

ОСОБЛИВІСТІ ПРОЦЕСУ ХОЛОДНОЇ ПІЛЬГЕРНОЇ ПРОКАТКИ ТРУБ НА СТАНАХ З МОЖЛИВІСТЮ ВИКОНАННЯ РІЗНИХ СПОЛУЧЕНЬ ПОДАЧІ ТА ПОВОРОТУ ПЕРЕД ДЕФОРМУВАННЯМ ПРЯМИМ ТА ЗВОРОТНИМ ХОДОМ КЛІТІ ТА ОБЛАСТІ ЙОГО ВИКОРИСТАННЯ

Процес холодної пільгерної прокатки застосовується у виробництві труб з високими вимогами по точності геометрії, по поверхні та по механічним властивостям металу.

В останні роки в Україні введено в експлуатацію нові сучасні стани холодної пільгерної прокатки труб ХПТ8-40, КПВ25, ХПТ6-20, ХПТ10-45, LG20 та LG40 на яких є можливість виконувати різні сполучення подачі та повороту заготовки перед деформуванням прямим та перед деформуванням зворотним ходом кліті. А діючі стани холодної прокатки старих конструкцій мають можливість виконувати подачу заготовки лише перед деформуванням прямим ходом, а поворот перед деформуванням зворотним ходом кліті.

В роботі розглядаються особливості та області застосування процесів холодного пільгерного деформування труб з різними сполученнями подачі та повороту перед прямим та зворотним ходом кліті.

Застосування процесу холодної пільгерної прокатки з подачею та поворотом перед прямим та зворотним ходом дає можливість підвищувати продуктивність процесу, точність труб та приводить до появи градієнтної мікроструктури металу по товщині стінки. Близькі результати по точності дає процес з подачею і поворотом перед прямим ходом та з поворотом перед зворотним ходом кліті

Але є і неопозитивні фактори. При деформування зворотним ходом кліті є збільшення осьових зусиль та сили зриву труби з оправки. Це затрудняє прокатку труб з більш товстими стінками. Це потребує також і застосування більш ефективних мастил.

Описано раціональні варіанти проведення процесу пільгерного деформування з подачею та поворотом перед прямим та зворотним ходом для забезпечення підвищення продуктивності процесу, точності труб та забезпечення необхідної мікроструктури металу.

Це потрібно для розробок ефективних процесів холодної пільгерної прокатки з різними режимами подачі та повороту в єднанні з режимами деформації робочому конусі деформування.

Ключові слова: Холодна пільгерна прокатка, режими деформування, сполучення подачі та повороту перед прямим та перед зворотним ходом кліті, зрив труби з робочого конусу деформування, точність труб, мікроструктура металу труб.

Постановка проблеми. Ще 15-20 років тому в Україні в основному використовували тільки процес холодної пільгерної прокатки на станах ХПТ. Труби деформують в рівчак валка на нерухомій оправці. Рівчак має змінний поперечним профіль, що змінюється по периметру валка. Застосовують оправки конічної форми чи з криволінійною твірною форми (рис.1), де подача порціями та поворот заготовка виконується перед деформування прямим ходом кліті, а поворот перед деформуванням зворотним ходом кліті. При цьому орієнтовно 70 процентів лінійного зміщення готової труби відбувається при прямому ході (рис. 1) та 30 процентів при зворотному.

