

Міністерство освіти і науки України  
Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

Кваліфікаційна наукова  
праця на правах рукопису

**ГОЛОВЧЕНКО ОЛЕКСІЙ ПАВЛОВИЧ**

УДК 669.07:539.374.2

ДИСЕРТАЦІЯ

**ВПЛИВ ДРІБНОСТІ ХОЛОДНОГО ПЛАСТИЧНОГО ДЕФОРМУВАННЯ  
ПІЛЬГЕРНОЮ ПРОКАТКОЮ НА МІКРОСТРУКТУРУ ТА ТОЧНІСТЬ  
ТРУБ**

Спеціальність 132 – Матеріалознавство

Галузь знань – Інженерія, виробництво та будівництво

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії. Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

\_\_\_\_\_ О.П. ГОЛОВЧЕНКО

Наукові керівники:

Григоренко Володимир Устинович, доктор технічних наук, професор, лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки

Алексєєнко Сергій Вікторович, доктор технічних наук, професор

Дніпро – 2025

## АНОТАЦІЯ

*Головченко О.П.* Вплив дрібності холодного пластичного деформування пільгерною прокаткою на мікроструктуру та точність труб. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії в галузі знань G – Інженерія, виробництво та будівництво спеціальності G8 Матеріалознавство. – Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, 2025.

Холоднодеформовані труби застосовують в виробках відповідального призначення, наприклад, в авіа-, ракето-, судно-, машинобудуванні та енергетиці.

Основними параметрами якості холоднодеформованих труб є мікроструктура та механічні властивості їх металу, вимоги до поперечної різностінності та овальності труб.

Дисертаційну роботу присвячено теоретичному аналізу та новому розв'язанню науково-прикладної задачі підвищення службових характеристик холоднодеформованих труб відповідального призначення, що полягає у визначенні впливу на мікроструктуру металу та поперечну різностінність і овальність труб дрібності деформування, яка змінюється при чотирьох варіантах виконання подачі та повороту при деформуванні прямим та зворотнім ходом кліті холодною пільгерною прокаткою на сучасних станах.

Стани холодної прокатки труб старих конструкцій дозволяли реалізовувати лише один варіант виконання подачі та повороту, коли подачу виконували перед деформуванням прямим ходом і поворот перед деформуванням зворотнім ходом. Поява в Україні сучасних станів, конструкція яких дозволяє змінювати дрібність деформування за рахунок різних варіантів виконання сполучень подачі та повороту, дає можливість впливати на мікроструктуру та точність труб.

В роботі виконано комплексне експериментальне дослідження впливу дрібності деформування на мікроструктуру, механічні властивості та точність

труб на новому сучасному стані холодної прокатки труб ХПТ 6-20, при чотирьох варіантах сполучень подачі й повороту: 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.

Експерименти проведено під час прокатки труб зі сталі 08X18H10T, яка є найбільш поширеною у виробництві корозійностійких труб.

Для холодного пластичного деформування пільгерною прокаткою при умовах однакового відносного обтиску по труби - заготовки за один подвійний хід кліті комплексно для чотирьох варіантів виконання подачі та повороту:

1. Вперше встановлена експериментальна залежність для холодного пластичного деформування сталі 08X18H10T пільгерною прокаткою по маршруту 25x2,5–16x1,5 (в мм) з зменшення розміру зерен мікроструктури на 2 бали біля внутрішньої поверхні труб порівняно з зернами мікроструктури біля зовнішньої поверхні при збільшенні дрібності деформування в 4 рази з 16 разів до 48 разів.

Дрібність деформування збільшувалась за рахунок пластичного деформування металу при подачі 2 мм, перед прямим та 2 мм перед зворотним ходом та за рахунок деформування в двох зонах, одна при деформуванні прямим ходом і одна при деформуванні зворотним ходом на відміну від деформування з подачею 4 мм тільки прямим ходом при однаковій загальній деформації труби 0,52.

Це покращує експлуатаційних характеристики труб, пов'язаних зі зменшенням розмірів зерен біля внутрішньої поверхні таких як міцність та корозійна стійкість.

2. Набули подальшого розвитку залежності, що встановлені експериментально при холодному пластичному деформуванні сталі 08X18H10T пільгерною прокаткою по маршруту 25x2,5–16x1,5 (в мм) з впливу процесу прокатки з підвищеною дрібністю деформації в 4 рази, з 24 до 96, з 19 до 76, з 16 до 64, з 14 до 56 та з різними величинами подачі відповідно 2+2; 2,5+2,5; 3+3; 3,5+3,5 (в мм) та 4, 5, 6, 7 (в мм) на поперечну різностінність та овальність труб.

Дрібність деформування збільшувалась за рахунок пластичного деформування металу при подачі перед прямим та перед зворотним ходом, що зменшена в два рази та за рахунок додаткового деформування зворотним ходом на відміну від деформування тільки прямим ходом при однаковій загальній деформації труби 0,52. Поперечна різностінність та овальність зменшувалися при цьому в 1,5 - 2 рази.

Використання цих залежностей дають змогу вибирати раціональні умови холодної прокатки з точки зору забезпечення якості труб. Це може привести також до можливості випуску труб нового рівня якості по поперечну різностінності та овальності, так як досягнутий рівень нижчий ніж у вимогах стандартів та норм, що діють у теперішній час.

Додатково встановлено зменшення майже у два рази величини розкиду середнього діаметру по довжині труб за рахунок збільшення дрібності деформування при додатковій подачі і повороті перед деформуванням прямим ходом та зворотним ходами кліті на відміну від варіанту з подачею перед прямим та поворотом перед зворотним ходом, що забезпечує підвищену якість труб по овальності.

Отримані також додаткові експериментальні статистичні залежності зміни величини поперечної різностінності труб від труби-заготовки до готової труби, які були прокатані при найбільш раціональному режимі виконання подачі та повороту, коли подачу та поворот виконують перед деформуванням прямим та перед деформуванням зворотним ходом.

Використання цих залежностей дають змогу підвищувати службові характеристики труб, що пов'язані з мікроструктурою та точністю труб при виборі більш ефективних раціональних варіантів холодної прокатки. Це може привести також до можливості випуску труб нового рівня якості по мікроструктурі, поперечній різностінності та овальності, так як досягнутий рівень кращий ніж у вимогах стандартів та норм, що діють у теперішній час.

Отримані результати роботи можуть бути використані при виборі варіанту сполучення подачі та повороту при розробці маршрутів, калібровки інструменту при виробництві труб холодним пластичним деформування пільгерною прокаткою.

Результати роботи прийнято для використання на підприємстві ЗАТ «САНТРАВІС ПРОДАКШН ЮКРЕЙН».

Результати дисертаційної роботи використано у навчальному процесі Національного технічного університету «Дніпровська політехніка».

**Ключові слова:** корозійностійка низьковуглецева високолегована сталь, холодна прокатка труб, пластична деформація, внутрішня і зовнішня поверхня, мікроструктура, зерно, механічні властивості, параметри точності труб, математична модель.

#### ANNOTATION

Golovchenko O.P. The influence of the fineness of cold plastic deformation by pilger rolling on the microstructure and accuracy of pipes. – Qualification scientific work in the form of a manuscript.

Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in the field of knowledge G – Engineering, production, construction in the specialty G8 – Materials Science.

– National Technical University “Dnipro Polytechnic”, Dnipro, 2025.

Cold-deformed pipes are used in products of critical purpose in aircraft, rocket, shipbuilding, mechanical engineering and energy.

The main quality parameters of cold-deformed pipes are the microstructure and mechanical properties of their metal, requirements for difference and deviations of pipe diameter.

The dissertation work is devoted to the theoretical analysis and a new solution to the scientific and applied problem of increasing the service characteristics of cold-deformed pipes for critical purposes, which consists in determining the influence on the microstructure of the metal and the transverse wall difference and ovality of the pipes of the fineness of deformation, which changes with four variants of feeding and turning during deformation by direct and reverse motion of the stand by cold pilger rolling on modern mills.

Cold rolling mills of old designs allowed only one option for feeding and turning, when feeding was performed before deformation by a forward stroke and turning before deformation by a reverse stroke. The emergence in Ukraine of modern mills, the design of which allows changing the fineness of deformation due to different variants of execution of feeding and turning combinations, makes it possible to influence the microstructure and accuracy of pipes.

The work has carried out a comprehensive experimental study of the influence of the fineness of deformation on the microstructure, mechanical properties and accuracy of pipes on a new modern cold rolling mill for pipes KhPT 6-20, with four variants of feed and rotation combinations: option 1 - pipe feeding is carried out before deformation by direct movement of the stand, and pipe rotation is carried out before deformation by reverse movement of the stand; option 2 - pipe feeding is carried out before deformation by direct movement of the stand, and pipe rotation is carried out before deformation by direct and reverse movement of the stand; option 3 - pipe feeding is carried out before deformation by direct and reverse movement of the stand, and rotation is carried out before deformation by reverse movement of the stand; option 4 - pipe feeding and rotation are carried out before deformation by direct and reverse movement of the stand.

The experiments were carried out during the rolling of pipes from steel 08X18N10T, which is the most common in the production of corrosion-resistant pipes.

For cold plastic deformation by pilger rolling under the conditions of the same relative crimping of the pipe - billet in one double run of the stand, comprehensively for four variants of feed and rotation combinations:

1. For the first time, an experimental dependence has been established for cold plastic deformation of steel 08X18N10T by pilger rolling along the route 25x2.5–16x1.5 (in mm) with a decrease in the size of the microstructure grains by 2 points near the inner surface of the pipes compared to the microstructure grains near the outer surface with an increase in the fineness of deformation by 4 times from 16 times to 48 times.

The fineness of deformation was increased due to plastic deformation of the metal at a feed of 2 mm, before the forward stroke and 2 mm before the reverse stroke and due to deformation in two zones, one during the forward stroke deformation and one during the reverse stroke deformation in contrast to the deformation with a feed of 4 mm only in the forward stroke at the same total pipe deformation of 0.52.

This improves the performance characteristics of the pipes associated with a decrease in grain size near the inner surface, such as strength and corrosion resistance.

- 2 The dependences established experimentally during cold plastic deformation of 08X18N10T steel by pilger rolling along the route 25x2.5–16x1.5 (in mm) on the influence of the rolling process with increased fineness of deformation by 4 times, from 24 to 96, from 19 to 76, from 16 to 64, from 14 to 56 and with different feed rates, respectively 2+2; 2.5+2.5; 3+3; 3.5+3.5 (in mm) and 4, 5, 6, 7 (in mm), on the transverse wall difference and ovality of the pipes were further developed.

The fineness of deformation increased due to plastic deformation of the metal during feeding before the direct and before the reverse stroke, which was reduced by two times and due to additional deformation by the reverse stroke, in contrast to

deformation only by the direct stroke with the same total pipe deformation of 0.52. The cross-sectional unevenness and ovality were reduced by 1.5 - 2 times.

It was also established that the average diameter spread along the length of the pipes was reduced by almost two times due to an increase in the fineness of deformation with additional feeding and turning before deformation by direct stroke and reverse strokes of the stand, in contrast to the option with feeding before direct and turning before reverse stroke, which ensures increased quality of pipes in terms of ovality.

Additional experimental statistical dependences of the change in the value of the transverse wall difference of pipes from the billet pipe to the finished pipe, which were rolled under the most rational feeding and turning regime, when feeding and turning are performed before deformation by direct stroke and before deformation by reverse stroke, were also obtained.

The use of these dependencies allows you to choose rational conditions for cold rolling from the point. This can also lead to the possibility of producing pipes of a new level of quality in terms of transverse wall difference and ovality, since the achieved level is lower than the requirements of standards and norms in force at the present time.

The obtained results of the work can be used when choosing a combination of feed and rotation when developing routes, tool calibration in the production of pipes by cold plastic deformation by pilger rolling. A mathematical and structural model has also been developed for use in the design of rolling technologies.

The results of the work have been accepted for use at the enterprise CJSC "SANTRAVIS PRODUCTION UKRAINE".

The results of the dissertation work were used in the educational process of the National Technical University "Dnipro Polytechnic"

Keywords: corrosion-resistant low-carbon high-alloy steel, cold rolling of pipes, plastic deformation, internal and external surface, microstructure, grain, mechanical properties, pipe accuracy parameters, mathematical model.

## СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

### Статті у наукових фахових виданнях:

1. 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>
2. О.П. Головченко. (2023). Дослідження впливу режиму повороту труб в процесі холодної прокатки на мікроструктуру, механічні властивості та точності. *Збірник наукових праць НГУ. – Дніпро: Національний ТУ «Дніпровська політехніка»*, (75), 127-135. <https://doi.org/10.33271/crpnmu/75.127>
3. Головченко О.П., Григоренко В.У., & Алексеєнко С.В. (2024). Розвиток методу визначення плануємої поперечної різностінності холоднокатаних труб на основі експериментальних досліджень при різних варіантах виконання подачі та повороту. *Вісник «Приазовського Державного Технічного Університету. Серія: Технічні науки. – Дніпро: Державний вищий навчальний заклад «ПДТУ»*, (48), 59-65. <https://doi.org/10.31498/2225-6733.48.2024.310682>.

### Статті у виданнях, що включені до науково-метричної бази SCOPUS:

1. 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>

### Монографії:

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.
2. Головченко О.П., Григоренко В.У., & Пилипенко С.В. (2017). *Розвиток методу розрахунку величини розвалки рівчака калібрів станів ХПТ*.

*Пластична деформація металів. Колективна монографія. 198-202. - ISBN 978-966-291-124-8.*

**Патент України на корисну модель:**

1. Пат. 26279 Україна, МПК В 21 С 23/00, Спосіб виготовлення безшовних труб з мартенситно-феритної сталі/ Терещенко А.А (UA), Куценко М.О. (UA), Чекмарьов В.В. (UA), Винокуров М.В. (UA), Ковбаса І.Г. (UA), Чаплицький В.П. (UA), Заплюсвичка Р.В. (UA), Трегуб А.С. (UA), Шпак О.В. (UA), Головченко О.П. (UA), Гречаник Л.В. (UA) [та ін.]; власник ЗАТ «СЕНТРАВІС ПРОДАКШН ЮКРЕЙН». – № 200705320; заявл. 15.05.2007; опубл. 10.09.2007.

**Матеріали конференцій:**

1. Головченко О.П., & Григоренко В.У. (2022). Дослідження питання з використання у виробництві труб із корозійностійких сталей процесу холодної прокатки з подвійною подачею та поворотом. *«Наукова весна» 2022: матеріали XII Всеукраїнської науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених, Дніпро (23–24 травня 2022 року)* – Дніпро : НТУ «ДП», 229-231.

2. Головченко О.П., & Григоренко В.У. (2022). Експериментальне дослідження зміни поперечної різностінності труб на сучасних станах холодної прокатки з виконанням подвійної подачі та повороту. *«Наукова весна» 2023: матеріали XIII Всеукраїнської науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених, Дніпро (23–24 травня 2022 року)* – Дніпро : НТУ «ДП», 229-231.

3. Головченко О.П., Григоренко В.У., & Алексеєнко С.В. (2023). Експериментальні дослідження впливу збільшення дрібності деформації на мікроструктури та механічні властивості холоднокатаних труб. *Міжнародна наукова конференція «Новітні досягнення в науці та техніці і їх значення для суспільства», Ченстохова (6–7 грудня 2023 року)* – Ченстохова: «Академія Полонії».

**Матеріали конференції, що включена до науково-метричної бази SCOPUS:**

1.O.P. Golovchenko, & V.U. Grigorenko (2024). The development of the method is based on the feeding mode and rotation during cold rolling to improve the accuracy of the pipes and ensure the regulated microstructure. 17th SYMPOSIUM „MATERIALS AND METALLURGY“ supplement of “Book of Abstracts” ISSN 0543-5846 METABK 63(3-4) 477-492 (2024).

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	16
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ НАУКОВИХ РОБІТ З ВПЛИВУ ДРІБНОСТІ ДЕФОРМУВАННЯ НА МІКРОСТРУКТУРУ ТА ТОЧНІСТЬ У ПРОЦЕСІ ХОЛОДНОЇ ПРОКАТКИ ТРУБ З РІЗНИМИ ВАРІАНТАМИ ПОДАЧІ ТА ПОВОРТУ .....	22
1.1 Короткий нарис з стану та розвитку виробництва холоднодеформованих труб в Україні .....	22
1.2 Робочий конус деформування, деформаційні характеристики та дрібність деформування .....	25
1.3 Особливості нових станів для холодної пільгерної прокатки труб, що дають можливість деформування з збільшеною дрібністю деформації .....	30
1.4 Аналіз робіт з досліджень структурного стану металу труб та їх механічних властивостей при холодному пластичному деформуванню пільгерною прокаткою .....	33
1.5 Аналіз робіт з підвищення точності труб при холодній прокатці труб ..	40
Висновки до розділу 1.....	43
РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ З ВПЛИВУ ДРІБНОСТІ ДЕФОРМУВАННЯ НА МІКРОСТРУКТУРУ ПРИ ХОЛОДНІЙ ПРОКАТЦІ ТРУБ ЗА ПІДВИЩЕНОЮ ДРІБНІСТЮ ДЕФОРМУВАННЯ З РІЗНИМИ ВАРІАНТАМИ ПОДАЧІ ТА ПОВОРТУ .....	46
2.1 Отримання експериментальних залежностей з впливу на мікроструктуру металу та механічних властивостей збільшення дрібності деформування за рахунок додаткової подачі .....	46
2.2 Отримання експериментальних залежностей з впливу варіантів виконання повороту на мікроструктуру металу труб.....	58
Висновки до розділу 2 .....	63
РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ З ВПЛИВУ ДРІБНОСТІ ДЕФОРМУВАННЯ НА ТОЧНІСТЬ У ПРОЦЕСІ ХОЛОДНІЙ ПРОКАТЦІ ТРУБ З РІЗНИМИ ВАРІАНТАМИ ПОДАЧІ ТА ПОВОРТУ .....	65

3.1 Отримання експериментальної залежності за дослідженням поперечної різностінності труб при збільшенні дрібності деформування при різних варіантах виконання подачі та повороту .....	65
3.2 Отримання експериментальних залежності за дослідження овальності та розкиду діаметра труб по довжині труби при збільшенні дрібності деформування при різних варіантах здійснення подачі та повороту .....	72
3.3 Залежності з розкиду поперечної різностінності у пакеті прокатаних труб за варіантом з подачею та поворотом при деформування прямим а також зворотним ходом кліті .....	79
3.4 Отримання залежності по зміні поперечної різностінності від труби-заготовки до готової труби за варіантом з подачею та поворотом при деформування прямим а також зворотним ходом кліті .....	80
3.5 Розробка залежності визначення розвалки для процесу прокатки зворотнім ходом кліті .....	83
Висновки до розділу 3 .....	84
<b>РОЗДІЛ 4. РЕКОМЕНДАЦІЇ З ЗАСТОСУВАННЯ ЗАЛЕЖНОСТЕЙ З ВПЛИВУ ДРІБНОСТІ ДЕФОРМУВАННЯ НА МІКРОСТРУКТУРУ ТА ТОЧНІСТЬ У ПРОЦЕСІ ХОЛОДНОГО ПІЛЬГЕРНОЇ ПРОКАТКИ ТРУБ ДЛЯ РОЗРОБОК ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОБНИЦТВА .....</b>	<b>86</b>
4.1 Отримання Патенту України на корисну модель з відмінною ознакою з застосування найбільш раціонального варіанту 4 сполучення виконання подачі та повороту .....	86
4.2 Математично-структурна модель створеного методу визначення режиму подачі та повороту для забезпечення необхідної точності труб .	90
4.3 Вибір з раціональних параметрів процесу – співвідношення подач, кутів повороту, впливу товстостінності труб .....	91
4.4 Аналіз якості прокатаних партій труб із застосуванням подачі та повороту перед прямим та зворотним ходом кліті.....	91
Висновки до розділу 4 .....	101

