Russian].
2. Zdanevich, S.S., Pogrebnyak, R.P., Zdanevich, S.V. (2018). Structural analysis and rational design of mechanisms of cross-roll tube straightening machines. *Science and Transport Progress*, 5 (77), 65—73. <https://doi.org/10.15802/stp2018/147630>
3. Maskileison, A.M., Moskalev, V.A., Levitsyuyai, D.S., Khotimsky, Yu.L. (1989). Pipe Straightening Machines. *Steel*, 5, p. 58 [in Russian].
4. Zavgorodniy, D.V., Zavgorodniy, A.V. (2007). Thin Wall Pipe Straightener Machine. *Improvement of pressure treatment processes and equipment in metallurgy and mechanical engineering: Collection of science papers*, 353—356 [in Russian].
5. Fedorinov, V.A., Satonin, O.V., Zavgorodniy, D.V. (2006). Patent 14376 Ukraine, B21D 3/00. Straightening obliqueroll machine, no. U200510706; 14.11.2005; 15.05.2006. <https://uapatents.com/5-14376-pravilna-kosovalkova-mashina.html> [in Ukrainian].
6. Tanner, R.I., Huang, X., Xue, S.-C., Phan-Thien, N. (1998). Finite volume computational methods for polymer processing. *Proc. of the 7 Int. Conf. on numerical methods in industrial forming processes*. Enschede (Netherlands), 3—9.
7. Zhang, Z.Q., Yan, Y.H., Yang, H.L. (2016). A simplified model of maximum cross-section flattening in continuous rotary straightening process of thin-walled circular steel tubes. *Journal of Materials Processing Technology*, 238, 305—314. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2016.07.034>
8. Zhang, Zi-Qian. (2016). Prediction of Maximum Section Flattening of Thin-walled Circular Steel Tube in Continuous Rotary Straightening Process. *Journal of Iron and Steel Research*, 23 (8), 745—755. [https://doi.org/10.1016/S1006-706X\(16\)30116-9](https://doi.org/10.1016/S1006-706X(16)30116-9)
9. Clicil, J.-S., Roque, C., Pan, C., Button, S.T. (1998). Analysis of metal forming process based on meshless method. *Journal of Materials Processing Technology*, no. 80—81, 642—646.
10. Abaqus 6.11 Abaqus/CAE User's Manual. URL: http://130.149.89.49:2080/v6.11/pdf_books/CAE.pdf
11. Lin Bisen, Coe David, Harris Richard, Frans Klever. (2022). Accurate Prediction of Casing Collapse Resistance by 3D Finite Element Modeling. Paper presented at the IADC/SPE International Drilling Conference and Exhibition.
12. Zavgorodniy, D.V., Zavgorodniy, A.V. (2007). Experimental study of the influence of roll angles on the quality of straightened pipes, as well as energy-power parameters of the straightening process. *Herald of the Donbass State Engineering Academy: Collection of science papers*, 3, 37—41 [in Russian].
13. Krokha, V.A. (1980). Hardening of metals under cold plastic deformation. Moscow: Mashinostroenie, 157 p. [in Russian].
14. Zavgorodniy, A.V., Gribkov, E.P. (2016). Improvement of technologies and equipment for pipe straightening processes on roll pipe straighteners. *Materials working by pressure: Collection of science papers*, 2 (43), 148—155 [in Russian].

15. Zavgorodniy, V.G., Shevtsov, S.A., Zavgorodniy, D.V., Chemeris, S.V. (2003). Computer-aided design of working rollers of cross-roller straightening machines for straightening pipes of various sizes. *Improvement of pressure treatment processes and equipment in metallurgy and mechanical engineering*: Collection of science papers, 210—214 [in Russian].

Received 18.07.2023

Summary

E.P. Gribkov, Dr. Sci. (Engin.), Professor, Full Professor of the Department, e-mail: gribkov.eduard@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-1565-6294>
Yu.K. Dobronosov, PhD (Engin.), Associate professor, Associate professor of the Department, e-mail: Yuriy.Dobronosov@mipolytech.education, <https://orcid.org/0009-0001-9608-3386>
V.V. Kukhar, Dr. Sci. (Engin.), Professor, Vice-Rector for scientific research, e-mail: volodymyr.kukhar@mipolytech.education, <https://orcid.org/0000-0002-4863-7233>
Kh.V. Malii, PhD (Engin.), Associate professor of the Department, e-mail: kristina.maliy@mipolytech.education, <https://orcid.org/0000-0002-9046-4268>
LLC “Technical University “METINVEST POLYTECHNIC” (Zaporizhzhia, Ukraine)

Three-dimensional analysis of the stress-strain state for straightening pipes on skew-roll straightening machines with special roll profiling

In order to increase the competitiveness of domestic metal products, in particular pipes, it is necessary to ensure their compliance with international standards in terms of the main quality indicators. The pipe straightening process provides quality indicators such as straightness and cross-sectional shape. Skew-roll pipe straightening machines are the most common and most effective for straightening pipes of small and medium diameters. The most modern are six-roll pipe straightening machines with special roll profiling, which provide straightening of two types: in the caliber of the profiled rolls and at the step between the roll clamps. But the lack of knowledge about the regularities of straightening pipes holds back the wide implementation of such machines. In the work, a finite element model was developed and with its use, a study of the influence of the straightening process parameters in profiled rolls with symmetric and asymmetric profiling of the extreme pairs of rolls on the indicators of pipe straightness and straightening force was carried out. According to the results of their implementation, it was established that straightening the pipe in gauge and pitch allows to reduce the residual curvature of the pipe by almost three times with a 2.5 times smaller overlapping of the middle rolls relative to the outer ones. At the same time, the force on the most heavily loaded middle rolls increases almost twice, which should be taken into account in view of the possibility of ovality in the section of thin-walled pipes. The use of additional asymmetric profiling of the extreme rolls with step adjustment practically does not affect the quality of straightening in the gauge, increases the quality of straightening at the step by up to 15 %, while reducing the maximum straightening force by 5–7 %. The developed finite-element model allows determining the rational values of rolls overlaps to ensure the minimum residual curvature of the pipes.

Keywords

Metal pressure treatment, straightening, pipe, skew-rolling pipe straightening machine, stressed-deformed state, profiling roller, technological settings, power parameters.