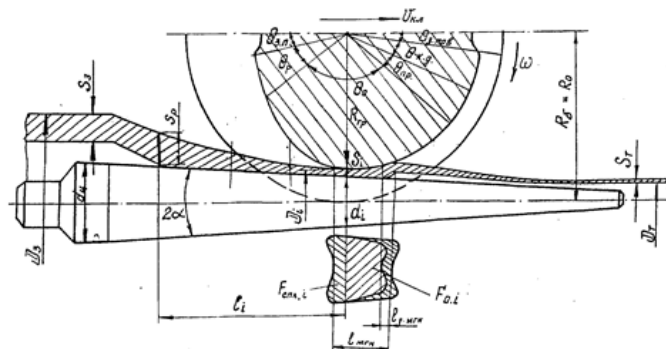


Рисунок 1 – Схема робочого конусу деформування та миттєвого осередку деформації при деформуванні прямим ходом кліті [1]: $\theta_{з.п}$ - зев подачі; θ_p - ділянка редукування; θ_o - обтискна ділянка; θ_{np} - передоздоблювальна ділянка; $\theta_{к.д}$ - ділянка калібрування діаметра; $\theta_{з.пов}$ - зев повороту; $Dз$ - діаметр заготовки; $dц$ - діаметр циліндричної частини оправки; $Sз$ - товщина стінки заготовки; Sp - товщина стінки в кінці зони редукування; 2α - два кута конусності оправки; Di - діаметр робочого конусу у положенні i ; Si - товщина стінки у положенні i ; $Rзр$ - радіус гребня рівчака валка; di - діаметр оправки в положенні i ; $Rб$ - радіус ідеального діаметра валка; Sm - товщина стінки прокатоної труби; Dt - діаметр прокатоної труби; Fo, i - горизонтальна проекція поверхні осередка деформації; $F_{зпл. i}$ - величина збільшення Fo з-за плющення валка в положенні i ; $L_{мгн}$ - довжина миттєвого осередка деформування; Li - довжина від початку зони обтиснення до точки місця положення миттєвого осередка деформації; $Lp_{мгн}$ - довжина зони редукування в миттєвому осередку деформування

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Осередок деформування у процесі холодної прокатки труб зворотним ходом представлено в роботі [2].

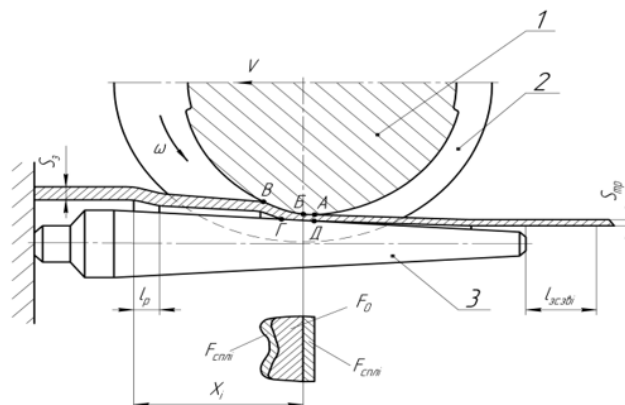


Рисунок 2 – Схема сумарного та миттєвого осередку деформації при деформуванні труби - заготовки зворотним ходом кліті: 1- валок; 2 - рівчак валка; 3 - нерухома оправка; S_3 – товщина стінки труби-заготовки; S_{mp} – товщина стінки прокатоної труби; АБВГД- миттєвий осередок деформації; V- поступова швидкість валка; ω - кутова швидкість валка; λ зсзві - лінійний зсув переднього торця труби; l_p - довжина зони редукування; F_0 - горизонтальна проекція площі контакту рівчака валка з трубою, що деформується; $F_{сплі}$ – площа збільшеної частини площі контакту рівчака з трубою за рахунок сплюснення валка; X_i – довжина від початку деформованої труби-заготовки до положення валка і [2].

В роботі [1] розглянуті чотири варіанти виконання сполучень подачі та повороту при деформування прямим та зворотним ходом кліті на сучасних станах холодної пільгерної прокатки.

варіант 1 – подача труби здійснюється перед деформуванням прямим ходом кліті, а поворот труби – перед деформуванням зворотнім ходом кліті;

варіант 2 – подача труби здійснюється перед деформуванням прямим ходом кліті, а поворот труби – перед деформуванням прямим та зворотнім ходом кліті;

варіант 3 – подача труби здійснюється перед деформуванням прямим і зворотнім ходом кліті, а поворот – перед деформуванням зворотнім ходом кліті;

варіант 4 – подача та поворот труби здійснюються перед деформуванням прямим та деформуванням зворотнім ходом кліті.