ВИСНОВКИ.....	103
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	105
ДОДАТОК А. Довідка про прийняття до застосування результатів дисертаційної роботи «Вплив дрібності холодного пластичного деформування пільгерною прокаткою на мікроструктуру та точність труб» аспіранта НТУ «Дніпровська політехніка» Головченка Олексія Павловича ..	120
ДОДАТОК Б. Акт впровадження результатів дисертаційної роботи аспіранта Головченко О.П. в навчальний процес Національного технічного університету «Дніпровська політехніка» .....	121
ДОДАТОК В. Мікроструктура зовнішньої поверхні по варіанту 1 в поперечному та повздовжньому перерізі при збільшенні 200х.....	122
ДОДАТОК Г. Мікроструктура центральної поверхні по варіанту 1 в поперечному та повздовжньому перерізі при збільшенні 200х.....	123
ДОДАТОК Д. Мікроструктура внутрішньої поверхні по варіанту 1 в поперечному та повздовжньому перерізі при збільшенні 200х.....	124
ДОДАТОК Е. Мікроструктура зовнішньої поверхні по варіанту 2 в поперечному та повздовжньому перерізі при збільшенні 200х.....	125
ДОДАТОК Ж. Мікроструктура центральної поверхні по варіанту 2 в поперечному та повздовжньому перерізі при збільшенні 200х.....	126
ДОДАТОК З. Мікроструктура внутрішньої поверхні по режиму 2 в поперечному та повздовжньому перерізі при збільшенні 200х.....	127
ДОДАТОК И. Мікроструктура зовнішньої поверхні по варіанту 3 в поперечному та повздовжньому перерізі при збільшенні 200х.....	128
ДОДАТОК К. Мікроструктура центральної поверхні по варіанту 3 в поперечному та повздовжньому перерізі при збільшенні 200х.....	129
ДОДАТОК Л. Мікроструктура внутрішньої поверхні по варіанту 3 в поперечному та повздовжньому перерізі при збільшенні 200х.....	130
ДОДАТОК М. Мікроструктура зовнішньої поверхні по варіанту 4 в поперечному та повздовжньому перерізі при збільшенні 200х.....	131
ДОДАТОК Н. Мікроструктура центральної поверхні по варіанту 4 в	

поперечному та повздовжньому перерізі при збільшенні 200х.....	132
ДОДАТОК П. Мікроструктура внутрішньої поверхні по варіанту 4 в поперечному та повздовжньому перерізі при збільшенні 200х.....	133
ДОДАТОК Р. Таблиця 3.5 – Точність товщини труби заготовки 33,7х3,2 зі сплавом 08Х18Н10Т.....	134
ДОДАТОК С. Таблиця 3.6 – Точність товщини труби зі сплавом 08Х18Н10Т, прокатоної на стані КРВ-25 по маршруту 33,7х3,2 - 16х1,5 (подача 2,8+2,8 число подвійних ходів 280).....	135
ДОДАТОК Т. Таблиця 4.2 - Точність величини діаметру труб прокатаних з подачею та поворотом в обох положеннях кліті на стані ХПТ-32 (пакет № 3, діаметр труби 19,05 мм, товщина стінки 2,1 мм).....	136
ДОДАТОК У. Таблиця 4.4 - Точність величини товщини стінки труб прокатаних з подачею та поворотом в обох положеннях кліті на стані ХПТ-32 (пакет № 3, діаметр труби 19,05 мм, товщина стінки 2,1 мм).....	137
ДОДАТОК Ф. Таблиця 4.6 - Точність діаметру труб пакету № 4 (труби розміром 19,05х2,11 мм, прокатані на стані ХПТ – 32 з подачею перед переднім рухом, поворотом перед зворотним).....	138
ДОДАТОК Х. Таблиця 4.8 - Точність величини товщини стінки труб пакету № 3 (труби розміром 19,05х2,11 мм, прокатані на стані ХПТ – 32 з подачею перед переднім рухом, поворотом перед зворотним).....	139

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Мікроструктура металу та точність геометричних параметрів з різностінності та овальності труб є основними параметрами їх якості.

Найбільш розповсюдженим варіантом здійснення холодного пластичного пільгерного деформування є процес коли після подачі впродовж прямого ходу обтискується основана частина об'єму подачі, а при зворотному – метал, який знаходився у випусках ручаю калібру (розповсюджений варіант 1).

Насущною є задача з поліпшення службових характеристик труб відповідального призначення таких як корозійна стійкість та зміцнення поверхневого шару металу.

Зараз в Україні працюють нові стани холодної прокатки труб: ХПТ 40-8, де подача та поворот труби здійснюється перед прямим та зворотним ходами кліті, та ХПТ 6-20, ХПТ10-45 і КРВ-25, LG-25, типу LG, де є по конструкції станів можливість виконувати різні варіанти сполучень подачі та повороту перед деформуванням впродовж прямого та зворотного ходу кліті.

В роботі досліджується чотири варіанти сполучень:

- розповсюджений варіант 1;
- варіант 2 – з додатковим до варіанту 1 поворотом перед деформуванням прямим ходом:
- варіант 3 – з подачею перед прямим та зворотним ходом і поворотом перед зворотним;
- варіант 4 – подачу та поворот здійснюють перед деформуванням прямим та перед деформуванням зворотним ходом.

Варіант 1 застосовують з часів коли ще були стани холодної прокатки труб старих модифікацій з одним варіантом здійснення подачі та повороту. Застосування нових режимів 2 та 3 збільшують дрібність деформування металу в миттєвому осередку деформування по зрівнянню з варіантом 1.

До даної роботи не було достатньої бази результатів порівняльно-експериментального визначення впливу збільшення дрібності деформування за серед застосування нових чотирьох варіантів здійснення подачі та повороту.

Потреба в таких результатах обґрунтовується необхідністю забезпечення регламентованої точності труб за нормами та стандартами, де допуски по номінальному діаметру та стінці є меншими.

Завдяки введення в виробництво сучасних станів холодного пільгерного деформування труб з'явилася реальна можливість експериментального визначення залежностей з впливу дрібності деформування на мікроструктуру, механічні властивості, точність труб.

В цілому метою роботи є визначення впливу дрібності холодного пластичного деформування пільгерною прокаткою на мікроструктуру та поперечну різностінність і овальність труб при різних варіантах виконання сполучень подачі і повороту при деформуванні прямим та зворотним ходом кліті стану і визначення раціональних варіантів для підвищення службових характеристик холоднодеформованих труб відповідального призначення, а також отримання відповідних залежностей для використання на практиці виробництва холоднодеформованих труб.

**Зв'язок з науковими програмами, планами, темами.** Виконання дисертаційної роботи пов'язано з тематичними планами кафедри технологій машинобудування та матеріалознавства Національного технічного університету «Дніпровська політехніка». Дослідження виконано частково також в рамках тематики держбюджетної науково-дослідної роботи ДР № 0112U000641 Національної металургійної академії України. Автор був виконавцем зазначеної роботи.

**Мета і задачі дослідження.** Метою дослідження є визначення впливу дрібності деформування мікроструктури металу та основні параметри точності труб при чотирьох варіантах здійснення процесу холодного пільгерного деформування труб.

Для досягнення поставленої мети у роботі було вирішено наступні задачі:

- виконати аналіз наукових робіт з впливу дрібності деформування при різних варіантах здійснення подачі та повороту на мікроструктуру металу та параметри точності труб при холодному пільгерному деформуванні;
- виконати експериментальне дослідження мікроструктури, механічних властивостей труб на новому сучасному стані холодного пільгерного деформування труб, на різних варіантах подачі й повороту на трубах з сталі 08X18H10T;
- дослідити експериментально вплив додаткової подачі та додаткового повороту на мікроструктуру, механічні властивості труб;
- дослідити комплексно вплив чотирьох варіантів здійснення подачі та повороту на параметри точності труб та визначати найбільш раціональний режим;
- виконати експериментальні дослідження розкиду середньої стінки та різностінності труб у пакеті і зміни величини різностінності труб від труби-заготовки до готової труби для варіанту виконання подачі та повороту з найбільшими значеннями дрібності деформування;
- передати виконані розробки до застосування при виробництві холоднодеформованих труб, що виробляють за стандартами EN 10216-5, EN 10305-1, ASTM A 213 та для труб автомобільного сегменту.

**Об'єкт дослідження.** Обробка металів холодним пластичним деформуванням в процесі прокатки труб.

**Предмет дослідження.** Вплив дрібності пластичного деформування на мікроструктуру металу та точність труб при різних режимах здійснення подачі та повороту при холодній прокатці труб для створення технологій, що забезпечують зниження відхилень по діаметру та стінці.

**Методи дослідження.** Експериментальні дослідження проведено на діючому промисловому устаткуванні в умовах сучасного підприємства.

Застосовували обладнання та інструмент, що мали метрологічне забезпечення. Обробка експериментальних даних виконана із застосуванням методів математичної статистики.

**Наукова новизна одержаних результатів.** Для холодного пластичного деформування пільгерною прокаткою при умовах однакового відносного обтиску по труби - заготовки за один подвійний хід кліті комплексно для чотирьох варіантів виконання подачі та повороту:

1. Вперше встановлена експериментальна залежність для холодного пластичного деформування сталі 08X18H10T пільгерною прокаткою по маршруту 25x2,5–16x1,5 (в мм) з зменшення розміру зерен мікроструктури на 2 бали біля внутрішньої поверхні труб порівняно з зернами мікроструктури біля зовнішньої поверхні при збільшенні дрібності деформування в 4 рази з 16 разів до 48 разів.

Дрібність деформування збільшувалась за рахунок пластичного деформування металу при подачі 2 мм, перед прямим та 2 мм перед зворотним ходом та за рахунок деформування в двох зонах, одна при деформуванні прямим ходом і одна при деформуванні зворотним ходом на відміну від деформування з подачею 4 мм тільки прямим ходом при однаковій загальній деформації труби 0,52.

Це покращує експлуатаційних характеристики труб, пов'язаних зі зменшенням розмірів зерен біля внутрішньої поверхні таких як міцність та корозійна стійкість.

2. Набули подальшого розвитку залежності, що встановлені експериментально при холодному пластичному деформуванні сталі 08X18H10T пільгерною прокаткою по маршруту 25x2,5–16x1,5 (в мм) з впливу процесу прокатки з підвищеною дрібністю деформації в 4 рази, з 24 до 96, з 19 до 76, з 16 до 64, з 14 до 56 та з різними величинами подачі відповідно 2+2; 2,5+2,5; 3+3; 3,5+3,5 (в мм) та 4, 5, 6, 7 (в мм) на поперечну різностінність та овальність труб.

Дрібність деформування збільшувалась за рахунок пластичного деформування металу при подачі перед прямим та перед зворотним ходом, що зменшена в два рази та за рахунок додаткового деформування зворотним ходом на відміну від деформування тільки прямим ходом при однаковій загальній деформації труби 0,52. Поперечна різностінність та овальність зменшувалися при цьому в 1,5 - 2 рази.

Використання цих залежностей дають змогу вибирати раціональні умови холодної прокатки з точки зору забезпечення якості труб. Це може привести також до можливості випуску труб нового рівня якості по поперечну різностінності та овальності, так як досягнутий рівень нижчий ніж у вимогах стандартів та норм, що діють у теперішній час.

#### **Практичне значення одержаних результатів.**

В дисертаційній роботі визначено вплив варіантів сполучень подачі та повороту при деформуванні прямим та зворотним ходом кліті стану на мікроструктуру та поперечну різностінність і овальність труб, що потрібно для підвищення службових характеристик холоднодеформованих труб відповідального призначення при їх виробництві на нових сучасних станах .

Також це потрібно для використання на практиці виробництва на нових сучасних станах холодної прокатки труб при проектування режимів холодного пільгерного деформування для забезпечення регламентованих показників по мікроструктурі та по поперечній різностінності та овальності труб відповідального призначення при більш ефективному без зайвих витрат металу та часу їх виробництва.

Результати дисертаційної роботи прийняті для практичного застосування на підприємстві ЗАТ «САНТРАВИС ПРОДАКШН ЮКРЕЙН», що підтверджено відповідною довідкою (див. додаток А).

Результати дисертаційної роботи використано у навчальному процесі кафедри «Технологій машинобудування та матеріалознавства» Національного технічного університету «Дніпровська політехніка» при викладанні дисципліни «Закономірності формування структури матеріалів» для здобувачів освітньо-

наукової програми «Матеріалознавство» спеціальності 132 «Матеріалознавства» (третій освітньо-науковий рівень) (див. додаток Б).

**Особистий внесок здобувача.** Експериментальні результати дисертаційної роботи були отримані здобувачем особисто. Обробка результатів також була виконана самостійно. Приймав участь в постановці досліджень та в аналізі результатів експериментів результати яких опубліковані з науковими керівниками та іншими співавторами.

**Апробація результатів роботи.** Матеріали дисертаційної роботи представлені на: «XII Всеукраїнської науково-технічної конференції аспірантів та молодих вчених «Наукова весна» 2022р.; «XIII Всеукраїнської науково-технічної конференції аспірантів та молодих вчених «Наукова весна» 2023р.»; Міжнародній науковій конференції «Новітні досягнення в науці та техніці і їх значення для суспільства» грудень 2023р Польща.»; «17-й симпозіум «Матеріалознавство та металургія» 2024р. Хорватія».

**Публікації.** Основні положення дисертації опубліковані в 6 наукових працях. Серед них: 1 стаття у виданні, що індексується Scopus, 3 статті у фахових виданнях, що відповідають переліку ДАК МОН України, 2 монографії.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертація складається з вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних літературних джерел з 105 найменувань. Загальний обсяг роботи складає 138 сторінок, у тому числі 39 рисунків і 19 таблиць.

Автор висловлює щире подяку проф. Григоренко В.У., проф. Алексеенко С.В. та ін. за кропітку та активне наукове керівництво у проведенні досліджень.

# **РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ НАУКОВИХ РОБІТ З ВПЛИВУ ДРІБНОСТІ ДЕФОРМУВАННЯ НА МІКРОСТРУКТУРУ ТА ТОЧНІСТЬ У ПРОЦЕСІ ХОЛОДНОЇ ПРОКАТКИ ТРУБ З РІЗНИМИ ВАРІАНТАМИ ПОДАЧІ ТА ПОВОРОТУ**

## **1.1 Короткий нарис з стану та розвитку виробництва холоднодеформованих труб в Україні**

Перший розділ стосується аналітичного короткого огляду з стану виробництва холодним пільгерним деформуванням труб відповідального призначенні на українських виробничих підприємствах, представлення процесу холодного пільгерним деформування і огляду стандартів на холоднодеформовані труби та сучасних станів на яких вони виробляються, наукових публікацій з впливу дрібності деформування на мікроструктуру та параметри точності отриманих холодним пільгерним деформуванням.

Тонкостінні довгомірні труби мають широке використання як конструкційний матеріал в виробках відповідального призначення в авіабудуванні, в ракетобудуванні, в космічній техніці, в виробництві приборів та в суднобудуванні, і в машинобудуванні та в інших галузях промисловості.

Матеріалом цих труб є різноманітні сталі і, в тому числі, високолеговані. Використовують також широкий спектр сплавів.

Холоднодеформовані труби для цих галузей промисловості повинні відповідати високим вимогам по фізичним і механічним властивостям.

Характерною особливістю процесу холодного пластичного деформування труб є малі значення відносних обтисків в миттєвому осередку деформування і також значні значення дрібності деформування металу. Це приводить до можливості отримання високих відносних обтисків по площі поперечного перетину труби-заготовки (до 75%). Витяжки (відношення площ поперечного перетину труби - заготовки і готової труби ) застосовують рівними 3-5.

Особливістю цього процесу прокатки є можливість деформувати високоміцні, важко деформуємі та низько пластичні сталі та сплави.

Спосіб холодного пільгерування труб був розроблений в Сполучених штатах Америки в кінці 20 років дев'ятнадцятого століття. Перевагами такого способу є великий обтиск труби-заготовки по діаметру та по стінці в порівнянні з волочінням труб. На цей час широкий розвиток застосування процесу холодної пільгерної прокатки труб отримало у багатьох технічно розвинутих країнах.

Геометричні параметри процесу холодної прокатки труб (рис. 1.1).

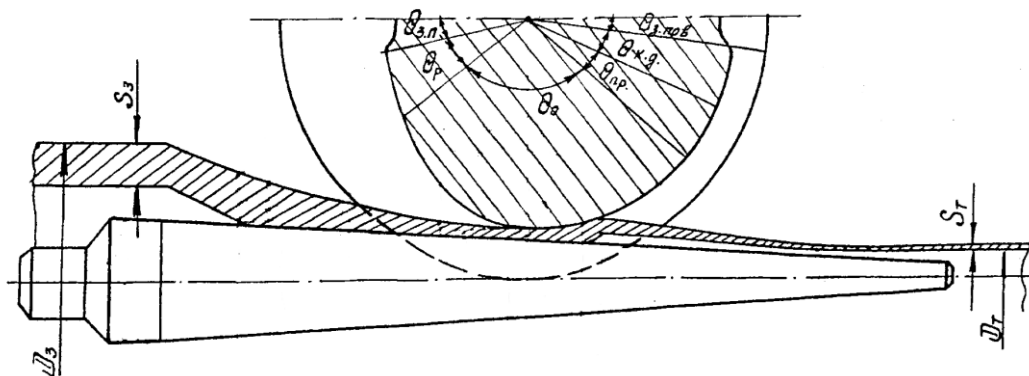


Рис. 1.1 - Геометричні параметри (сумарного) робочого конусу деформування та миттєвого осередку деформації [18]:  $D_3$  – діаметр труби - заготовки ;  $S_3$  – товщина стінки труби-заготовки;  $D$  – діаметр прокатої труби;  $S_{mp. з}$  – товщина стінки прокатої труби;  $\theta_{z.n}$  – зев подачі;  $\theta_p$  – ділянка редукування;  $\theta_o$  – обтискної ділянка;  $\theta_{np}$  – передоздоблювальна ділянка;  $\theta_{к.д}$  – ділянка калібрування діаметра;  $\theta_{z.nov}$  – зев повороту.

Процес холодного пільгерного деформування труб виконують валками на нерухомій оправці (рис. 1.1).

Рівчак валка має початку розміри, що відповідають діаметру труби заготовки, а в кінці – діаметру прокатої труби.

Оправки мають конічну форму або з криволінійною твірною її поверхні. Оправки з криволінійною твірною активно почали застосовувати в останні роки для виробництва високоякісних труб.

В Україні стани холодного пільгерного деформування експлуатують на наступних підприємствах:

- ПрАТ «СЕНТРАВІС ПРОДАКШН ЮКРЕЙН» м. Нікополь [1];
- Трубопрокатний завод ТОВ «ВСМПО ТІТАН УКРАЇНА» м. Нікополь [2];
- Дніпровський завод спеціальних труб (ДЗСТ), м. Дніпро [3];
- ПАО «Інтерпайп НТЗ», м. Дніпро [4];
- ТОВ «Нікопольський завод особливотонкостінних труб», м. Нікополь [5];
- Публічне акціонерне товариство «Сумське машинобудівне науково-виробниче об'єднання» м. Суми [6];
- Нікопольський завод тонкостінних труб [7].

