

The value of the forced rolling radius is taken in practice as the average value between the diameter of the blank pipe and the diameter of the finished pipe, and only in one section of the working cone will the value of the forced rolling radius be equal to the value of the natural rolling radius.

The paper considers the option of using drive gears with a variable pitch radius for each subsequent gear tooth according to the law in accordance with the change in the natural rolling radius.

For the first time, an algorithm for calculating the pitch radius of each tooth of the drive gear is proposed, which ensures the equality of the forced and natural rolling radii along the length of the deformation zone of the working cone according to its parameters for the method when the wall deformation is performed on a conical mandrel and when the wall deformation is performed on a mandrel with a curvilinear generator of its longitudinal profile.

The obtained results are needed to ensure more rational conditions for metal deformation, improve the surface of rolled pipes, reduce wear of the surface of the grooves of rolls and mandrels, as well as to increase the time between overhauls of the mill equipment.

It is also needed for design when developing modernizations or when developing new designs for cold pipe rolling mills.

Keywords: cold pipe rolling mills, natural and forced rolling radial, algorithm for calculating the pitch radius of the driving shaft.

Стаття надійшла 30.04.2025р.

УДК 671.774.35

doi.org/10.31498/2522-9990292025330261

Григоренко В.У., Іскрижицький Д.В.

ДОСЛІДЖЕННЯ ОСЕРЕДКУ ХОЛОДНОГО ПІЛЬГЕРНОГО ДЕФОРМУВАННЯ ТРУБИ ПРИ ЗВОРОТНОМУ ХОДІ КЛІТІ

В Україні виробляють значні обсяги холоднодеформованих труб відповідального призначення.

В останнє півтора десятиліття почався процес заміни станів холодної прокатки труб застарілих конструкцій на новітні стани типу KPW, LG, ХПТ.

Особливістю новітніх станів ХПТ 6-20, ХПТ 2-40, ХПТ 20 -45, KPW25, LG20 є те, що вони мають можливість виконувати процес за різними варіантами сполучень подачі та повороту і в тому числі за варіантом з подачею та поворотом перед деформування як прямим так і зворотним ходом кліті. При цьому процес деформування зворотним ходом є мало вивченим.

Такі стани встановлені для забезпечення можливості випускати труби за регламентованими показниками по якості за сучасними стандартами та з високою продуктивністю і відповідно для підвищення конкурентної здатності українських виробників.

В роботі набуло розвитку дослідження осередку деформування труби між нерухомою оправкою та валками, що перекачуються при зворотному ході кліті і висвітлюються позитивні відмінності від процесу деформування при прямому ході кліті.

Отримані результати потрібні для проектування маршрутів прокатки, вибору варіантів застосування сполучень подачі та повороту при прямому та зворотному ході кліті, розробок калібровок інструменту процесу холодного деформування на новітніх станах холодної прокатки труб відповідального призначення з підвищеними якісними показниками.

Ключові слова: *новітні стани холодної прокатки труб, сполучення подачі та повороту, деформування при прямому та при зворотному ході кліті, миттєвий осередок деформації, контакт металу з валком, контакт металу з оправкою.*

Постановка проблеми. Україна є державою де виробляють значні обсяги холоднодеформованих труб. Наприклад, один з заводів виробляє до дев'ятнадцяти процентів світового виробництва труб з корозійностійких сталей.

Процесам холодної пільгерного деформування на станах холодної прокатки труб приділяють значну увагу дослідники. Це пояснюється тим, що холоднодеформовані труби застосовують в виробах де по ним транспортують рідини під тиском [1].

В останнє півтора десятиліття почався процес заміни станів ХПТ застарілих конструкцій на стани новітніх конструкцій. Це стани типу ХПТ, КРВ, ЛГ [2]. Наприклад, стан КРВ-25LC має наступні основні технічні характеристики: - зовнішній діаметр прокатних труб в мм 8–30, - товщина стінки прокатних труб в мм 0,5–4,5; - значення швидкості подвійних ходів за хвилину від 15 до 320; значення величини подачі в мм 0–8.