В роботі [3] показано, що при застосування процесу прокатки з подачею та поворотом труби перед прямим та перед зворотним ходом кліті (варіант 4) звичайно зменшують величину подачу і відповідно розвалку калібрів і це приводить до суттєвого зменшення поперечної різностінності труб і також овальності труб. Це приводить до значного поліпшення якості по точності труб. При варіанті 2 (подача труби здійснюється перед деформуванням прямим ходом кліті, а поворот труби перед деформуванням прямим та зворотнім ходом кліті) також знижується поперечна різностінність та овальність труб.

В роботах [4, 5] теж відзначається, що на сучасних станах холодної пільгерної прокатки точність труб підвищується.

В роботі [6] показано, що застосування процесу прокатки з подачею та поворотом труби перед прямим та зворотним ходом кліті підвищує орієнтовно в двічі дрібність деформування металу, що впливає на подрібнення зерен металу і змінює його механічні характеристики. Показано, що за рахунок збільшення довжини робочого конуса і відповідно довжин зони обтиску деформування дрібність деформування зростає. З'являється градієнтна по товщині стінки мікроструктура. Дрібність деформування також розглянута в роботі для процесу холодної безперервної роликової прокатки труб де були встановлені дворядні, а також трирядні кліті [7].

В роботі [4] також йдеться про важливість досліджень з мікроструктури і механічних властивостей труб отриманих холодною пільгерною прокаткою, які працюють під внутрішнім тиском рідини.

Мета дослідження. Метою статті є визначення і особливостей процесу холодної пільгерної прокатки труб з різними сполученнями подач та повороту перед деформуванням прямим та зворотним ходом кліті та представлення областей його використання.

Основний матеріал дослідження. Розглянемо основні особливості процесу холодної пільгерної прокатки труб на станах з можливістю виконання різних сполучень подачі та повороту перед деформуванням прямим та зворотним ходом кліті. З чотирьох розглянутих варіантів виконання сполучень подачі та повороту два дають суттєві позитивні здобутки. Це варіант 2 та варіант 4 по зрівнянню з процесом за варіантом 1.

1. Підвищення точності. Підвищення точності труб забезпечується завдяки тому, що подача перед прямим та перед зворотнім ходом зменшена у два рази по зрівнянню з подачею у процесі холодної прокатки труб за варіантом 1. Сумарна величини лінійного зсуву однакова, що у процесі з подачею перед деформуванням прямим ходом, а поворотом перед деформуванням зворотнім ходом та процесом за варіантом 4.

2. Підвищення дрібності деформування Дрібність деформування має своє визначення. Дрібність деформування - це кількість циклів деформування при якому вхідний перетин труби заготовки деформується в кінцевий перетин труби.

Металургія

$$n_d = 3l_o / m (1 + 2\mu_\Sigma); \quad (1)$$

де: n_d – дрібність деформування;
 l_o – довжина зони обтиску робочого конусу деформування;
 m – величина подачі металу;
 μ_Σ – величина витяжки труби-заготовки в трубу.

В результаті збільшення довжина зони обтиску робочого конусу деформування за рахунок додаткового дрібного деформування при зворотному ході кліті збільшується дрібність деформування.

3. Поява градієнтності мікроструктури по товщині стінки труби. В результаті збільшення інтенсивності деформування на контакті внутрішньої поверхні труб з нерухомою оправкою зерно дробиться в більшій мірі ніж в інших частинах товщини стінки.

4. Збільшення осьових зусиль та сили зриву труби з оправки при зворотному ході.

При зворотному ході метал не має можливості виходити з миттєвого осередка деформування в сторону прямого ходу, а виходить в сторону прямого хода кліті. Збільшується складова сил тертя сил в силі, що діє на валок.

Для нівелювання цього збільшення звичайно зменшують величину подачі вдвічі. З зменшенням подачі зменшуються сили, що діють на валок. При цьому зменшується осьові сили та сила потрібна для зриву труби перед при подачі і робота стана відбувається нормально. Крім того, при цьому продуктивність стану остається такою ж як у процесі з подачею та поворотом тільки при прямому ході. Також і значно підвищується точність труб за рахунок зниження поперечної різностінності [3] та як подача була зменшена вдвічі.