На цих виробництвах застосовують велику кількість станів холодної прокатки труб типів ХПТ120, ХПТ90, ХПТ75, ХПТ55, ХПТ32 застарілих конструкцій на яких конструктивно є тільки один режим подачі та повороту труби коли подачу виконують перед деформуванням прямим ходом, а поворот перед деформуванням зворотним ходом кліті.

В останні п'ятнадцять років введені в виробництво стани нових сучасних конструкцій КРВ25, типу LG, ХПТ 6-20, ХПТ10-45, на яких можливо виконувати різні сполучення подачі та повороту труби при здійсненні процесу прокатки.

Варіанти виконання подачі та повороту:

- Варіант 1 – подачу здійснюють перед деформуванням прямим ходом, а поворот перед деформуванням зворотним ходом кліті;
- Варіант 2 – подачу здійснюють перед деформуванням прямим ходом, а поворот перед деформуванням прямим та зворотним ходом кліті;
- Варіант 3 – подачу здійснюють перед деформуванням прямим та зворотним ходом, а поворот перед деформуванням зворотним ходом кліті;
- Варіант 4 – подачу та поворот здійснюють перед деформуванням прямим та перед деформуванням зворотним ходом кліті.
- На стані ХПТ40-8 конструкцією передбачено лише один проварант виконання подачі та повороту:

- Варіант 4 – подачу та поворот здійснюють перед деформуванням прямим та перед деформуванням зворотним ходом кліті.

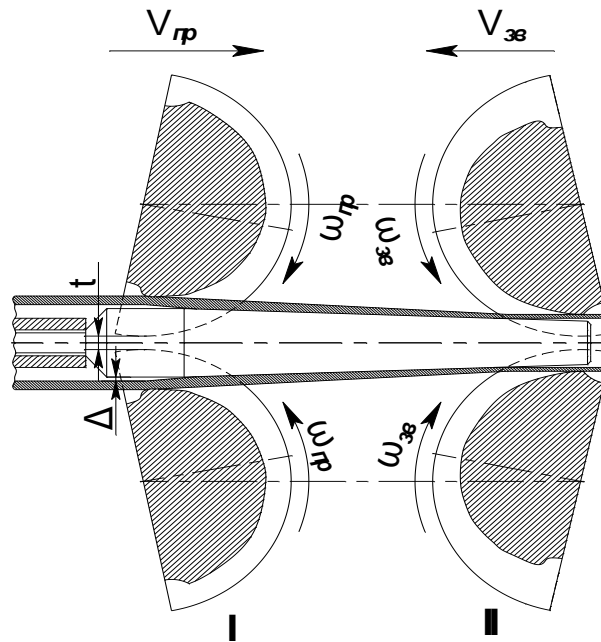


Рис. 1.2 - Схема розташування валків перед деформуванням прямим та зворотним ходом кліті [18]: I – положення валків перед прямим ходом; II - положення валків перед зворотним ходом;  $t$  – зазор між валками;  $\Delta$  – зазор між внутрішньою поверхнею труби та циліндричною частиною оправки;  $\omega_{пр}$  – кутова швидкість валків при прямому ході кліті;  $\omega_{зв}$  – кутова швидкість валків при зворотному ході кліті.

## 1.2. Робочий конус деформування, деформаційні характеристики та дрібність деформування

Деформовану частину металу від труби заготовки до готової труби називають робочим конусом деформування чи сумарним осередком деформування (рис.1.3).

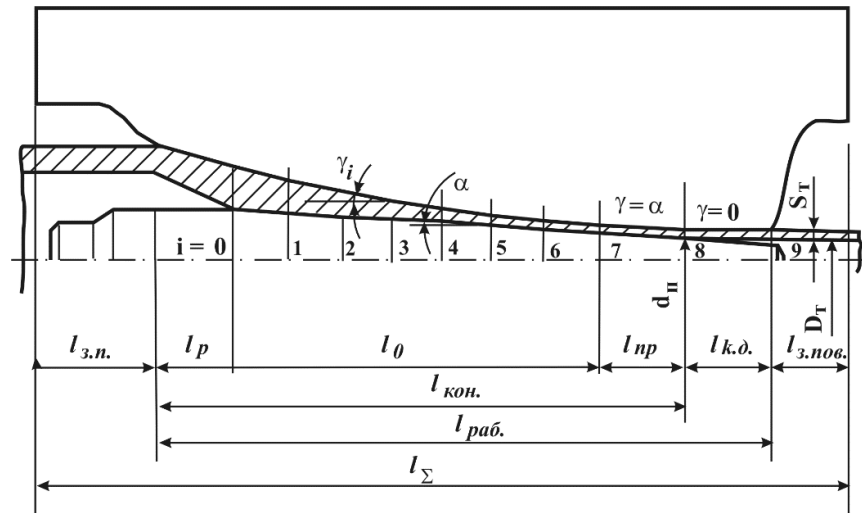


Рис.1.3 – Робочий конус деформування пільгерною прокаткою [18] з контрольними перерізами (1.2. ....9):  $l_{з.п.}$  – довжина ділянки зіва подачі;  $l_p$  – довжина ділянки редукування;  $l_0$  – довжина ділянки обтиснення стінки;  $l_{np}$  – довжина ділянки калібрування стінки;  $l_{к.д.}$  – довжина ділянки калібрування діаметра;  $l_{з.пов.}$  – довжина зіва повороту труби;  $l_{кон.}$  – довжина конічної частини оправки;  $l_{раб.}$  – довжина робочої частини конуса розкатки;  $l_{\Sigma}$  – довжина розгорнення рівчак.

Застосовують термін – подвійний ход. Подвійний ход включає прямий та зворотній.

Подачу  $m$  здійснюють перед прямим ходом (ділянка зіва подачі  $l_{з.п.}$ ), а поворот (кантування труби стосовно її вісі) перед зворотнім ходом - (ділянка зіва повороту  $l_{з.пов.}$ ).

Поворот здійснюють для розкатки металу, що знаходиться в зоні випусків рівчака валків.

Загальну довжина робочий конусу ( $l_{\Sigma}$ ) дорівнює периметру частини кола з радіусом початкового кола, який називають ведучими.

Продовж подвійного ходу передній торець труби зсувається на довжину  $l$

$$l = m + m \mu_{\Sigma}, \quad (1.1)$$

де  $m$  – подача;

$\mu_{\Sigma}$  – сумарний коефіцієнт витяжки за цикл.

Кожний вхідний перетин труби-заготовки деформується в миттєвому осередку деформації багато разів. Застосовують термін  $n_d$  – дрібність деформації.

При деформування з великими значеннями дрібності, здійснюють можливо здійснювати 4-18-кратну витяжку (відношення площ поперечного перерізу перетину труби- заготовки до прокатоної труби).

Характеристиками деформування труби пільгерною прокаткою валками на оправці є:

- сумарний коефіцієнт витяжки – відношення вихідної площі поперечного перерізу труби-заготовки до площі поперечного перерізу прокатоної труби

$$\mu_{\Sigma} = F_o / F_T; \quad (1.2)$$

- відносний обтиск площі поперечного перерізу труби заготовки

$$\Delta F_{\Sigma} = (F_o - F_T) / F_o; \quad (1.3)$$

- наростаючий коефіцієнт витяжки контрольним перетинам робочого конусу деформування і

$$\mu_{\Sigma} = F_o / F_i; \quad (1.4)$$

де:  $F_i$ - площа перетину в контрольних перетинах

- абсолютний та відносний обтиск по діаметру труби по контрольним перетинам робочого конусу деформування

$$\Delta D = D_3 - D_T; \quad (1.5)$$

$$\Delta D = (D_3 - D_T) / D_3; \quad (1.6)$$

- абсолютний та відносний обтиски по товщині стінки по контрольним перерізам робочого конусу деформування

$$\Delta S = S_3 - S_T; \quad (1.7)$$

$$\Delta S = (S_3 - S_T) / S_3; \quad (1.8)$$

- лінійний зсув перетину труби на виході з робочого конусу деформування

$$l_{zc} = m (1 + \mu_\Sigma); \quad (1.9)$$

- лінійний зсув перетину  $\dot{i}$  робочого конусу деформування

$$l_{zc i} = m (1 + \mu_i); \quad (1.10)$$

де: -  $\mu_i$  – наростаючий коефіцієнт витяжки в перетині  $\dot{i}$

Для обтиску у перетину  $\dot{i}$  застосовують спрощену формулу, яку рекомендують для практичних розрахунків .

$$\Delta S_i = m_i (tg \gamma_i - tg \alpha_i); \quad (1.11)$$

де:  $tg \gamma_i$  – середня конусність ривчака на ділянці  $\dot{i}$ ;

$tg \alpha_i$  – середня конусність оправки на ділянці  $\dot{i}$ .

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

$$n_d = 3l_o / m (1 + 2\mu_\Sigma); \quad (1.12)$$

де:  $n_d$  – дрібність деформування;

$l_o$  – довжина зони обтиску робочого конусу деформування;

$m$  – величина подачі металу;

$\mu_\Sigma$  – величина витяжки труби-заготовки в трубу.

$$\mu = (D_3 - S_3) S_3 / (D_T - S_T) / S_T \quad (1.13)$$

де:  $D_3$  - діаметр заготовки;

$D_T$  – діаметр труби;

$S_3$  – товщина стінки труби на початку робочого конусу деформування;

$S_T$  – товщина стінки труби.

Величина дрібності деформування прямо пропорційно збільшується з збільшенням довжини обтискної зони робочого конусу деформування, зменшенням величини подачі та величини сумарної витяжки. Сумарна витяжки труби-заготовки в готову трубу визначається при розробці маршруту прокатки. Довжина обтискної зони визначається при калібруванні інструменту і задана в основному конструкцією стана. Подача визначається при розробці режиму деформування.

Якщо довжина обтискної зони задана конструкцією стана то маршрут прокатки і режим деформування залежить від вимог з необхідності виконання стандартів та норм на якість труб та з характеристик металу труби таких як пластичність, твердість, текстура металу та інших.

Таким чином у розробника режиму деформування з появою нових сучасних станів холодної прокатки труб з'явилася можливість впливати на

режим деформування також через вибір варіанту сполучень здійснення подачі та повороту.

Загальні питання формування мікроструктури в процесах пластичного деформування металів висвітлено в джерелах [8, 9, 10, 11, 12, 13].

Загальні питання з теорії і деформаційних характеристик процесів пластичної деформації виробництва довгомірної металопродукції є в джерелах [14,15,16].

Питання теорії і технології виробництва труб представлено в роботі [17].

Питання з процесів та з технології виробництва холоднодеформованих висвітлені в роботах [18,19].

Розвиток з процесів виробництва виробництва холоднодеформованих труб представлено в роботах [20,21, 22, 23, 24]

Дрібність деформування також розглянута в роботі для процесу холодної безперервної роликової прокатки труб де були встановлені дворядні, а також трирядні кліті [25]. Показано, що за рахунок збільшення довжини робочого конуса і відповідно довжин зони обтиску деформування дрібність деформування зростає.

В роботі [26] йдеться про важливість досліджень з мікроструктури і механічних властивостей труб отриманих холодною пільгерною прокаткою, які працюють під внутрішнім тиском рідини.

### **1.3 Особливості нових станів для холодної пільгерної прокатки труб, що дають можливість деформування з збільшеною дрібністю деформації**

В Україні експлуатують велику кількість станів холодної пільгерної прокатки труб типів ХПТ-32, ХПТ-55, ХПТ-75; ХПТ-90, в яких подачу виконують за варіантом 1. Такі стани є вже фізично та морально застарілими. Такі стани мали тільки один режим подачі та повороту труби – подача перед прямим та поворот перед зворотним ходом. Інститути та підприємства України, що займаються виробництвом холоднодеформованих труб, почали роботи з

досліджень по покращенню якості холоднодеформованих труб, а зараз почали застосовувати нові стани нових конструкцій - ХПТ 6-20, ХПТ 40-8, ХПТ 10-45, КРВ25, типу LG, що мають можливості здійснювати подачу за варіантами 1,2,3,4. [23].

Стан ХПТ 40-8 спроектовано таким, що може виконувати тільки режим прокатки за варіантом 4.

Вперше процес холодної прокатки труб за варіантом 4 було розроблено при відповідній модернізації на станах ХПТР. Такий процес було розроблено і випробувано Державним трубним інститутом разом з Нікопольським Південнотрубним заводом. Показано, що застосування режиму деформування з підвищеною дрібністю деформування за рахунок застосування режиму прокатки за варіантом 4 дозволяє підвищити параметри якості труб.

Такий спосіб прокатки за варіантом 4 дозволив підвищити точність геометричних розмірів труб, по зрівнянню з процесом за варіантом 1.

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.

Для станів ХПТ-32, процес за варіантом 4 було розроблено та освоєно теж дослідниками Державного трубного інститут та працівниками Нікопольського Південнотрубного заводу.

На стані ХПТ-32 була виконана реконструкція подаючо-поворотного механізму редукторного типу. При реконструкції даного механізму використовували кулаки з новою геометрію їх поверхні.

В останній час на ринку обладнання з'явилися стани холодної прокатки які мають змогу прокатувати труби за різними варіантами 1,2,3,4. Деякі з них придбало підприємство ПрАТ «СЕНТРАВІС ПРОДАКШН ЮКРЕЙН».

Стан холодної прокатки труб ХПТ 40-8 призначений для холодної прокатки труб з різних марок сталей і інших високоміцних матеріалів з межею міцності до 850 МПа [23].

На ПрАТ « САНТРАВИС ПРОДАКШН ЮКРЕЙН» встановлено також стан ХПТ 6-20, який теж має можливість прокатувати труби за чотирьома варіантами здійснення подачі та повороту.

Конструкція стану дозволяє здійснювати холодну прокатку труб з феритних і аустенітних нержавіючих сталей і сплавів на основі нікелю, типу: 12X18H10T; 08X18H10T; 10X17H13M2T; TP 304/316L; TP 316 і ін. із межею плинності металу до 700 МПа.

На ПрАТ « САНТРАВИС ПРОДАКШН ЮКРЕЙН» експлуатують також стан ХПТ 10-45.

Найбільш досконалі стани холодного пільгерного деформування труб випускаються фірмою «SMS Meer» [27]. Для прикладу розглядається стан холодної прокатки труб КРВ25LC.

Цей стан є сучасним агрегатом нової конструкції. Два таких стани експлуатують на ПрАТ «САНТРАВИС ПРОДАКШН ЮКРЕЙН». Наявність керуючого комп'ютера дозволяє періодично робити діагностику стану, його механізмів і систем. Це забезпечує своєчасне усунення виникаючих неполадок і безаварійну роботу стану.

Слід звернути увагу на швидкохідність стану КРВ-25LC (Німеччина). Стан може проводити процес прокатки при 320 подвійних рухів кліті у хвилину.

На стані використовується робоча кліть закритого типу полегшеної конструкції. З метою зниження маси кліті, без зменшення її жорсткості, вона має ребра жорсткості.

Оригінальність конструкції кліті викликана прагненням досягти максимальної швидкохідності кліті. Зворотно-поступальний рух забезпечується не двома, як звичайно, а одним шатуном.

Точка прикладення зусилля шатуна опущена нижче осі прокатки, на рівень площин ковзання. Виникаючий, при цьому перекидний момент компенсується за рахунок подовження площини ковзання.

У результаті розміщення в прорізах кліті валкової пари, з однобічним приводом валків, удалося створити конструкцію, що має припустиме вертикальне зусилля прокатки в 400 кН. Така величина зусилля, позбавляє можливості застосовувати на стані режими деформації підвищеної інтенсивності, що зобов'язує суворіше підходити до вибору й обґрунтуванню маршрутів прокатки й припустимої величини подачі.

Почали застосовувати в Україні також стани холодної прокатки типу LG (Китай) [28].

#### **1.4 Аналіз робіт з дослідження структурного стану металу труб та їх механічних властивостей при холодному пластичному деформуванню пільгерною прокаткою**

Сталь 08X18H10T використовується для виробництва труб за ДСТУ 8937:2019 [29,24].

Відповідно данному стандарту труби виготовляють з корозійностійких марок сталей: 08X13, 10X23H18, 08X17T, 12X13, 12X17, 15X25T, 04X18H10, 03X18H11, 08X17H15M3T, 08X18H10, 08X18H10T, 08X18H12Б, 08X18H12Т, 08X20H14C2, 10X17H13M2E, 12X18H9, 12X18H10T, 12X18H12Т, 17X18H9, 08X22H6T та сплаву марки 06X28МДТ.

Для проведення експерименту була обрана поширена марка стали 08X18H10T( Таблиці 1.1).

Хімічний склад сталі 08X18H10T- Масова частка елементів, % : вуглець не більше ніж 0,08; кремній не більше ніж 0,8; марганець не більше ніж 2,0 хром 17,0% – 19, 0; нікель 9,0 – 11; титан 5\*С – 0,7, залізо-основа, сірка 0,02; фосфор не більше ніж 0,035.

Таблиця 1.1 - Механічні властивості готових труб сталі 08X18H10T

Марка сталі	Межа міцності $\sigma_b$ , Н/мм <sup>2</sup> (кгс/мм <sup>2</sup> )	Відносне видовження $\delta_5$ , %
	не менше	
08X18H10T	549 (56)	37

Схожа марка сталі за хімічним складом є в стандартах EN 10216-5 та ASTM A213 / A213M -21b (таблиці 1.2 та 1.3).

Таблиця 1.2 - Хімічний склад аустенітної корозійностійкої сталі, % за масою

Марка сталі		C	Si	Mn	P	S <sub>max</sub>	Cr	Ni	Ti
Назва сталі	Номер сталі	max			max				
X6CrNiTi18-10	1.4541	0,08	≤1,00	≤2,00	0,04	0,015	17,0 – 19,0	9,0 – 12,0	5xC – 0,7

Таблиця 1.3. - Механічні властивості аустенітної корозійностійкої сталі

Марка сталі		Міцність на розтяг при кімнатній температурі				
		Умовна межа плинності		Межа міцності	Подовження	
		R <sub>p0,2</sub> min	R <sub>p1,0</sub> min	R <sub>m</sub>	A min (%)	
Назва сталі	Номер	МПа	МПа	МПа	I	t
X6CrNiTi18-10	1.4541	200	235	500 - 730	35	30

Стандарт EN 10216-5 – це стандарт на труби сталеві безшовні для роботи під тиском. Технічні умови поставки. Частина 5: Труби з нержавіючої сталі [30].

У цьому документі вказані умови поставок за двома категоріями випробувань для безшовних труб круглого перерізу, виготовлених з аустенітної

(включаючи жаростійку сталь) та аустенітно-феритної нержавіючої сталі, які призначені для забезпечення стійкості до тиску та корозії при кімнатній, зниженій та підвищеній температурах.

ASTM A213/A213M – це стандартна специфікація на сталеві безшовні феритні та аустенітні леговані труби для котлів, пароперегрівачів та теплообмінників [31] (Таблиця 1.4 та 1.5).