Важливою особливістю новітніх імпортованих станів холодної прокатки труб типів ХПТ 6-20, ХПТ 20-45, КРВ25, ЛГ20, що працюють на українських виробництвах є можливість виконувати процес за різними варіантами режимів подачі та повороту, наприклад, [2, 3]:

Варіант 1 – подача виконується перед деформуванням прямим рухом, а поворот виконується перед деформуванням зворотним рухом кліті.

Варіант 2 – подача виконується перед деформуванням прямим рухом, а поворот виконується перед деформуванням прямим та перед деформуванням зворотним рухами кліті.

Варіант 3 – подача труби здійснюється перед деформуванням прямим і зворотним ходом кліті, а поворот – перед деформуванням зворотним ходом кліті;.

Варіант 4 – подача та поворот виконуються перед деформуванням прямим ходом кліті, а також перед деформуванням зворотним рухом кліті.

Значні переваги щодо точності труб при рівній продуктивності стану має варіант прокатки де подача та поворот виконуються перед деформування рухом кліті вперед та назад.

Процес деформування при зворотному ході кліті є мало вивченим і потребує додаткових досліджень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Осередок деформування при прямому ході кліті представлено на рис.1 [4]. При прямому ході задній торець труби заготовки закріплено в патроні подачі та повороту.

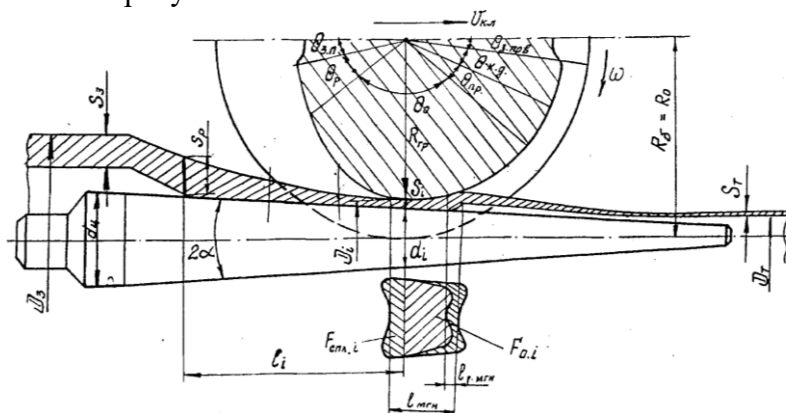


Рисунок 1 – Схема робочого конусу деформування та миттєвого осередку деформації при деформуванні прямим ходом кліті [4]: $\theta_{з.п}$ - зев подачі; θ_p - ділянка редукування; θ_o - обтискна ділянка; θ_{np} - передоздоблювальна ділянка; $\theta_{к.д}$ - ділянка калібрування діаметра;

$\theta_{з.пов}$ - зев повороту; $Dз$ - діаметр заготовки; $dц$ - діаметр циліндричної частини оправки; $Sз$ - товщина стінки заготовки; $Sр$ - товщина стінки в кінці зони редукування; 2α - два кута конусності оправки; Di - діаметр робочого конусу у положенні i ; Si - товщина стінки у положенні i ; $Rгр$ - радіус гребня рівчака валка; di - діаметр оправки в положенні i ; $Rб$ - радіус ідеального діаметра валка; Sm - товщина стінки прокатої труби; Dt - діаметр прокатої труби; Fo,i - горизонтальна проекція поверхні осередка деформації; $Fзпл.i$ - величина збільшення Fo з-за плющення валка в положенні i ; $Lмгн$ - довжина миттєвого осередка деформування; Li - довжина від початку зони обтиснення до точки місця положення миттєвого осередка деформації; $Lр.мгн$ - довжина зони редукування в миттєвому осередку деформування

При деформуванні прямим ходом кліті труби-заготовки відбувається лінійний зсув переднього торця труби разом з деформованою частиною труби, що знаходиться після початку миттєвого осередка деформування.