По даним авторів в даний час в Україні з використанням різних сполучень подачі та повороту перед деформуванням прямим та зворотнім ходом є можливість прокатувати труби на п'яти станах ХПТ-32, двох станах ХПТ-55 і одному ХПТ-75, стані ХПТ 6-20, ХПТ 10-45 і двох станах КРВ-25, стані ХПТ 10-45, станах, LG20 та LG40.

Області ефективного застосування процесу холодної пільгерної прокатки труб на станах, що мають можливість виконання різних сполучень подачі та повороту перед деформуванням прямим та зворотним ходом кліті:

1) Прокатка тонкостінних труб. При прокатці товстостінних труб ускладняється процес прокатки з подвійною подачею, оскільки збільшується сила зриву труби з оправки, особливо перед зворотним ходом кліті;

2) При прокатці тонкостінних труб з відносною деформацією по площі поперечного перетину труби-заготовки більше ніж 50% треба зменшувати величини подач з-за підвищення конусності оправок, і відповідно, осьових зусиль при зворотному ході кліті та збільшення сили зриву труби з оправки;

3) При прокатці з деформаціями по діаметру менше 50% тонкостінних труб із сталей з високою пластичністю співвідношення величин подач оптимальне в діапазоні - $(60 \div 50) : (40 \div 50)$, майже 50:50.

4) Тепла прокатка труб. При теплій прокатці труб знижуються сили прокатки і застосовують мастила з графітом.

ВИСНОВКИ

1. Поява в Україні нових сучасних промислових станів холодного пільгерного деформування труб, що мають конструкцію яка забезпечує здійснення різноманітних варіантів сполучень подачі та повороту поставила задачі по визначенню особливостей

Металургія

деформування та визначенню областей застосування процесу холодного пільгерного деформування труб як переднім так і заднім ходом кліті.

2. Виявлені наступні особливості процесу холодного пільгерного деформування труб на станах, що мають конструкцію яка забезпечує здійснення різноманітних варіантів сполучень подачі та повороту перед прямим та зворотним ходом кліті:

- відбувається зниження поперечної різностінності труб та овальності за рахунок зменшення подачі перед прямим та зворотним ходом кліті;

- відбувається підвищення дрібності деформування в результаті збільшення довжина зони обтиску робочого конусу деформування за рахунок додаткового деформування при зворотному ході кліті і зменшення подач перед прямим та зворотним ходами кліті;

- з'являється градієнтність мікроструктури по товщині стінки труб так як в результаті збільшення інтенсивності деформування на контакті внутрішньої поверхні труб з нерухомою оправкою зерно дробиться в більшій мірі ніж в інших частинах товщини стінки;

- збільшуються осьові сили та сили зриву труби з оправки при зворотному ході так як при зворотному ході метал не має можливості виходити з миттєвого осередка деформування в сторону прямого ходу і виходить в сторону прямого хода кліті і збільшується складова сил тертя в силі, що діє на валок.

Області ефективного застосування процесу холодної пільгерної прокатки труб на станах, що мають можливість виконання різних сполучень подачі та повороту перед деформуванням прямим та зворотним ходом кліті:

- прокатка тонкостінних труб;

- прокатці тонкостінних труб з відносною деформацією по площі поперечного перетину труби-заготовки більше ніж 50% з зменшенням величин подачі;

- прокатка з деформаціями по діаметру менше 50% тонкостінних труб із сталей з високою пластичністю з співвідношення величин подач оптимальне в діапазоні - $(60 \div 50) : (40 \div 50)$, майже 50:50;

- тепла прокатка труб.

Список використаних джерел

1. Григоренко В.У., Пилипенко С.В., Головченко О.П. (2015). Розвиток методу розрахунку параметрів процесу холодної пільгерної прокатки труб і калібровки інструмента: Монографія. Дніпропетровськ: Пороги. 120 с.