Таблиця 1.4 - Хімічний склад аустенітної корозійностійкої сталі

Марк а сталі	Масова частка елементів, %							
	Вуглець ь	Марганець ь	Фосфор р	Сірка а	Кремній й	Хро м	Нікел ь	Титан
TP321	0,08	2,0	0,045	0,03	1,0	17 – 19	9,0 – 12	5(C+N) -0.7

Таблиця 1.5. - Механічні властивості аустенітної корозійностійкої сталі

Марка сталі	Межа міцності, min, кфунт/дюйм <sup>2</sup> , [МПа]	Межа плинності, min, кфунт/дюйм <sup>2</sup> , [МПа]	Подовження в 2 дюймах або 50 мм, min, %
TP321	75 [515]	30 [205]	35

При виробництві труб для автомобільної промисловості за стандартами EN 10216-5 та ASTM A213/A213M-21b [32]. Також застосовують стандарт EN 10305-1 [33].

Це стандарт на труби прецизійні. Особливістю є те, що труб мають особливо точні граничні відхиленнями геометричних розмірів. Замовниками є автомобілебудування, та машинобудування.

Також застосовують специфікації клієнта, в яких указуються технічні умови до даних труб та геометричні параметри які відрізняються від EN 10216-5, EN 10305-1 та ASTM A213/A213M-21b.

Сталь 08X18H10T відноситься до високолегованих нержавіючих сталей. Вона має хорошу корозійну стійкість, стійкість до високих температур. Особливістю цієї сталі є достатньо висока міцність та висока пластичність.

Сфери застосування наступні. Хімічна промисловість, медицина, – харчова промисловість, авіація та авіакосмічна промисловість, нафтогазова галузь, теплообмінне обладнання, автомобільна промисловість.

Мікроструктури, властивості труб є найбільш вивченими для процесів деформування за варіантом 1. Такий режим деформування застосовується дуже багато років. Варіанти 2 та 3 застосовуються не часто. Варіант 4 (за порівняно однакової продуктивності режимів) застосовують теж недостатньо широко. Особливості застосування другого та третього режимів вивчено значно менше.

Відносна деформація при пільгерній прокатці труб досягає 75% до 95% від початкового перерізу заготовки, тобто процес може здійснюватися з 14-ти кратною, або, навіть, 18-кратною витяжкою. Це пояснюють впливом високої дрібності деформування.

Але процес, в основному, виконують з деформаціями у два три рази меншими, щоб забезпечити відсутність мікротріщин у металі.

Вхідна труба заготовка деформується в готову трубу в миттєвому осередку деформування, за рахунок подачі об'єму металу в загальний осередок деформування. При цьому кожний перетин труби заготовки обтискується дрібно тому, що труба заготовка подається в загальний осередок деформування порціонно подачами які орієнтовно є рівними 2 - 20 мм для станів різного сортаменту по діаметру та товщині стінки труб та по матеріалу труб - вуглецеві, корозійностійкі та титанові.

Вчені з різних країн приділяють увагу дослідженням мікроструктур та властивостей холоднодеформованих труб холодної прокатки безшовних труб.

Це пов'язано з проблемами підвищення робото спроможності труб в різноманітних агрегатах відповідального призначення.

В роботі [34] розглянуто забезпечення умов деформування для отримання необхідної текстури труб зі сплаву Ti-3Al-2,5V. для раціонального розподілу Q фактору по конусу деформації.

В роботі [35] досліджували зміну мікроструктури при з нержавіючої сталі 347. Еволюцію мікроструктури досліджували за допомогою мікроскопа, Було застосовано також програмне забезпечення DEFORM-3D, яке було використано для моделювання процесу холодного пільгерного деформування. Результати показали, що деформація біля внутрішньої стінки була більш інтенсивною, ніж біля зовнішньої стінки. Результати моделювання також показали, що напруження у металі біля внутрішньої стінки сталевих труби було більшим, ніж напруження металу у зовнішньої стінки.

Крім того, зона ковзання у металі біля внутрішньої стінки була більш інтенсивнішою, ніж зона ковзання біля зовнішньої стінки. Моделювання певною мірою підтвердило результати експерименту.

В роботі [36] показано, що змінюючи технологічні параметри прокатки і параметри можливо задовольнити вимоги до готової труби (її якість). Було проаналізовано еволюцію напружено-деформованого стану в процесі холодної прокатки сталі в різних сегментах деформації труби.

Питанням з текстури труб зі сплаву Ti-3Al-2,5V посвячена робота [37]. Підкреслено, холодна прокатка труб є кращою технологією виготовлення труб з високоміцного титанового сплаву.

Такій же проблемі присвячено також ряд наступних публікацій.

В джерелі [38] дослідили вплив початкової текстури труби - заготовки на спадковість текстури труб зі сплаву Ti-3Al-2,5V після деформування та термічної обробки труб на готовий розмір. Труба заготовка була отримана гарячим пресуванням. Автори вказали, що маршрут холодного пластичного деформування деформації, ступінь деформації, співвідношення деформації по стінці і діаметру не забезпечили суттєвої зміни текстури отриманої після пресування.

В джерелі [39] автори пропонують для створення в трубах максимальної кількості радіальної текстури збільшити загальну деформацію, особливо на останніх проходах до 75...85%. і відмітили, що термічна обробка (відпал для зняття напружень) практично не змінює текстури труб.

А у джерелі [40], показано, що деформування при холодній пільгерній пластичній деформації прокаткою в декілька проходах впливає більш значимо на формування текстури і властивостей металу. А в дослідженні [41] показано, що мікроструктуру труб при застосуванні кількох прокаток на станах холодної прокатки труб можна регулювати за допомогою часу відпалу.

В дослідженні [42] досліджували особливості холодного деформування на стані ХПТР.

В дослідженні [43] досліджували зміни в текстурі та твердості в технології з двома проходами на станах холодної прокатки і рекристалізаційними відпалами.

В роботі [44] досліджували вплив рельєфу зовнішньої поверхні валків на параметри текстури та якості поверхні труб.

В роботі [45] застосували програмне забезпечення для тримірних кінцевих елементів при аналізі процесу оправкою та деформації при прямому ході кліті. Це дозволило описати зміну різниці тертя між трубою та оправкою та між трубою та валком.

Показано [46], що порівняно з заготовкою, ексцентриситет (різностінність), овальність і шорсткість труби були зменшені зі значенням  $Q$  рівним 0,76.

В роботі [47] було досліджено вплив холодної деформації на мікроструктуру, еволюцію текстури та механічні властивості сплаву Ti–35Nb–9Zr–6Mo–4Sn під час холодної прокатки.

В роботі [48] встановили, що при коефіцієнті тертя 0,3 з'явилися на готовій трубі пошкодження. Крім того звернули увагу на різні умови тертя між зовнішньою і внутрішньою поверхнею робочого конусу деформування та відповідно валком та оправкою.

В роботі [49] вказується на перевагу холодного пільгерування таку як локальне навантаження, що дає високу дрібність деформування, великі загальні обтиснення і високу якість поверхні. Показано вплив таких умов на зміни текстури.

У роботі [50] досліджено вплив холодного пільгерування труб на еволюцію текстури супердуплексної сталі. Слід зазначити, що особливістю дуплексної нержавіючої сталі є різна деформаційна поведінка аустеніту та фериту.

В роботі [51] мова йде про вплив текстури на точність труб.

В роботі [52] розглянуті питання змін шорсткості поверхні труб при холодній прокатці труб з відношення діаметра до товщини стінки менше  $\leq 3$ .

Інтерес представляє пластична обробка поверхні металу з метою зміцнення.

В роботі [53] зазначено, що пластичне деформування є основним способом зміцнення поверхневого шару металу. Окрім основного металу є шар з молекулами та атомами з навколишнього середовища - до 1мкм, та шар оксидів -10-1мкм і зона з зміцненим металом.

В роботах [54, 55] Розглянуто особливості напружено деформованого стану поверхні металу при вдавлюванні на нього твердим інструментом.

В роботі [56] вказується, що при обробці поверхневого шару металу пластичним деформуванням ступінь пластичного деформування визначає якість поверхневого шару деталей .

Оцінка впливу високоенергетичного навантаження на метал дана в роботі [57].

В статті [58] зазначено, що величина пластичного деформування поверхневого шару є важливим фактором для підвищення довговічності, зносостійкості та міцності деталей.

Інтерес також представляє зміна мікроструктури по товщині стінки труби.

Як аналог розглянули дослідження взаємозв'язку між товщиною та структурним станом металопрокату [59].

## 1.5 Аналіз робіт з підвищення точності труб при холодній прокатці труб

Питанням зменшення поперечної різностінності труб в виробництві холоднодеформованих труб на станах ХПТ приділяють багато уваги.

В роботі [60] відзначили, що при холодному пільгерінгу окрім еволюції текстури і її впливу на механічні властивості, є також і вплив на зміну ексцентриситету (різностінності) труб.

В роботі [61] розглянуті питання з допусків на холоднодеформовані труби. Заводські данні з точності труб представлено в роботі [62].

При прокатці на стані холодної прокатки валками відбувається зниження вхідної поперечної різностінності труби-заготовки. Для розрахунку величини різностінності готової труби запропонована залежність (по Хаустову Г.І.) створена на основі експериментальних даних для режиму прокатки з подачею перед прямим ходом, а поворотом перед зворотнім (варіант1).

$$\Delta s_T = \Delta s_3 \cdot \left( 0,1 + 0,9 \frac{D_3}{D_T} \right) + \Delta s_H, \quad (1.14)$$

де:  $\Delta s_H$  – наведена в стані різностінність (2-5% залежно від конструкції та рівня наладки устаткування стану);

$\Delta s_3$  – різностінність заготовки, %;

$D_3$  – діаметр заготовки;

$D_T$  – діаметр труби.

В джерелі [63] отримали результати стосовно впливу умов процесу холодного пластичного деформування на розмірну точність труб – по овальності та по поперечній різностінності. Але дослідження з впливу чотирьох варіантів виконання подачі та повороту не було.

В джерелах [64, 65] приведено результати експериментального дослідження з точності труб, що виготовлені холодним пластичним деформуванням з сплавів титану.

В джерелі [66] зазначено, що для труб які виготовлені холодним пільгерним деформуванням основною складовою поперечної різностінності труб є ексцентрична складова.

Важливим фактором стосовно точності труб, що отримують холодним пільгерним деформуванням є так звана величина «пружини кліті» - пружна деформація деталей кліті, що залежить від сили прокатки [67, 68, 69].

Досліджували також вплив стабільності подачі на поперечну різностінність труб [70]. Традиційні механізми подачі (які застосовуються на станах типу ХПТ) мають нестабільність подачі орієнтовно  $\pm 50\%$ . Це приводить до нестабільності процесу прокатки.

Позитивно впливає на параметри точності труб також і величина осьових сил, що діють вздовж оправки на патрон подачі за рахунок пружної деформації штока, на якому закріплена оправка [71, 72].

Відомо про застосування дворядних та трирядних процесів холодного пільгерного деформування роликками (з дворядними та трирядними сепараторами). За рахунок зменшення розвалки роликів в другому та третьому ряді отримують зменшення поперечної різностінності труб. Цей процес також називають процесом безперервної пільгерної прокатки труб [73, 74, 75].

Процес дворядної роликової прокатки дозволяє майже у двічі збільшити довжину обтискної зони. Це приводить до збільшення дрібності деформації теж майже у двічі. При трирядній роликовій прокатці теж майже втричі збільшується дрібність деформування.

Приділяють увагу також новим формам випусків рівчака валків, що теж впливає на якість труб в тому числі і по точності [75].

Підвищенню точності холоднодеформованих труб сприяє процес з первинним розподілом розвалки по довжині робочого конусу деформування холодної прокатки [76, 77, 78, 79].

В джерелі [80] запропоновано метод проектування процесу холодної прокатки труб для досягнення необхідної точності труб.

Математичні та комп'ютерні моделі процесу холодної прокатки труб дають змогу розробляти технології прокатки, що забезпечують необхідну точність труб [81, 82, 83, 84, 85].

Методом скінчено - елементного моделювання проведено дослідження з холодної витяжки листової заготовки з сталі 08кп [86]. А в роботі [87] представлена нова модель скінчено елементного моделювання процесу пілігримінга з початковою неоднорідністю труби-заготовки.

В роботі [88] підкреслено необхідність в 3-D моделюванні для аналізу асиметричної деформації поперечного перетину труб, що є основою формування параметру точності труб (різностонності - ексцентриситету труб) .

Питання зміцнення металу при холодній деформації розглянуто в роботі [89].

На стані ХПРТ 15-30, а пізніше на стані ХПТ-32 і ХПТ55 вперше науковцями та спеціалістами Всесоюзного трубного інституту та Південнотрубного заводу була виконана в експериментальному порядку реконструкції стану для забезпечення подачі та повороту труби заготовки перед прямим та зворотнім рухами кліті [91]. Було показано збільшення продуктивності станів і теж було показано зменшення поперечної різностінності та овальності труб. Але не були здійснені дослідження з порівняння чотирьох варіантів виконання подачі та поворот.

На початку цього століття появилися стани холодної прокатки труб нових конструкцій в яких можливо застосовувати різні варіанти виконання сполучень подачі та повороту.

Це дозволило автору цієї дисертації виконати комплексний експерименту з отримання залежностей з впливу чотирьох варіантів застосування сполучень подачі та повороту на параметри точності труб.

Від розвалки (різниця між шириною та висотою рівчак валків) залежить овальність та поперечна різностінність труб.

В загальному вигляді визначення ширини калібра можна представити як:

$$B_x = K_o (D_x + 2 \cdot \Delta D_{\Sigma x}), \quad (1.15)$$

де  $K_o$  – коефіцієнт вокалізацій труби

$\Delta D_{\Sigma x}$  – зміна висоти рівчака (діаметру робочого конусу деформування) в миттєвому осередку деформування.

$D_x$  – діаметр робочого конусу в миттєвому осередку деформування.

### Висновки до розділу 1

1. Холодне пластичного деформування пільгерною прокаткою широко застосовується в Україні для виробництва труб відповідального призначення в основному для ракето-, літако- та суднобудування, енергетики, машинобудування.

2. Постійно перед науковцями стоїть науково-практична задача з поліпшення службових характеристик холоднодеформованих труб відповідального призначення. 3.

3. Мікроструктура, поперечна різностінність і овальність є одними з основних показників якості холоднодеформованих труб відповідального призначення.

4. Стани старих конструкцій типу ХПТ мають конструкцію де можливо здійснювати подачу та поворот тільки за варіантом 1.

5. Нові імпортні стани холодного пільгерного деформування труб прокаткою типів ХПТ 6-20, ХПТ 10-45, КРВ25, LG. мають можливість здійснювати різноманітні схеми подачі та повороту 1,2,3,4. Але процес прокатки на них виконують в основному за варіантом 1. І немає результатів досліджень, що дають можливість на конкретних експериментальних

результатах, що отримані на нових типах станів холодної прокатки труб приймати рішення по вибору варіанту здійснення подачі та повороту.

6. Це поставило задачу дослідити експериментально вплив підвищення дрібності деформування на зміну мікроструктури, поперечної різностінності та овальності труб.

7. Також це поставило задачу з отримання нових залежностей при холодному пластичному деформуванні прокаткою на сучасних станах по впливу на мікроструктуру, поперечну різностінність і овальність труб по параметрам точності труб при різних варіантах сполучень подачі повороту труби для використання при розробці технологій виробництва труб для забезпечення регламентованої точності труб по параметрам їх якості.

8. Важливою особливістю процесу холодного пільгерного деформування прокатки труб є те, що за один робочий цикл може бути здійснена деформація до 75 % від площі початкового поперечного перерізу труби-заготовки. До основного фактору можливості виконання таких деформацій різні автори відносять те, що процес прокатки труб відбувається при великих значеннях дрібності деформування. І цьому підвищенню дрібності деформування може привести до поліпшення якості холоднодеформованих трубю

9. В ряді джерелі виконаних для умов процесу за варіантом 1 ( подача перед прямим, а поворот перед зворотнім ходом кліті) на основі дослідження еволюції мікроструктури результати показано, що деформація металу біля внутрішньої стінки була більш інтенсивною, ніж біля зовнішньої стінки.

10. Робіт по визначенню мікроструктури при збільшення дрібності деформування при холодному пільгеруванні не було виявлено. Однак були роботи по аналізу впливу пружно - деформованого стану за варіантом 1. Причина - не було станів холодної прокатки труб де можливо було збільшити дрібність деформування за рахунок додаткової подачі чи додаткового повороту.

11. Вперше процес за варіантом 4 було здійснено в експериментальному порядку на стані ХПТР15-30, а пізніше і на станах ХПТ32,

ХПТ55 спеціалістами науково-дослідного і конструкторсько-технологічного інституту трубної промисловості (зараз Державний трубний інститут) та Нікопольським Південнотрубним заводом (зараз ПрАТ «СЕНТРАВІС ПРОДАКШН ЮКРЕЙН»).

12. З появою нових сучасних станів холодної прокатки труб з\*явилась можливість виконати експерименти з і отримати залежності з впливу збільшення дрібності деформування на мікроструктуру труб та на поперечну різностінність та овальність труб при чотирьох варіантах сполучень подачі та повороту.

## **РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ З ВПЛИВУ ДРІБНОСТІ ДЕФОРМУВАННЯ НА МІКРОСТРУКТУРУ ПРИ ХОЛОДНІЙ ПРОКАТЦІ ТРУБ ЗА ПІДВИЩЕНОЮ ДРІБНІСТЮ ДЕФОРМУВАННЯ З РІЗНИМИ ВАРІАНТАМИ ПОДАЧІ ТА ПОВОРОТУ**

### **2.1 Отримання експериментальних залежностей з впливу на мікроструктуру металу та механічних властивостей збільшення дрібності деформування за рахунок додаткової подачі**

Постійно стоїть задача перед науковцями з підвищення службових характеристик виробів відповідального призначення де застосовують холоднодеформовані труби. Технологія виробництва та стани холодної прокатки є в достатній мірі складними та наукомістким. Застосовують велику кількість високолегованих марок сталей з яких виробляють холоднодеформовані труби. І є науково-практична задача з підвищення службових характеристик холоднодеформованих труб.

Однією з таких науково-практичних задач є підвищення міцності шару металу внутрішньої поверхні труб. Відомо з представленого в дисертації літературного огляду, що це досягається шляхом додаткової пластичної деформації [53, 54, 55, 56]. Це забезпечує підвищення корозійної стійкості внутрішньої поверхні. Крім того з літературного огляду [35, 36] показано, що умови холодного пільгерного деформування в шарах металу біля внутрішньої поверхні труб, що знаходиться на контакті з нерухомою оправкою є більш інтенсивними ніж на зовнішній поверхні, що знаходиться на контакті з валком, що перекочується.

Методика досліджень.