Для деформування зворотним ходом кліті схема робочого конусу деформування та миттєвого осередку деформації має відмінності. Таким чином потрібні дослідження з процесу деформування зворотним ходом кліті.

Мета дослідження. Метою статті є представлення досліджень і розробок з процесу деформування в миттєвому осередку деформування металу між валками, що перекачуються та нерухомою оправкою при зворотному ході кліті. Це обумовлено тим, що в новітніх станах холодної пільгерної прокатки є можливість виконання деформування труби-заготовки при зворотному ході кліті, і цей процес ще є не достатньо вивченим.

Результати дослідження потрібні при розробках технологій прокатки на новітніх станах холодної пільгерної деформування труб.

Основний матеріал дослідження. Для дослідження розробили схему процесу прокатки зворотним ходом кліті, де показано частину сумарного осередку деформування та миттєвий осередок деформації (рис. 2).

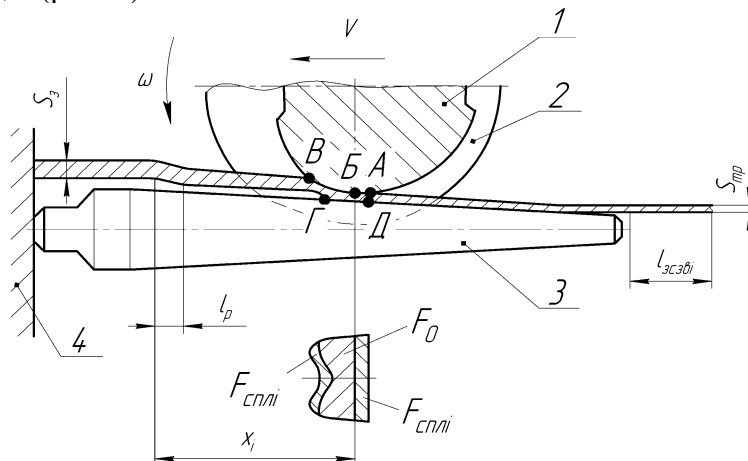


Рисунок 2 – Схема сумарного та миттєвого осередку деформації при деформуванні труби - заготовки зворотним ходом кліті: 1- валок; 2 - рівчак валка; 3 - нерухома оправка; $Sз$ – товщина стінки труби-заготовки; $Sпр$ – товщина стінки прокатої труби; АБВГД- миттєвий осередок деформації; V - поступова швидкість валка; ω - кутова швидкість валка; $lзсзвi$ - лінійний зсув переднього торця труби; $lр$ - довжина зони редукування; Fo - горизонтальна проекція площі контакту рівчака валка з трубою, що деформується; $Fсплi$ – площа збільшеної частини площі контакту рівчака з трубою за рахунок сплюснення валка; Xi – довжина від початку деформованої труби-заготовки до положення валка і

Розроблена схема процесу прокатки зворотним ходом кліті дала можливість аналізу схем робочого конусу деформування та миттєвого осередку деформації при деформуванні прямим ходом кліті (рис.1) і при деформування зворотним ходом кліті (рис. 2).

Основними особливостями є наступне: - при зворотному ході напрямлення обертання валків протилежне по зрівнянню з процесом деформування прямим ходом; - форма горизонтальної проекції осередку деформування при деформуванні зворотним ходом кліті подібна процесу деформування прямим ходом, але протилежно направлена; - метал при зворотному ході кліті має лінійний зсув в сторону протилежну поступової швидкості центру валка, тоді як при прямому ході напрямки лінійного зсуву та поступової швидкості центру валків однакові; - при деформуванні зворотним ходом кліті метал не має змоги зсуватися в напрямку поступової швидкості центра валка так як труба затиснута у патроні подачі та повороту який є нерухомим під час деформування, тоді як при деформуванні прямим ходом це відбувається.