2. Григоренко В.У., Іскрижиський Д.В. (2025). Дослідження осередку холодного пільгерного деформування труби при зворотному ході кліті. Наука та виробництво. № 29 (2025). <https://doi.org/10.31498/2522-9990292025330261.C.101-106>.

3. О.П. Головченко & В.У. Григоренко (2022). Дослідження впливу на поперечну різностінність труб процесу холодної пільгерної прокатки з подвійною подачею та поворотом на сучасних станах. Збірник наукових праць НГУ. – Дніпро: Національний ТУ «Дніпровська політехніка», (71), 186-193. <https://doi.org/10.33271/crpnmu/71.186>

4. McNair, S., Chaharsooghi, A.S., Carnevale, M., Onnela, A., Daugin, J., Cichy, K., ..., Lunt, A. J.G. (2022). Manufacturing technologies and joining methods of metallic thin-walled pipes for use in high pressure cooling systems. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 118(3-4), pp.667-681. <https://doi.org/10.1007/s00170-021-07982-8>.

5. Azizoğlu, Y.; Sjöberg, B.; Lindgren, L.-E (2024). Modeling of Cold Pilgering of Stainless-Steel Tubes. *J. Manuf. Process.* 2024, 112, 112–125. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2024.01.039>.

6. Golovchenko O., Grigorenko V., & V. Protsiv V. (2023). Microstructures and mechanical properties of cold rolled pipes with increased small deformation. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 3, 054-059. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2023-3/054>.

7. Григоренко В.У. Розвиток наукових основ, створення та і впровадження ефективних процесів холодної безперервної періодичної роликової прокатки особливотонкостінних і багатошарових труб: дис. ... д-ра технічних наук: 05.03.05. Дніпропетровськ. 2004. 359 с.

Grigorenko V.U., Zinchenko S.M., Iskryzhytsky D.V.

FEATURES OF THE COLD PILGRIMS ROLLING PROCESS OF PIPES ON ROLLING ROLLERS WITH THE POSSIBILITY OF PERFORMING VARIOUS FEED AND ROTATION COMBINATIONS BEFORE DEFORMING BY DIRECT AND RETURN MOVEMENT OF THE CAGE AND AREAS OF ITS APPLICATION

The cold pilger rolling process is used in the production of pipes with high requirements for geometric accuracy, surface finish and mechanical properties of the metal.

In recent years, new modern cold pilger rolling mills of pipes KhPT8-40, KPV25, KhPT6-20, KhPT10-45, LG20 and LG40 have been put into operation in Ukraine, which have the ability to perform various combinations of feed and rotation of the workpiece before deformation by direct and before deformation by reverse motion of the stand. And the existing cold rolling mills of old designs have the ability to perform feed of the workpiece only before deformation by direct motion, and rotation before deformation by reverse motion of the stand.

The paper considers the features and areas of application of the processes of cold pilger deformation of pipes with various combinations of feed and rotation before direct and reverse motion of the stand.

The application of the process of cold pilger rolling with feed and rotation before direct and reverse motion makes it possible to increase the productivity of the process, the accuracy of the pipes and leads to the appearance of a gradient microstructure of the metal along the wall thickness. Similar results in terms of accuracy are obtained by the process with feed and rotation before the forward stroke and with rotation before the reverse stroke of the stand

But there are also negative factors. When deforming by the reverse stroke of the stand, there is an increase in axial forces and the force of the pipe breaking off from the mandrel. This makes it difficult to roll pipes with thicker walls. This also requires the use of more effective lubricants.

Rational options for carrying out the process of pilger deformation with feed and rotation before the forward and reverse stroke are described to ensure increased process productivity, pipe accuracy and ensuring the necessary metal microstructure.

This is necessary for the development of effective processes of cold pilger rolling with different feed and rotation modes in combination with deformation modes in the working cone of deformation.

Keywords: Cold pilger rolling, deformation modes, combination of feeds and rotation before the forward and reverse stroke of the stand, pipe breaking off from the working cone of deformation, pipe accuracy. microstructure of the pipe metal.

Стаття надійшла 19.11.2025р.