Найбільш ефективним методом вирішення тої чи іншої задачі є її розділ на окремі складові з побудовою певної логічної послідовності дій. Стосовно з загального списку задач роботи ті, що стосуються мікроструктури та механічних властивостей є наступними:

- виконати аналіз наукових робіт з впливу дрібності деформування на мікроструктуру металу холоднодеформованих труб;

отримати експериментальним шляхом залежності з зміни мікроструктури та механічних властивостей труб при збільшенні дрібності деформування в умовах холодного пільгерного деформування труб з сталі 08X18H10T за варіантами виконання подачі й повороту 3 та 4 при подрібненні подачі вдвічі по зрівнянню з варіантом 1 та проаналізувати результати і на основі аналізу залежності визначити зміни в структурі металу в місцях біля зовнішньої та внутрішньої поверхні та по середині стінки деформованих труб;

- отримати залежності з впливу додаткового повороту на мікроструктуру, механічні властивості в умовах холодного пільгерного деформування труб за варіантом виконання подачі й повороту 2 по зрівнянню з варіантом 1 на трубах з сталі 08X18H10T та проаналізувати результати і на основі аналізу визначити зміни в структурі металу в місцях біля зовнішньої та внутрішньої поверхні та по середині стінки деформованих труб;

Маршрут прокатки ( $25 \times 2,5 \text{ мм} \rightarrow 16 \times 1,5 \text{ мм}$ ). Цей маршрут є таким, що його часто використовують виробництві. За матеріал труб було вибрано марку сталі 08X18H10T. Ця сталь має широкий попит у різноманітних галузях промисловості. Прокатку проводили на стані ХПТ 6-20. Здійснювали чотири варіанти подачі та повертання 1,2,3,4.

Знімки в кількості 24 шт. з мікроструктури металу здійснили у поперечному та повздовжньому перерізах труб (див. Додатки). Виявлення та визначення величини зерна виконувалося металографічним методом [92].

Для цього використовувалося таке обладнання: – верстат для підготовка зразка шліфуванням; – обладнання з електролітичного травлення; – мікроскоп МІМ-7 [93]; – збільшення було  $\times 200$ .

Креслення зразка представлено на (рис.2.1).

Значення параметра шорсткості поверхні  $Ra$  не перевищувала 2,5 мкм.

Після цього зразок піддавався шліфуванню на шліфувально-полірувальному верстаті.

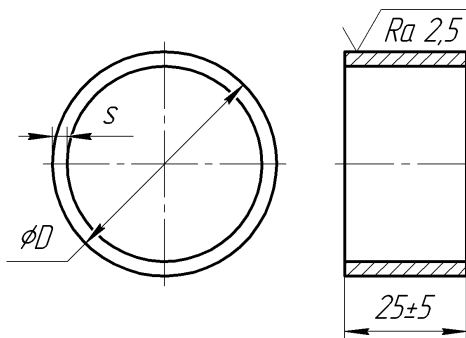


Рис. 2.1– Кресленик зразків:  $D$  – діаметр труби, мм;  $s$  – товщина стінки.

В даній частині роботи отримали залежності з впливу дрібності деформування на мікроструктурах металу у поперечному та повздовжньому перерізах труб по варіантах 3 та 4 в порівнянні з варіантом 1 та. Результати опублікували в науково - технічних виданнях [94, 95, 96], та представлені нижче (рис. 2,2; рис. 2,3; рис. 2,4; рис. 2,5; рис 2,6;).

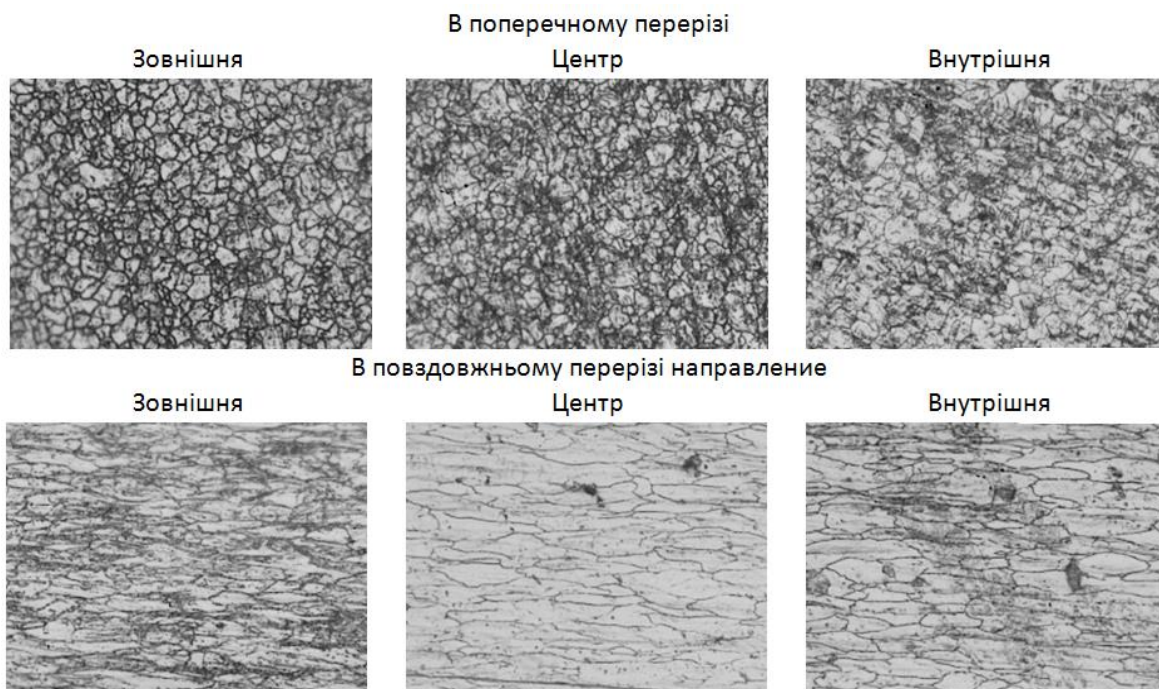


Рис. 2.2 – Мікроструктура в збільшенні 200х в поперечному та повздовжньому перерізі труб зі сталі 08X18H10T біля зовнішньої і внутрішньої поверхні та по середині (центр), варіант 1, при подачі 4 мм

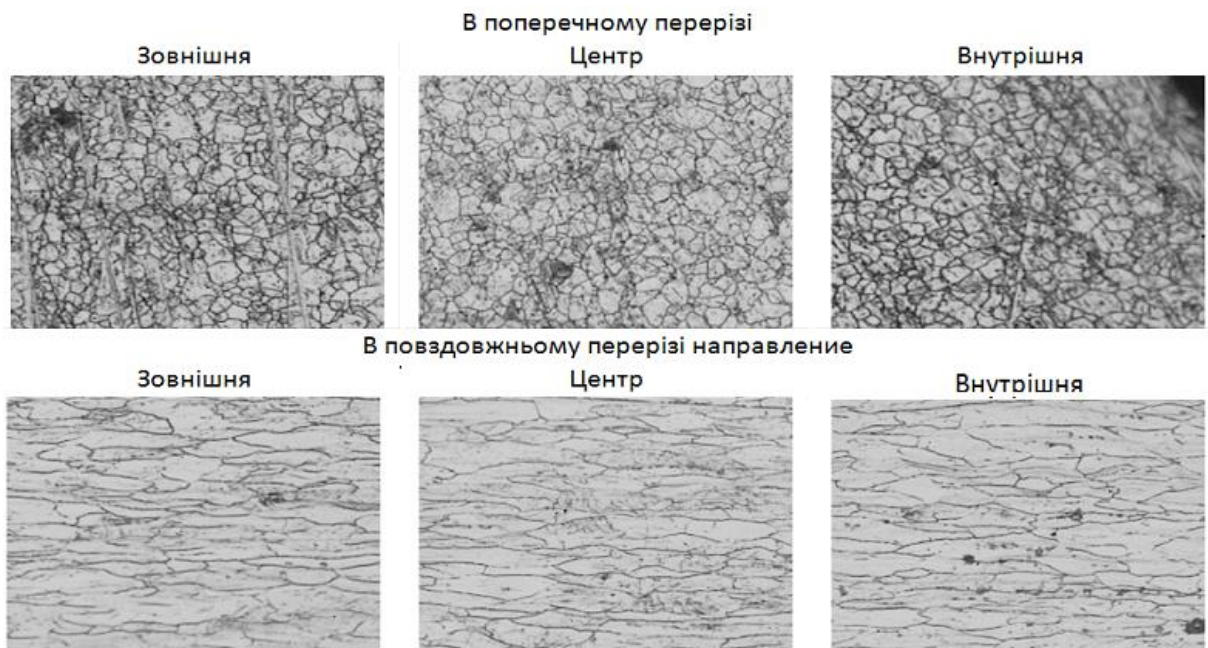


Рис. 2.3 – Мікроструктура в збільшенні 200х в поперечному та повздовжньому перерізі труб зі сталі 08X18H10T біля зовнішньої та внутрішньої поверхні та по середині (центр) варіант 3, при подачі 2+2 мм

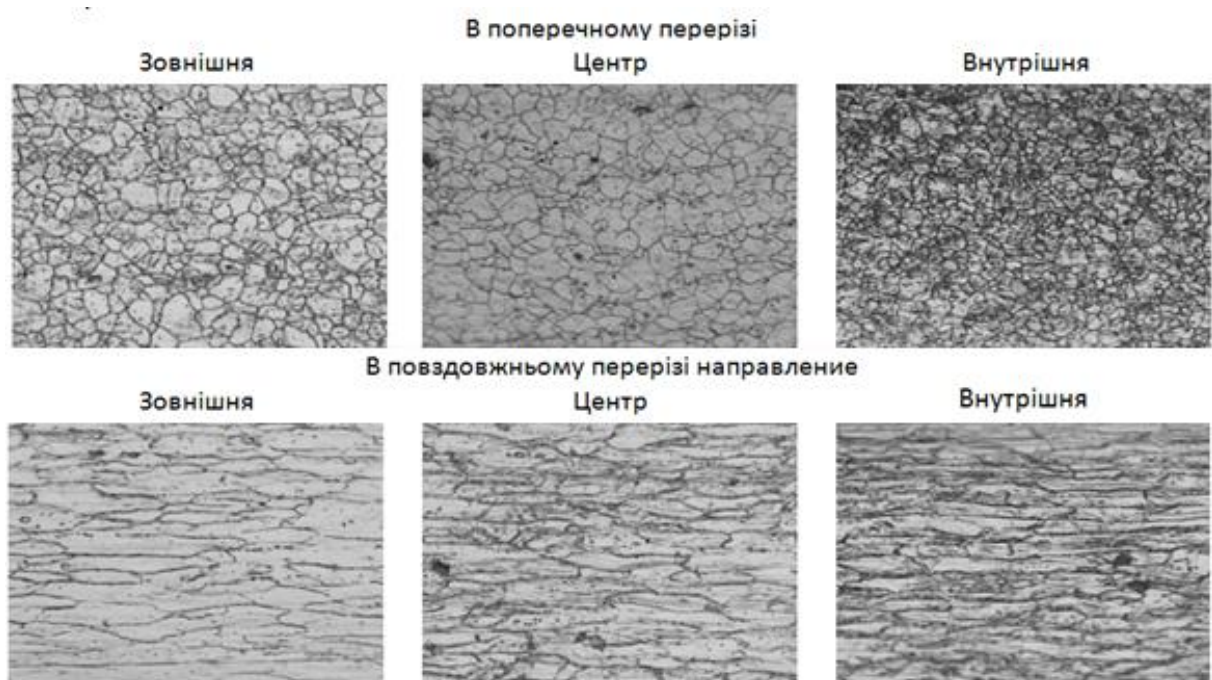


Рис. 2.4 – Мікроструктура в збільшенні 200х в поперечному та повздовжньому перерізі труб зі сталі 08X18H10T біля зовнішньої та внутрішньої поверхні та по середині (центр) варіант 4, при подачі 2+2мм.

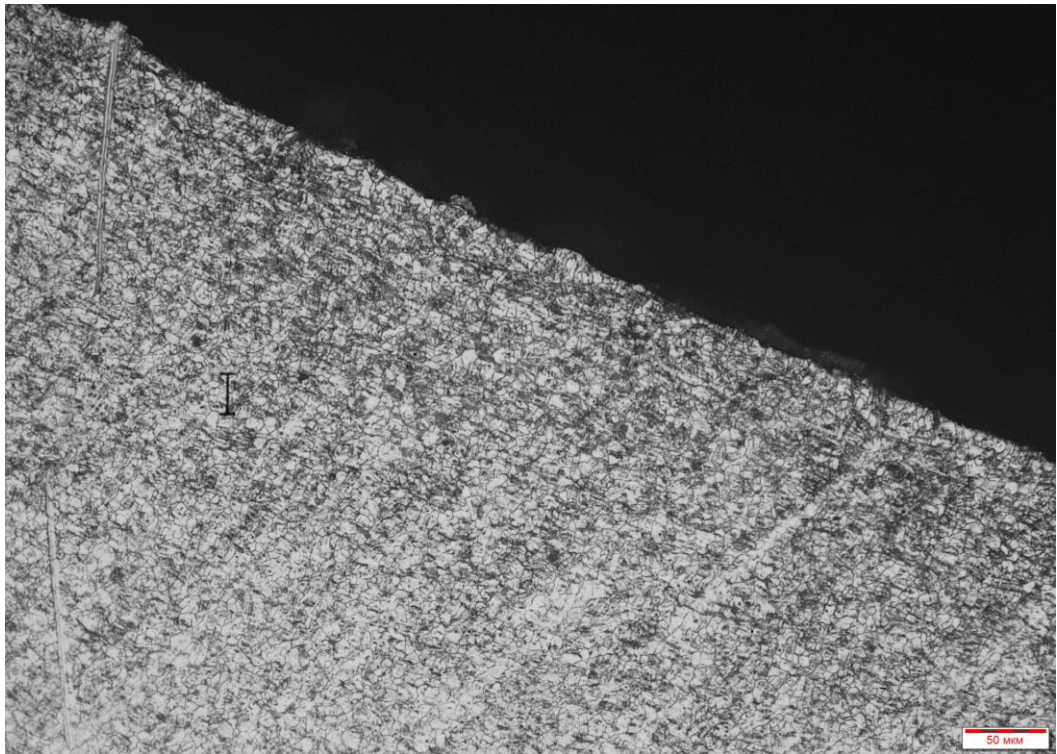


Рис. 2.5 – Мікроструктура в збільшенні 200х в поперечному перерізі біля внутрішньої поверхні в поперечному перерізі труб зі сталі 08X18H10T варіант 1, подача 4 мм

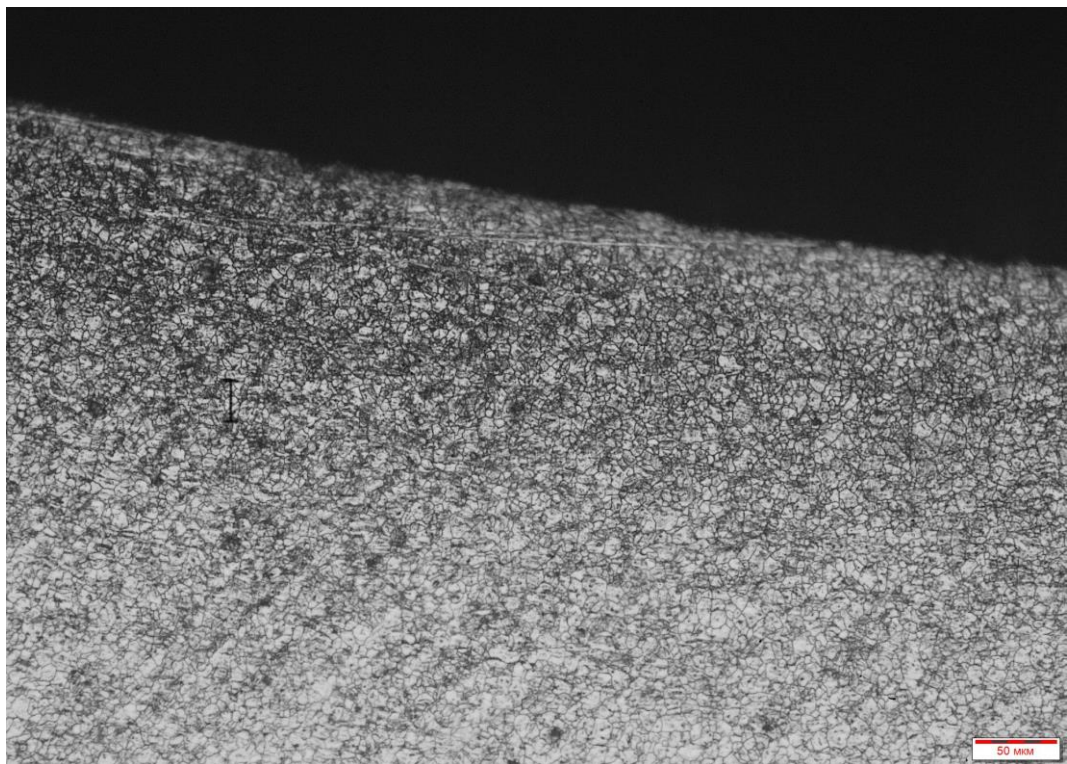


Рис. 2.6 – Мікроструктура в збільшенні 200 в поперечному перерізі біля внутрішньої поверхні в поперечному перерізі труб зі сталі 08X18H10T, варіант 4, подача 2мм+2мм

На знімках була шкала 50мкм. Фрагменти в поперечному та повздовжньому перерізах труб на чотирьох режимах виконання подачі й повороту розташували їх на рис.2,2; рис. 2,3; рис. 2,4; у формі придатної для аналізу.

З огляду форм та розмірів зерен у поперечному перерізі труби відзначили, що за варіантом 4 (подача 2мм+2мм) у порівнянні з варіантом 1 (подача 4мм) величина зерен в поперечному перерізі труби на внутрішній поверхні менша ніж на зовнішній (рис.2.6 та 2.7).

Особливо відзначили, що структура з меншим розміром зерен розташована зблизу внутрішньої поверхні труб (рис.2.6) в шарі металу 150-250 мкм.

Слід відзначити, що сумарна подача 2мм+2мм за подвійний хід кліті за варіантом 3 та 4 дорівнює подачі 4 мм за варіантом 1.

Різниця візуально досягає величини – 2 бали (див. рис. 2.4 та рис. 2.5).

Пояснимо механізм зменшення зерен біля внутрішньої стінки труб при збільшенні дрібності деформування при додатковій подачі перед зворотним ходом.

Обтиск відбувається в миттєвих осередках деформування при прямому (рис. 2.7) та и при зворотному ході клітей (рис. 2.8). Такий миттєвий осередок деформації переміщується по довжині робочого конусу деформування.

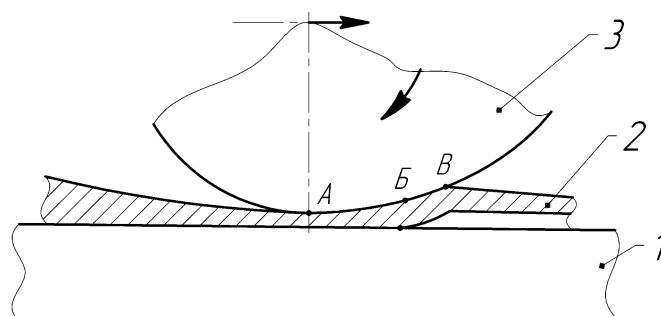


Рис. 2.7 – Миттєвий осередок деформування при прямому ході кліті: 1-оправка; 2-труба, що деформується; 3-валок; 4-АБ - зона обтиску стінки в миттєвому осередку деформування; 5-БВ - зона редукування в миттєвому осередку деформування.

Довжина зони деформування невеликі і для різних типорозмірів станів холодної пільгерної прокатки труб вимірюються від декількох міліметрів на станах для прокатки труб малих діаметрів до декількох десятків міліметрів для станів великих сорторозмірів.