При прямому ході кліті (рис. 3) за рахунок деформації металу труби, що знаходиться між валками та оправкою частина труби, що знаходиться в миттєвому осередку деформації і за осередком пересувається в напрямку прямого ходу кліті.

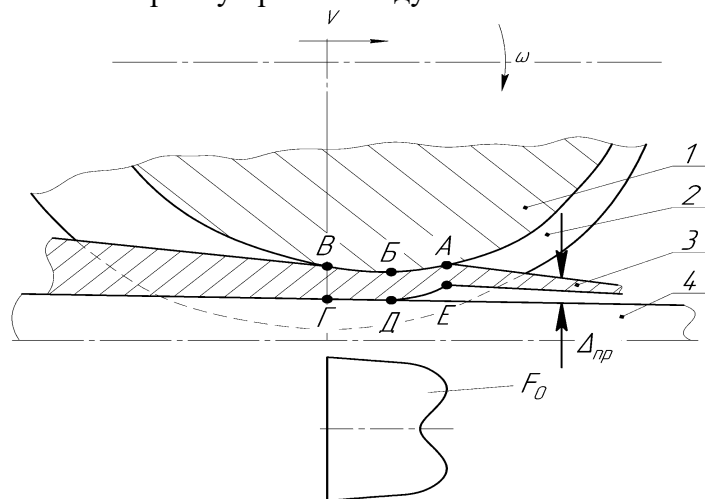


Рисунок 3 – Миттєвий осередок металу при холодному пільгерному деформуванні труби заготовки в готову трубу прямим ходом кліті : - 1 –валок; - 2 – рівчак валка; - 3 – труба; - 4 оправка; АБВГДЕ- миттєвий осередок деформування; - F_0 горизонтальна проекція поверхні контакту рівчака валка з трубою без сплюгнення валків, Δ - зазор між внутрішньою поверхнею труби та оправкою, що з'являється після подачі труби - загототки

Це називають лінійним зсувом. При деформуванні прямим ходом кліті напрямлення обертання валків протилежне по зрівнянню з процесу деформування зворотним ходом (рис. 3);

При деформуванні зворотним ходом кліті (рис. 4) метал не має змоги зсуватися в напрямку поступової швидкості центра валка, так як задній торець труби є затиснутим в патроні подачі.

Металургія

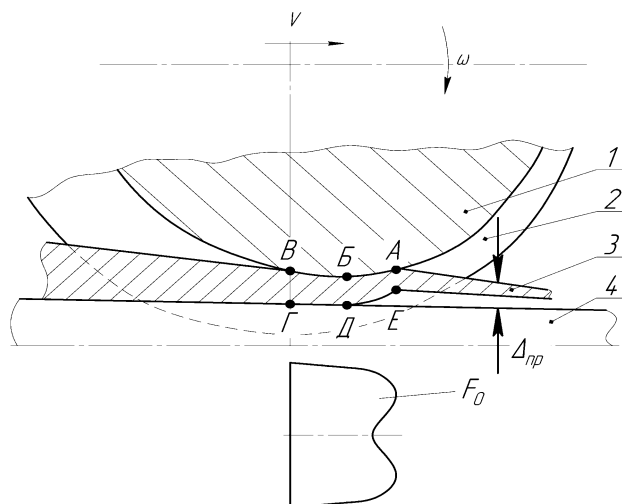


Рисунок 4 – Миттєвий осередок металу при холодному пільгерному деформуванні труби зворотним ходом кліті: - 1 – валок; - 2 – рівчак валка; - 3 – труба; - 4 оправка; АБВГДЕ - миттєвий осередок деформування; - F_0 горизонтальна проекція поверхні контакту рівчачка валка з трубою без сплюснення валків, - зазор між внутрішньою поверхнею труби та оправкою, що з'являється після подачі труби - заготовки .