При деформуванні прямим ходом кліті миттєвий осередок деформування має в зоні обтиснення зону редукування БВ та зону обтиску стінки АБ (див. рис. 2.7). І ці зони розташовані проти напрямку колової швидкості валків. Метал виходить з осередку в напрямку прямого ходу кліті. Відбувається лінійний зсув переднього торця труби (рис. 2.9).

При деформуванні зворотним ходом кліті миттєвий осередок деформування має в зоні обтиснення зону редукування БВ та зону обтиску стінки АБ (див. рис. 2.7). Ці зони розташовані теж проти напрямку колової швидкості валків.

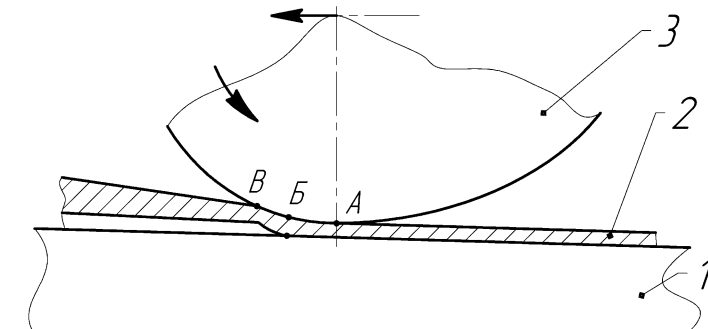


Рис. 2.8 – Миттєвий осередок деформування процесу деформування при зворотному ході кліті: 1-оправка; 2-труба, що деформується; 3-валок; АБ - зона обтиску стінки в миттєвому осередку деформування; БВ- зона редукування в миттєвому осередку деформування.

При цьому метал не може виходити з осередку деформування в напрямку колової швидкості валків тому задній торець труби затиснуто у патроні подачі та повороту. Метал виходить з осередку в напрямку прямого ходу кліті і відбувається лінійний зсув переднього торця труби.

Умови деформування різні. При зворотному ході стиснення металу в

миттєвому осередку деформування більш інтенсивне ніж при прямому.

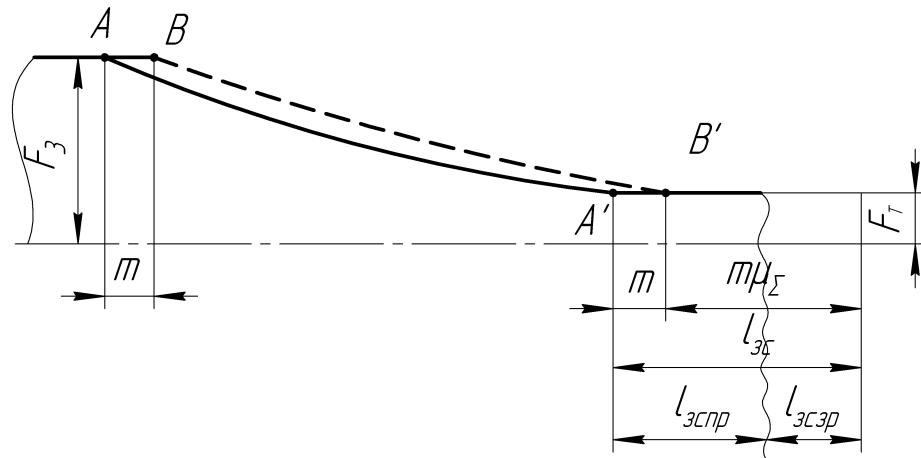


Рис. 2.9 – Лінійний зсув при холодній прокатці труб:  $l_{\Sigma}$  – сумарний лінійний зсув;  $l_{\Sigma}$  – лінійний зсув після прямого руху кліті;  $l_{\Sigma}$  – лінійний зсув після зворотнього ходу кліті руху кліті; АВ – контур лінії перекатування вершини рівчака калібру (орієнтовно довжина зони обтиску, калібровки стінки та калібровки діаметра);  $F_0$  – площа перетину заготовки;  $F_T$  – площа перетину готової труби;  $\mu_{\Sigma}$  – загальний коефіцієнт витяжки.

Після прямого та зворотного руху кліті лінійний зсув визначається як

$$L_{\Sigma} = m(1 + \mu_{\Sigma}); \quad (2.1)$$

$$\mu_{\Sigma} = F_0 / F_T; \quad (2.2)$$

Загальний відносний обтиск по площі перетину заготовки

$$\epsilon_{\Sigma} = (F_0 - F_T) / F_0; \quad (2.3)$$

Деформування відбувається в миттєвому осередку (рис. 2.10).

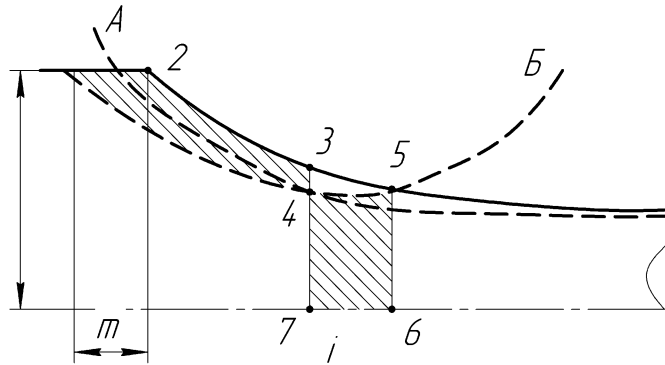


Рис. 2.10 – Схема до визначення величини обтиску перетину  $i$  за цикл в пільгерному процесі (по П.Т. Ємельяненко): 4-5 довжина миттєвого осередку деформування;  $m$  – подача; АБ – профіль валка; 1-2-3-4 - об'єм подачі до перетину  $i$ ; 4-5-6-7 - об'єм подачі, що дорівнює об'єму подачі до перетину  $i$ .

При деформуванні зворотним ходом кліті задній торець труби - заготовки труба затиснуто в патроні подачі.

Задній торець труби-заготовки не може рухатися. І метал з миттєвого осередку деформування не може виходити в сторону патрона подачі.

При деформуванні прямим ходом кліті метал може виходити з миттєвого осередку деформування в сторону прямого руху кліті.

Таким чином при деформуванні зворотним ходом кліті при подачі перед ним метал у миттєвому осередку деформування на контакті внутрішньої поверхні труби з оправкою метал буде знаходитися в більшому стисненні ніж метал біля зовнішній поверхні де валок крутиться. При більшому стисненні відповідно буде коїться більша деформація. В [30] роботі відзначено, що інтенсивність напружень та ковзання у металі біля внутрішньої стінки труби при деформуванні за варіантом 1 було більшим, ніж у зовнішньої стінки.

Слід відзначити, що у разі деформування ще й за варіантом 4, де є додаткова подача стиснутість металу на контакті з оправкою додатково збільшується.

В випадку пластичного деформування за варіантом 4 виконання подачі та повороту коли подача і поворот перед деформуванням прямим, а також перед

деформуванням зворотнім ходом кліті (подача 2мм+2мм) дрібність деформування буде більша.

Розрахуємо дрібність деформування для умов промислового експерименту за варіантом 1 та 4.

В промисловому експерименті величина подачі при режимі з подачею перед прямим ходом та поворотом перед зворотним ходом склала 4 мм, а при подачі та повороті перед прямим та перед зворотним ходом по 2 мм перед кожним ходом кліті

Маршруту  $25 \times 2,5 \text{ мм} \rightarrow 16 \times 1,5 \text{ мм}$ .

Дрібність деформування визначимо по формулі

$$n_d = 3l_o / m (1+2\mu_\Sigma); \quad (2.4)$$

де:  $n_d$  – дрібність деформування;

$L_o$  – довжина зони обтиску робочого конусу деформування, прийmemo 250 мм;

$m$  – величина подачі в осередок деформування;

$\mu_\Sigma$  – величина витяжки труби-заготовки в трубу.

$$\mu = (D_3 - S_3) S_3 / (D_T - S_T) / S_T \quad (2.5)$$

де:  $D_3$  – діаметр заготовки;

$D_T$  – діаметр труби;

$S_3$  – товщина стінки труби – заготовки;

$S_T$  – товщина стінки труби.

$$\mu = (25-2,5) 2,5 / (16-1,5) 1,5 = 56,25 / 21,75 = 2,58.$$

Дрібність деформування при режимі з подачею перед прямим ходом та

поворотом перед зворотнім ходом з подачею 4 мм

$$n_d = 3l_o / m (1+2\mu_\Sigma) = 3*200/4*(1+2*2,58)=24$$

При подачі та повороті перед прямим ходом, при подачі 2мм+2мм.

$$n_d = 3L_o / m (1+2\mu_\Sigma) = 3 *(200 +200)/2,0*(1+2*2,58)= 96$$

Дрібність при режимі з подачею перед прямим ходом та поворотом перед зворотнім ходом з подачею 5 мм

$$n_d = 3l_o / m (1+2\mu_\Sigma) = (3 \times 200)/(5 \times (1+2 \times 2,58))=19$$

При подачі та повороті перед прямим та перед зворотнім ходом, при подачі 2,5 мм та 2,5 мм

$$n_d = 3l_o / m (1+2\mu_\Sigma) = 3 *(200+200)/2,5*(1+2*2,58)=76$$

Дрібність при режимі з подачею перед прямим ходом та поворотом перед зворотнім ходом з подачею 6 мм

$$n_d = 3l_o / m (1+2\mu_\Sigma) = (3 \times 200)/(6 \times (1+2 \times 2,58))=16$$

При подачі та повороті перед прямим та перед зворотнім ходом, при подачі 3мм та 3мм

$$n_d = 3l_o / m (1+2\mu_\Sigma) = 3 *(200+200)/3,0*(1+2*2,58)=64$$

Дрібність при режимі з подачею перед прямим ходом та поворотом перед

зворотнім ходом з подачею 7 мм

$$n_d = 3l_o / m (1+2\mu_\Sigma) = (3 \times 200) / (7 \times (1+2 \times 2,58)) = 14$$

При подачі та повороті перед прямим та перед зворотнім ходом, при подачі 3мм та 3мм

$$n_d = 3l_o / m (1+2\mu_\Sigma) = 3 \times (200+200) / (3,5 \times (1+2 \times 2,58)) = 56$$

Дрібність деформування зростає за рахунок зменшення подачі і додатково за рахунок здовження обтискової зони. Зростання дрібності деформування відбувається у чотири рази.

Отримали дані з механічних властивостей труб заготовок та готових труб [97, 86] за ДСТУ ISO 6892:2008 (таблиця 2.1 та 2.2).

Таблиця 2.1 - Механічні властивості готових труб зі сталі 08X18H10T

Варіант виконання подачі та повороту	Подача, мм	Механічні властивості		
		Межа міцності	Межа плину	Відносне подовження
		МПа	МПа	%
1. Подачу виконують перед деформуванням прямим ходом кліті, а поворот труби перед деформуванням зворотнім ходом кліті.	2	1020	890	12
	3	1050	950	13
	4	1040	930	12
3. Подачу виконують перед деформуванням переднім і зворотнім ходом кліті, а поворот перед деформуванням зворотнім ходом кліті.	2+2	1050	950	11
	2.5+2.5	1090	960	12
	3+3	1040	930	13
	3.5+3.5	1090	990	12
4. Подачу та поворот виконують перед деформуванням прямим та перед деформування зворотнім ходом кліті.	4+4	1060	930	12
	2+2	1110	960	11
	2.5+2.5	1070	980	11
	3+3	1060	920	12
	3.5+3.5	1070	930	11
	4+4	1090	980	10

Таблиця 2.2 - Механічні властивості труб заготовок 25×2мм

Межа міцності, МПа	Межа плину, МПа	Відносне подовження, %
660	370	45
670	350	45

Рівень збільшення впливу дрібності деформування на механічні властивості за рахунок подачі при деформуванні прямим ходом та перед деформуванням зворотнім ходом можливо порівняти лише для подачі 4 мм при варіанті 1 з 2мм+2мм по варіанту 3 і теж саме при варіанті 4 (див. табл.2.3.).

Зміна межі міцності, межі плину та відносного подовження склали при застосуванні варіанту 3 по зрівнянню з варіантом 1:

- межа міцності збільшилась 1050 МПа проти 1040 МПа;
- межа плину збільшилась 950 МПа проти 930 МПа;
- відносне подовження зменшилось 11% проти 12%.

Такий рівень змін знаходиться в межах похибки вимірювань і може відображати тільки тенденціє змін.

Зміни є при застосуванні варіанту 4 по зрівнянню з варіантом 1:

- межа міцності збільшилась 1110 МПа проти 1040 МПа;
- межа плину 960 МПа проти 930 МПа;
- відносне подовження зменшилось 10% проти 12%.

Рівень змін вищий за рівень похибки вимірювань і відображає реальну картину впливу дрібності деформування на збільшення межа міцності, межі плину і зменшення відносного подовження. Загальний відносний обтиск труби-заготовки були однаковими для цих варіантів виконання подачі та повороту.

## **2.2 Вплив варіантів виконання повороту на мікроструктуру металу труб**

Стосовно загального списку задач роботи ті, що стосуються впливу повороту наступні: дослідити експериментально вплив додаткового повороту

на мікроструктуру, механічні властивості та параметри точності труб.

На основі аналізу залежності визначити зміни в структурі металу в місцях біля зовнішньої та внутрішньої поверхні та по середині стінки деформованих труб

Залежність з впливу варіанту повороту на мікроструктури, механічних властивостей труб досліджували за двома режимами виконання повороту, за варіантами 1 та 2 [98].

Трубу - заготовку  $25 \times 2,5$  мм прокатували в трубу  $\rightarrow 16 \times 1,5$  мм. Сталь 08X18H10T.

З знімків, що були отримані на мікроскопі МІМ-7 при збільшенні  $\times 200$  разів зі шкалою в 50 мкм вибрали фрагменти в поперечному та повздовжньому перерізах труб на двох режимах виконання подачі й повороту та розташували їх на рисунках 2,11; 2,12; 2.13; рис. 2. 14 у формі придатної для аналізу.

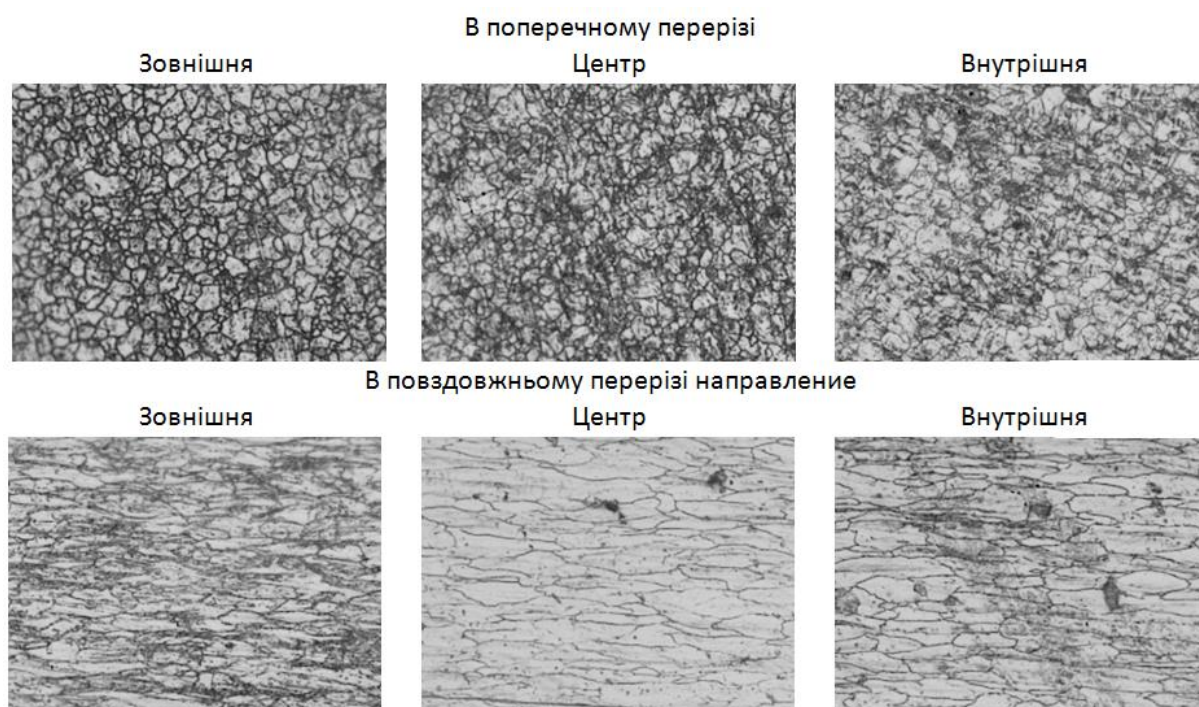


Рис. 2.11 – Мікроструктура в поперечну та повздовжньому перерізі труб зі сталі 08X18H10T по товщині стінки, варіант 1, подача 4 мм.

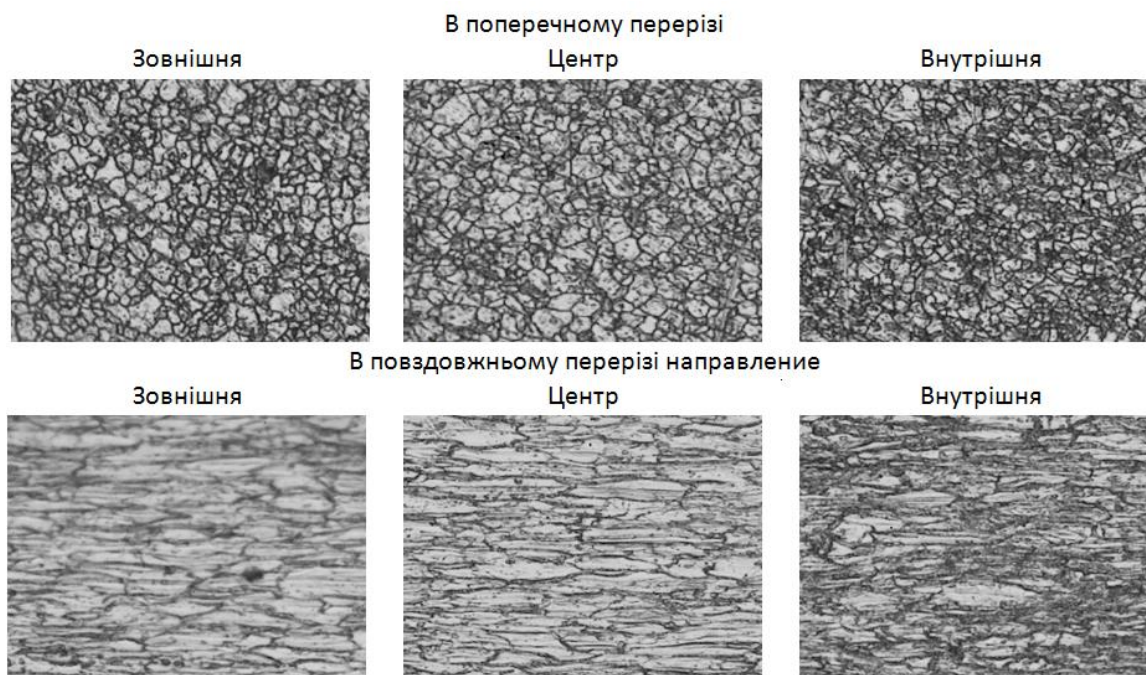


Рис. 2.12 – Мікроструктура в поперечному та повздожньому перерізі труб зі сталі 08X18N10T на товщині стінки, варіант 2, подача 4 мм.

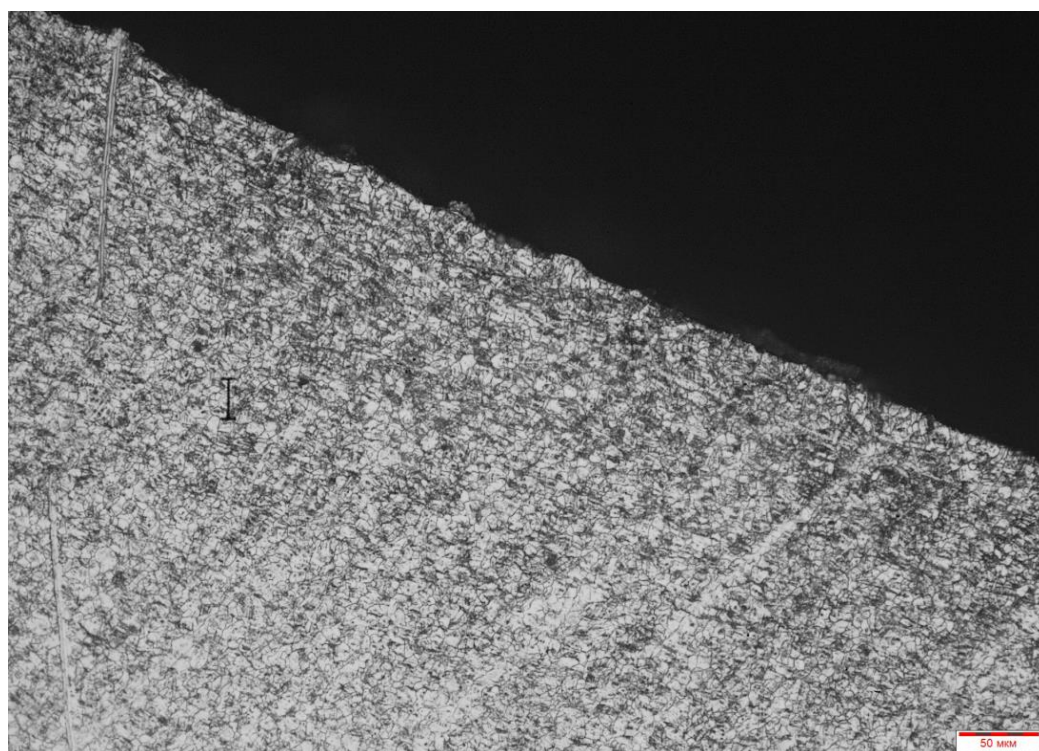


Рис 2.13 – Мікроструктура в поперечну перерізі труб зі сталі 08X18N10T по біля зовнішньої поверхні, варіант 1, подача 4 мм :

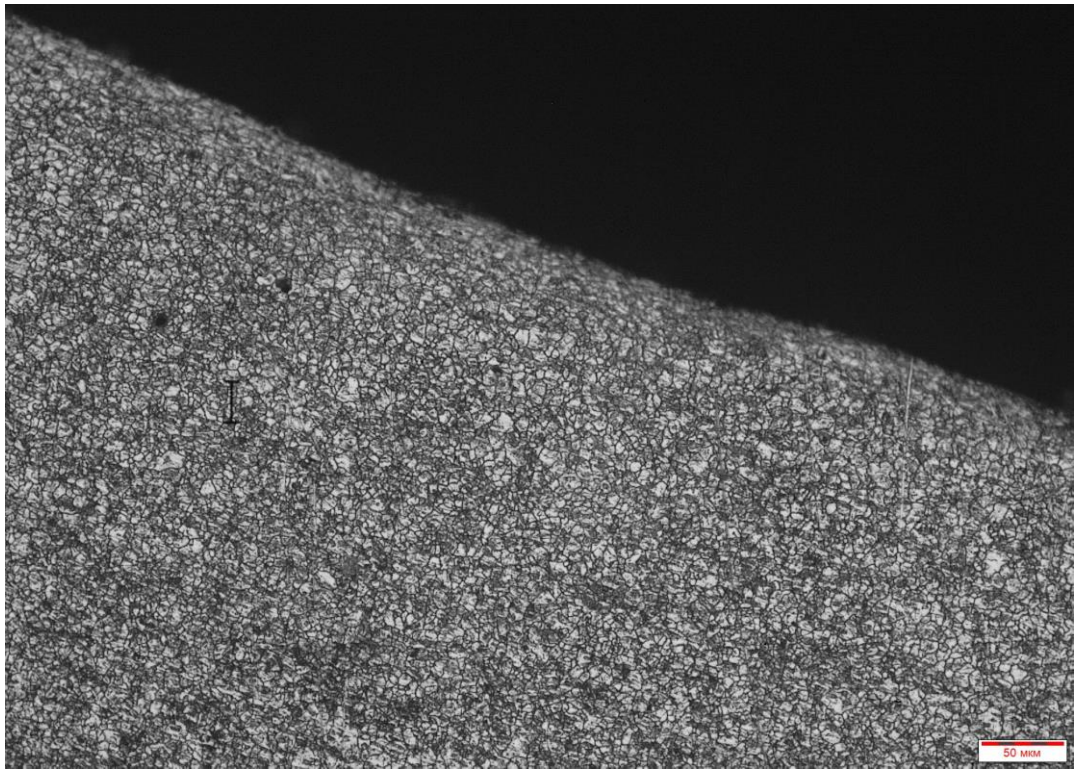


Рис 2.14 – Мікроструктура в поперечному перерізі труб зі сталі 08X18H10T на товщині стінки біля внутрішньої поверхні, варіант 2, подача 4 мм

Можливо відзначити, що для режиму коли подачу 4мм виконують перед деформуванням прямим ходом кліті, а поворот труби перед деформуванням прямим і перед деформуванням зворотним ходом кліті величина зерен поблизу внутрішній поверхні труб візуально менша, ніж поблизу внутрішньої по зрівнянню з варіантом коли подачу 4 мм виконують перед деформуванням прямим ходом кліті, а поворот труби перед деформуванням зворотним ходом кліті.

Різниця візуально досягає максимум величини 1 бал (рис. 2.11; 2. 12 та рис. 2.13; рис. 2. 14).

Виконали виміри механічних властивостей труб для варіантів застосування подачі та повороту 1 та 2 (таблиця 2.3).

Зміна межі міцності, межі плину та відносного подовження склали при застосуванні варіанту 2 по зрівнянню з варіантом 1:

- межа міцності збільшилась 1040 МПа проти 1030 МПа,

- межа плину збільшилась 930 МПа проти 960 МПа,
- відносне подовження зменшилось 12% проти 12%.

Таблиця 2.3 - Механічні властивості готових труб зі сталі 08Х18Н10Т

Варіант виконання подачі та повороту	Подача, мм	Механічні властивості		
		Межа міцності	Межа плину	Відносне подовження
		МПа	МПа	%
1. Подачу виконують перед деформуванням прямим ходом кліті, а поворот труби перед деформуванням зворотнім ходом кліті	2	1020	890	12
	3	1050	950	13
	4	1040	930	12
2. Подачу виконують перед деформуванням прямим ходом кліті, а поворот труби перед деформуванням прямим та зворотнім ходом кліті	2	1050	970	13
	3	1050	970	13
	4	1030	960	12

Такі значення близькі. І можуть знаходитись в межах похибок.

Розкриємо механізм такого зменшення величини зерна (рис. 2.15).

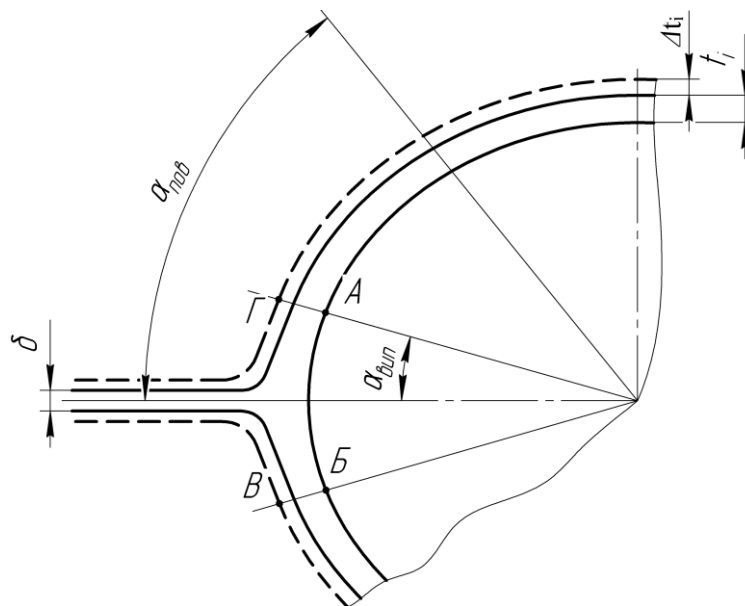


Рис. 2.15 – Зона випусків поперечного перетину рівчака валка в стані холодної прокатки труб: АБВГ- зона випуску,  $\alpha_{\text{вип}}$  – кут зони випуску;  $\alpha_{\text{пов}}$  -кут

повороту;  $t_i$  – розрахункова товщина стінки труби в перетині  $i$ ;  $\Delta t_i$  – збільшення розрахункової стінки труби за рахунок неповного обтиснення з причини пружної деформації деталей кліті та розподільчо-падаючого механізму стана.

При повороті робочого конусу деформування після виконання обтиску при подачі 4мм перед прямим ходом кліті випуски частини труби, що знаходиться в робочому конусі після повороту їх на кут  $\alpha_{\text{пов}}$  попадають в зону вершини між випусками та вершиною калібру (рис.2.15). В випусках труба має товщину та діаметр більші ніж товщина стінки та діаметр частини поперечного перерізу рівчака, що створена круглим профілем поперечних перетинів рівчака валка та оправки.

Випуск труби АБВГ розташовується так, що вісь симетрії його знаходиться по радіусу в куті  $\alpha_{\text{пов}}$ . В осередок деформування попадає додатковий об'єм металу.

Таким чином при зворотному ході кліті буде відбуватися деформування  $\Delta t_i$  – збільшення розрахункової стінки труби за рахунок неповного обтиснення з причини пружної деформації деталей кліті та розподільчо-подаючого механізму стана плюс додаткове стовщення стінки, що було в зоні випуску.

## **Висновки до розділу 2**

1. Дрібність деформування - це кількість циклів деформування при якому вхідний перетин труби заготовки деформується в кінцевий перетин труби. На основі аналізу математичного виразу для визначення величині дрібності деформування для процесу холодної пільгерної прокатки труб визначили, що величина дрібності деформування прямо пропорційно збільшується з збільшенням довжини обтискної зони робочого конусу деформування, зменшенням величини подачі та величини витяжки труби - заготовки в готову трубу. Витяжки труби-заготовки в готову трубу визначається при розробці маршруту прокатки. Довжина обтискної зони визначається при калібруванні інструменту і задана в основному конструкцією стана. Подача визначається при

розробці режиму деформування.

2. Дослідження мікроструктури, механічних властивостей труб виконали за стані ХПТ 6-20 на чотирьох можливих за конструкцією стану варіантах виконання подачі та поворот, за маршрутом прокатки ( $25 \times 2,5$  мм  $\rightarrow$   $16 \times 1,5$  мм), що часто використовується у виробництві. Марка сталі 08X18H10T - одна з марок, що має широкий попит у різноманітних галузях промисловості.

3. На основі проведених металографічних досліджень з впливу додаткової подачі на мікроструктуру встановили залежність, що для режиму 4 де дрібність деформації була в чотири рази більшою величина зерен на внутрішній поверхні труб була менша ніж на зовнішній на 2 бали по зрівнянню з варіантом 1 здійснення подачі та повороту.

4. Зменшення величин зерен біля внутрішньої поверхні труб можливо пояснити так, що додаткова подача перед зворотнім ходом збільшує інтенсивність деформації металу біля оправки по причині того, що метал труби не має можливості переміщення в сторону збільшення діаметра оправки.

5. На основі проведених металографічних досліджень з впливу додаткового повороту на мікроструктуру встановили залежність, що для режиму 2 на внутрішній поверхні труб величина зерна зменшується на 1 бал по зрівнянню з варіантом 1 здійснення подачі та повороту.

6. Зменшення величин зерен біля внутрішньої поверхні труб за рахунок додаткового повороту можливо пояснити тим, що при додатковому повороті перед переднім ходом збільшується об'єм металу, що обтискується при прямому ході.

## **РОЗДІЛ 3 ДОСЛІДЖЕННЯ З ОТРИМАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ЗАЛЕЖНОСТЕЙ З ВПЛИВУ ДРІБНОСТІ ДЕФОРМУВАННЯ НА ТОЧНІСТЬ У ПРОЦЕСІ ПІЛЬГЕРНОГО ДЕФОРМУВАННЯ ТРУБ**

### **3.1 Отримання експериментальної залежності за дослідженням поперечної різностінності труб при збільшенні дрібності деформування при різних варіантах виконання подачі та повороту**

Третій розділ стосується експериментальних промислових досліджень з впливу збільшення дрібності деформування при чотирьох варіантах виконання подачі та повороту труб на поперечну різностінність, овальність труб, відхилення діаметра труб по довжині труби, а також досліджень зміни поперечної різностінності від труби-заготовки до готової труби, розкиду середньої стінки в партії труб в процесі холодного пільгерного деформування за варіантом 4 виконання подачі повороту.

Методика досліджень з впливу на точність труб варіантів здійснення подачі та повороту:

- дослідити комплексно вплив чотирьох варіантів (1,2,3,4) здійснення подачі та повороту на параметри точності труб та визначати найбільш раціональний режим та отримати відповідні залежності;
- виконати експериментальні дослідження розкиду середньої стінки та різностінності труб у пакеті труб для варіанту 4 виконання подачі та повороту та отримати відповідні залежності ;
- експериментально дослідити зміни величини різностінності у пакетах труб від труби-заготовки до готової труби, які були прокатані на раціональному варіанті здійснення подачі та повороту та отримати відповідні залежності.

Маршрут прокатки ( $25 \times 2,5 \text{ мм} \rightarrow 16 \times 1,5 \text{ мм}$ ). За матеріал труб було вибрано марку сталі 08X18H10T.

Прокатку проводили на стані ХПТ 6-20. Здійснювали чотири варіанти подачі та повертання 1,2,3,4.

Поперечну різностінність труб вимірюють абсолютним значенням чи відносним (рис. 3.1).

Абсолютною поперечною різностінності труб називають різницю між максимальним та мінімальним значенням товщини стінки в поперечному перерізі труби.

$$\Delta R = S_{\max} - S_{\min}; \quad (3.1)$$

Відносною поперечної різностінності труб називають відношення різниці між максимальним та мінімальним значенням товщини стінки в поперечному перерізі труби до середньої товщини стінки в поперечному перерізі труби

$$R = (S_{\max} - S_{\min})/S_{\text{ср}}; \quad (3.2)$$

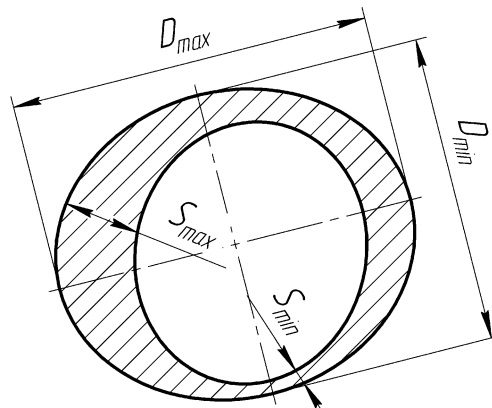


Рис. 3.1 – Геометричні параметри поперечного перерізу труби :  $S_{\max}$  – значення максимальної товщини стінки;  $S_{\min}$  – значення мінімальної товщини стінки;  $D_{\max}$  – значення максимального діаметра;  $D_{\min}$  – значення мінімального діаметра

Середнє значення стінки труби звичайно вираховують як суму значень товщини стінки  $S_i$  в восьми рівно віддалених точках периметру зовнішнього перерізу труби .

$$S_{\text{ср}} = (S_1 + S_2 + \dots + S_8) / 8; \quad (3.3)$$

Експеримент провели на маршруті виготовлення труб 25x2,5мм – 16x1,5мм (стан ХПТ 6-20, сталь 08Х18Н10Т) [99,100,101,102,103]. Прокатку здійснювали за наступними варіантами виконання подачі та повороту 1,2,3,4.

По кожному з чотирьох варіантів виконання подачі та повороту було прокатано по відрізьку труби довжиною близько метра із труби-заготовки з рівною різностінністю. Вимірювали товщину стінки по периметру прокатаних труб. Визначили максимальну, мінімальну та середню товщину стінки. Розрахували абсолютну та відносну різностінність (таблиця 3.1).

Таблиця 3.1 – Експериментальні дані по абсолютній і відносній різностінності труб при веденні процесу ХПТ (стан ХПТ 6-20, 08Х18Н10Т).

Варіант	Подача, мм	S <sub>max</sub> мм	S <sub>min</sub> мм	S <sub>ср</sub> мм	Різностінність %	Варіант	Подача, мм	S <sub>max</sub> мм	S <sub>min</sub> мм	S <sub>ср</sub> мм	Різностінність %
1	2	1,63	1,59	1,61	2,48	3	2+2	1,65	1,61	1,63	2,45
	3	1,67	1,63	1,64	2,56		2,5+ 2,5	1,65	1,61	1,63	2,46
	4	1,67	1,61	1,64	3,66		3+3	1,65	1,60	1,63	3,07
	5	1,7	1,65	1,67	3,01		3,5+ 3,5	1,65	1,60	1,62	3,08
2	2	1,64	1,61	1,62	1,85	4	2+2	1,65	1,63	1,64	1,22
	3	1,65	1,62	1,64	1,84		2,5+ 2,5	1,65	1,61	1,63	2,45
	4	1,64	1,60	1,62	2,47		3+3	1,66	1,62	1,64	2,44
	5	1,64	1,60	1,62	2,47		3,5+ 3,5	1,65	1,61	1,63	2,45

Величини подачі склали: режим 1 і режим 2 –  $m = 2, 3, 4$  і 5 мм; режим 3 і режим 4 –  $m = 2+2, 2,5+2,5, 3+3, 3,5+3,5$  мм.

Величина відносної різностінності складала з 2,48% до 3,66 (рис. 3.1).

При варіанті 2 коливання товщин стінки стали менші (таблиця 3.1, рис 3.2).

При варіанті 2 коливання товщин стінки стали менші (таблиця 3.1, рис 3.2). Мінімальна різностінність була при подачі 2 міліметра (відносна 1,85%, абсолютна 0,03мм), максимальна – при подачі 5мм (відносна 2,47%, абсолютна 0,04мм).

Для процесу прокатки по варіанту 4 (рис. 3.2) рівень різностінності приблизно такий же, як для режиму 2, хоча для режиму 2 подача була рівною 4 мм, а для режиму 4 рівною 2+2мм.

Це вказує на суттєвий вплив додаткового повороту на зменшення поперечної різностінності труб.

Раціональними з зменшення поперечної різностінності можна назвати два варіанти виконання подачі та повороту: варіант 2; варіант 4.