При зворотному ході по зрівнянню з процесом деформування прямим ходом направлення обертання валків протилежне; форма горизонтальної проекції осередку деформування подібна процесу деформування прямим ходом, але протилежно направлена; метал при зворотному ході кліті має лінійний зсув в сторону протилежну поступової швидкості центра валка; метал не має змоги зсуватися в напрямку поступової швидкості центра валка.

Слід зазначити, що при деформуванні зворотним ходом умови деформування в миттєвому осередку деформації на контакті металу з нерухомою оправкою такі, що стиснення металу в миттєвому осередку деформування є більш інтенсивним ніж при прямому. На це вказують також дослідження де показано, що при прокатці при застосуванні додаткової подачі при зворотному ході кліті зерно подрібнюється в більшій мірі [5]

ВИСНОВКИ

В останнє півтора десятиліття в Україні встановлені новітні стани ХПТ 6-20, ХПТ 2-40, ХПТ 20 -45, КРВ25, LG20. Особливість таких станів є в тому, що вони мають можливість виконувати процес за різними варіантами режимів подачі та повороту. Найбільший інтерес представляє процес з подачею та поворотом перед деформування як прямим так і зворотним ходом кліті. Але процес деформування зворотним ходом є мало вивченим.

В роботі набуло розвитку дослідження осередку деформування труби в миттєвому осередку деформування між нерухомою оправкою та валками, що перекачуються при зворотному ході кліті і висвітлюються відмінності від процесу деформування при прямому ході кліті.

Отримані результати дослідження можуть бути корисними для технологів виробництв холоднодеформованих труб при проектуванні маршрутів прокатки, виборі варіантів застосування сполучень подачі та повороту при прямому та зворотному ході кліті, розробок калібровок інструменту процесу холодного деформування на новітніх станах холодної прокатки труб відповідального призначення з підвищеними якісними показниками.

Список використаних джерел

1. 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>.
2. 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>.
3. Григоренко В.У., Пилипенко С.В., Головченко О.П. (2010). Розвиток методу розрахунку параметрів процесу холодної пильгерної прокатки труб і калібровки інструмента: монографія. Дніпропетровськ: Пороги. 120 с.
4. Григоренко В.У., Іскрижицький Д.В. (2024). Складові методу визначення раціонального кінематичного режиму в осередку пластичного деформування металу у холодної прокатці труб валками. Міжвузівський тематичний збірник наукових праць. Наука та виробництво №28, 2024. ПДТУ. С. 6-12. doi.org/10.31498/2522-9990282024318309.
5. 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>

Hrygorenko V.U., Iskrizhyskyi D.V.

RESEARCH OF THE COLD PIPE ROLLING CENTER DURING THE CAGE'S REVERSE MOVEMENT

Ukraine produces significant volumes of cold-formed pipes for critical purposes.

In the last decade and a half, the process of replacing old-fashioned cold-rolling pipe mills with modern KPW, LG, and KPT mills has begun.

A feature of the modern KPT 6-20, KPT 2-40, KPT 20-45, KPW25, and LG20 mills is that they have the ability to perform the process in various feed and rotation modes, including the option of feed and rotation before deformation in both direct and reverse motion of the stand. At the same time, the process of deformation in reverse motion is poorly studied.

Such mills are installed to ensure the ability to produce pipes according to regulated quality indicators according to modern standards and sufficient productivity and, accordingly, to ensure the competitiveness of Ukrainian manufacturers.

The work has developed a study of the deformation center of the pipe between the stationary mandrel and the rolls that roll during the reverse movement of the stand and indicates the differences from the deformation process during the forward movement of the stand.

The results obtained are necessary for the design of rolling routes, the selection of options for using feed and rotation combinations during the forward and reverse movement of the stand, the development of calibrations of the cold deformation process tool on the latest cold rolling mills for critical purposes with increased quality indicators.

Keywords: latest cold rolling mills for pipes, feed and rotation combinations, instantaneous deformation center, metal-roll contact, metal-mandrel contact.

Стаття надійшла 12.05.2025р.