Варіанти 4 здійснення процесу холодного пільгерного деформування за рахунок застосування додаткової подачі та додаткового повороту по зрівнянню з варіантом 1 є найбільш ефективним з точки зору зменшення поперечної різностінності труб.

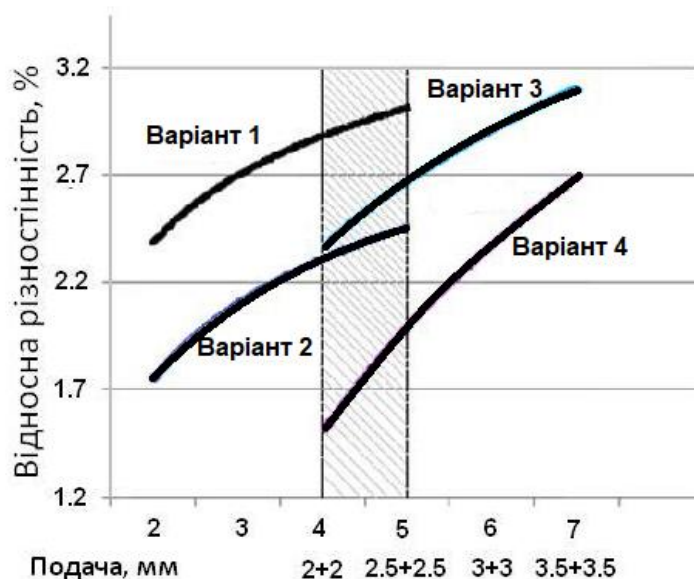


Рис. 3.2 – Зміна відносної різностінності труби залежно від величини подачі та режиму виконання повороту труби (25x2,5–16x1,5, стан ХПТ 6-20, сталь 08X18H10T) при чотирьох варіантах виконання подачі та повороту.

Розкриємо механізм зменшення різностінності та звуження допуску на товщину стінки на підвищення службових характеристики труб по міцності.

В технічній документації на поставку труб вказують максимально допустиме відхилення  $n$  з збільшення і зменшення товщини стінки труби від номінального значення товщини стінки

$$(S_{\text{НОМ}} - n) \leq S_{\text{НОМ}} \leq (S_{\text{НОМ}} + n); \quad (3.4)$$

$$S_{\text{макс.ном.}} = S_{\text{НОМ.}} + n$$

$$S_{\text{мін. ном.}} = S_{\text{НОМ.}} - n$$

Стінка труби не повинна виходити за межі між  $(S_{\text{НОМ.}} + n)$  та  $(S_{\text{НОМ.}} - n)$  (рис. 3.3). Загальне поле допуску по стінці дорівнює  $2n$ .

На рис 3.3 показано варіант коли досягнуті технічним станом обладнання та технології реальні значення середньої товщини стінки та максимальної та мінімальної стінки по периметру труби знаходяться близько до номінальних значень. Якщо технічний рівень технології та обладнання дозволяє зменшити реальні відхилення значень товщини стінки від середнього їх значення то можливо поліпшити службові характеристики труб.

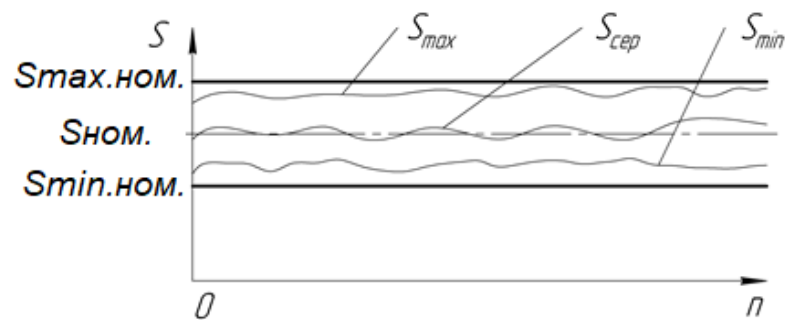


Рис. 3.3 – Розгортка по периметру труби значень максимальних мінімальних та середніх значень товщини стінки:  $S$  – товщина стінки труби;  $P$  – периметр труби;  $S_{\text{НОМ}}$  – номінальне значення товщини стінки;  $S_{\text{макс.ном.}}$  – значення номінальної максимальної товщини стінки;  $S_{\text{мін. ном}}$  – значення номінальної мінімальної товщини стінки;  $S_{\text{сер}}$  – середнє значення товщини стінки.

Розглянемо варіант коли середня стінка дорівнює номінальній, а мінімальне та максимальне значення товщин стінок при цьому знаходиться в меншому діапазоні ніж  $2n$  (рис. 3.4 по зрівнянню з рис. 3.3).

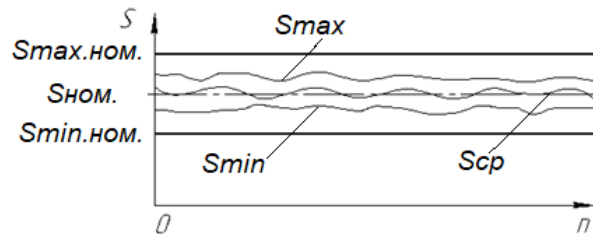


Рис. 3.4 – Розгортка по периметру труби значень максимальних, мінімальних та середніх значень товщини стінки при зменшеному розкиді.

При цьому при звуженні поля допуску. мінімальна товщина стінки труби  $S_{min}$  збільшується.

Розглянемо поперечний переріз труби, що знаходиться під внутрішнім тиском рідини (рис.3.5).

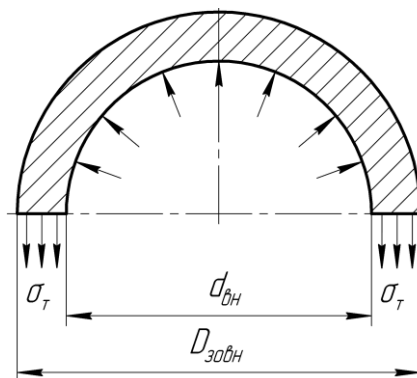


Рис. 3.5 – Тангенціальні нормальні напруження в трубі під дією внутрішнього тиску:  $D_{зовн.}$  – зовнішній діаметр труби;  $P$  – тиск рідини;  $d_{вн.}$  – внутрішній діаметр труби;  $\sigma_t$  – нормальне напруження.

Для труби, що знаходиться під внутрішнім тиском рідини можливо записати (рис.3.5):

$$(D_{\text{зовн}} - S_{\text{min}} - S_{\text{max}}) P = 2 S_{\text{min}} \sigma_{\tau}; \quad (3.5)$$

$$\sigma_{\tau} = ((D_{\text{зовн}} - S_{\text{min}} - S_{\text{max}}) P) / 2 S_{\text{min}}; \quad (3.6)$$

З аналізу виразу видно, що при звуженні розкиду товщини стінки і збільшення при цьому  $S_{\text{min}}$  зменшуються напруження  $\sigma_{\tau}$  при однаковому тиску рідини. Це підвищує службові характеристики труб.

Слід показати як, що при звуженому допуску на товщину стінки можна мати можливості з отримання додаткового прибутку.

Якщо поле допуску по різностінності звужене (рис. 3.6), то можливо виробити труби так, щоб мінімальне значення стінки  $S_{\text{min}}$  наблизилось до мінімального регламентованого стандартом значення стінки  $S_{\text{min. ном.}}$ .

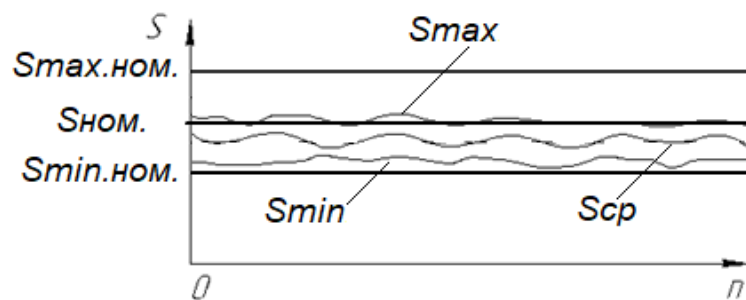


Рис. 3.6 – Розгортка по периметру труби значень максимальних, мінімальних та середніх значень товщини стінки при зменшеному розкиді та при приближенні  $S_{\text{min}}$  до  $S_{\text{min. ном.}}$ :

Тоді і середнє значення буде менше ніж  $S_{\text{ном.}}$ . Маса одного метра труб буде менша. Витрати металу на один погонний метр труби будуть меншими. Труби-заготовки задають в виробництво по масі, а продають по метрам. Наприклад, при регламентованому допуску 20% і при досягнутому в роботі рівні не більше ніж 10% економія металу по масі буде орієнтовно  $20\%/2 - 10\%/2 = 5\%$ . На 1000 метрів буде 50 метрів додаткових труб. Ціна орієнтовно 10 євро за один метр. Завод випускає мільйони метрів.

Дані дослідження доводять як збільшення дрібності деформування підвищує службові характеристики труб та дають можливості отримання додаткового прибутку.

### **3.2 Отримання експериментальних залежностей з дослідження овальності труб та розкиду діаметра труб по довжині труби при збільшенні дрібності деформування при різних варіантах здійснення подачі та повороту**

Овальність  $O$  це відношення максимального значення діаметра труби до мінімального в перерізі труби де були здійснені виміри.

$$O = D_{\max} / D_{\min} \quad (3.8)$$

Якщо відомі значення вимірів максимального та мінімального діаметра труби, то можливо визначити відхиленні максимального та мінімального діаметра від його середнього значення.

Відносне відхилення  $O_v$  визначали як

$$O_v = (O_{\max} - O_{\min}) / O_{\text{сеп}} \quad (3.9)$$

$$O_{\text{сеп}} = (O_{\max} + O_{\min}) / 2; \quad (3.10)$$

Виміри по впливу дрібності деформування на овальність труб при різних варіантах виконання подачі та повороту провели на маршруті виготовлення труб 25x2,5мм – 16x1,5мм (стан ХПТ 6-20, сталь 08X18H10T) [99,100,101,102,103]. Прокатку здійснювали за наступними варіантами виконання подачі та повороту 1,2,3,4.

При варіанті 2 овальність стала меншою. Лінія тренда, що описує ріст овальності залежно від величини, лежить нижче, чим у випадку з режимом 1.

Для процесу за варіантом 4 рівень овальності значно знижується по зрівнянню з варіантом 1.

Порівнюючи овальності труб отриманих за чотирьома варіантами здійснення подачі та повороту видно, що режими 2 та 4 є більш ефективними з точки зору отримання менших овальностей труб. І відповідно отримувати труби з меншими відхиленнями від номінального діаметра.

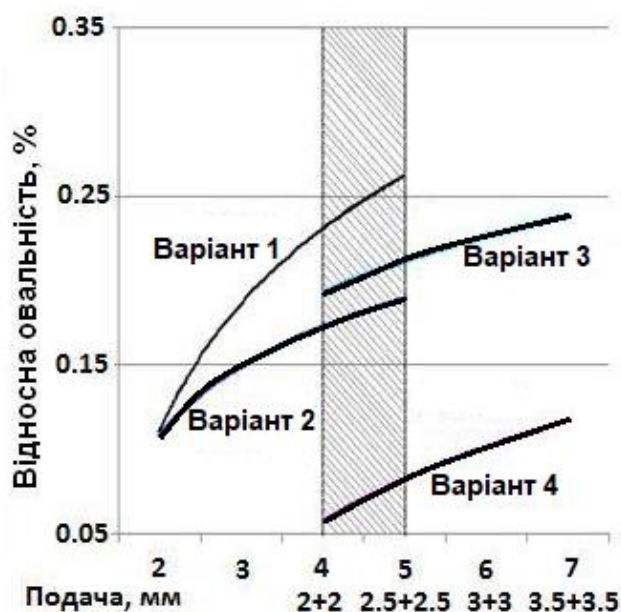


Рис. 3.7 – Відносна овальність труби залежно від величини подачі й режиму ведення повороту труби (25x2,5–16x1,5, ХПТ 6-20, 08X18Н10Т) при чотирьох варіантах виконання подачі та повороту.

Найбільш прийнятної з погляду точності діаметру труб є варіант 4 – де подачу та поворот здійснюють перед деформуванням прямим та зворотнім ходом кліті. Дані дослідження доводять актуальність роботи

Здійснили також дослідження відхилень зовнішнього діаметра по довжині труби за чотирьома варіантами здійснення подачі та повороту за умови рівного лінійного зміщення металу за подвійний хід кліті (таблиця 3.2 та таблиця 3.3 та рис. 3.8 рис. 3.9).

Таблиця 3.2 – Експериментальні дані щодо зміни зовнішнього діаметра по довжині труб при веденні процесу ХПТ з різними режимами виконання повороту і подачі в передньому і задньому положенні кліті.

Режим прокатки	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3	Варіант 4	
Подача, мм	4	4	2+2	2+2	
D <sub>x</sub> , мм	1	16,10	16,12	16,11	16,10
	2	16,09	16,12	16,11	16,11
	3	16,10	16,11	16,11	16,11
	4	16,11	16,11	16,11	16,10
	5	16,11	16,11	16,12	16,10
	6	16,11	16,12	16,12	16,10
	7	16,10	16,12	16,12	16,10
	8	16,09	16,11	16,12	16,11
	9	16,10	16,11	16,12	16,11
	10	16,11	16,12	16,12	16,11
	11	16,11	16,11	16,13	16,10
	12	16,10	16,11	16,13	16,10
	13	16,09	16,11	16,14	16,10
	14	16,09	16,11	16,14	16,10
	15	16,09	16,12	16,13	16,11
	16	16,10	16,11	16,12	16,11
	17	16,10	16,12	16,11	16,11
	18	16,09	16,12	16,11	16,10
	19	16,09	16,12	16,12	16,10
	20	16,08	16,12	16,12	16,11
D <sub>ср</sub> , мм	16,10	16,12	16,12	16,10	

За результатами виміром наведених у таблиці 3.3, були визначені відхилення зовнішнього діаметра по довжині труби від його середнього діаметра в контрольних перетинах (таблиця 3.3) та рис. 3.9.

Відхилення склали 0,023 мм для варіанту 1; 0,012 для варіанту 2; та 0,012 для варіанту 4. Найбільш прийнятною з точки зору отримання точного зовнішнього діаметра є варіанти 2 та 4 здійснення подачі та повороту (див. рис. 3.8 та 3.9). При цьому схема з додатковою подачею і додатковим поворотом (за умови рівності лінійного зміщення металу за подвійний хід) за рахунок застосування зменшеної розвалки калібрів і отримання значно більш точних труб по стінці є більш кращою.

Таблиця 3.3 – Результати розрахунків вимірів відхилень зовнішнього діаметра від середнього діаметра по довжині труби за варіантами 1,2,3,4

Режим прокатки		Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3	Варіант 4
Подача, мм		4	4	2+2	2+2
Dx- Dcp, мм	1	0,002	0,005	-0,0105	-0,0045
	2	-0,008	0,005	-0,0105	0,0055
	3	0,002	-0,005	-0,0105	0,0055
	4	0,012	-0,005	-0,0105	-0,0045
	5	0, 012	-0,005	-0,0005	-0,0045
	6	0,012	0,005	-0,0005	-0,0045
	7	0,002	0,005	-0,0005	-0,0045
	8	-0,008	-0,005	-0,0005	0,0055
	9	0,002	-0,005	-0,0005	0,0055
	10	0,012	0,005	-0,0005	0,0055
	11	0,012	-0,005	0,0095	-0,0045
	12	0,002	-0,005	0,0095	-0,0045
	13	-0,008	-0,005	0,0195	-0,0045
	14	-0,008	-0,005	0,0195	-0,0045
	15	-0,008	0,005	0,0095	0,0055
	16	0,002	-0,005	-0,0005	0,0055
	17	0,002	0,005	-0,0105	0,0055
	18	-0,008	0,005	-0,0105	-0,0045
	19	-0,008	0,005	-0,0005	-0,0045
	20	-0,018	0,005	-0,0005	0,0055

З таблиць 3.2 та 3.3 видно, що по довженні труби середній діаметр труби в перетинах коливається в діапазоні до 0,001мм.

Коливання середнього чередуються. Амплітуда коливань майже не перевищує 0,01мм. Для труб діаметром 16x1,5мм допуск по діаметру +/-10%. Це півтора десятих міліметрів в збільшенні чи зменшенні діаметру.

Таким чином коливання знаходяться в полі допуску. Такі коливання мають позитивне значення на торцях труб де відбувається їх з'єднання. При з'єднанні труб їх торці будуть прилягати один одному так як їх діаметр буде коливатись не більш ніж 0,02мм.

З рисунку 3.8 видно, що варіант 2 де виконується поворот перед прямим та перед зворотнім ходом забезпечує рівність відхилені в більшу та меншу

сторону від середнього значення діаметру. Це також забезпечує більш точне прилягання торців труб при їх з'єднанні.

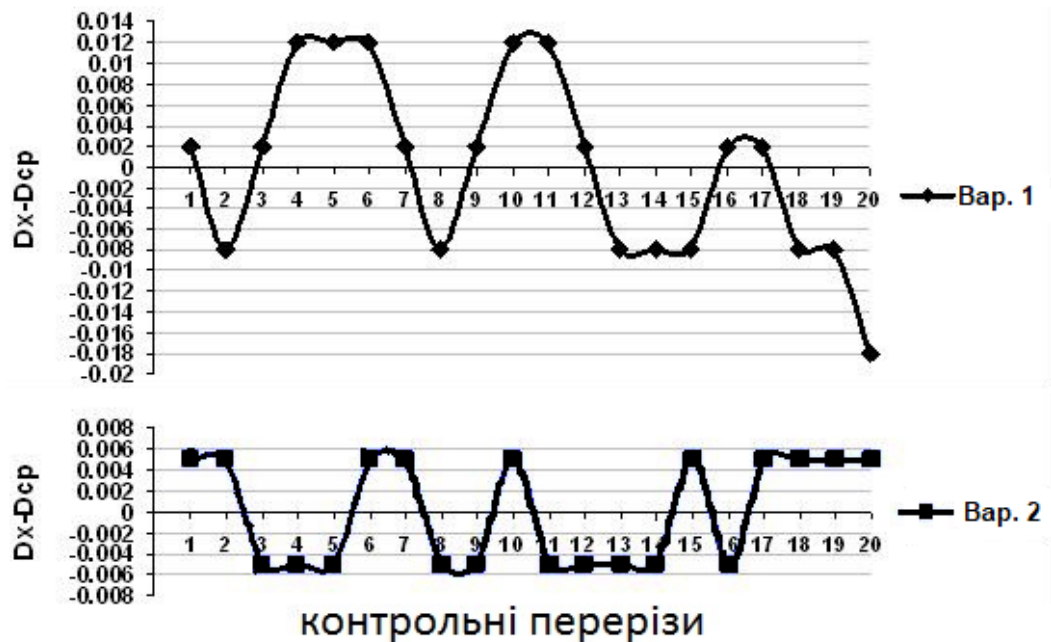


Рис. 3.8 – Відхилення зовнішнього діаметра від його середнього значення в контрольних перетинах при веденні процесу прокатки за варіантами 1 та 2 виконання повороту і подачі перед деформування прямим та зворотнім ходом кліті.

З рисунку 3.9 видно, що варіант 4 де виконується подача та поворот перед деформуванням прямим, а також зворотним ходом також забезпечує рівність відхилень в більшу та меншу сторону від середнього значення діаметру по зрівнянню з варіантом 1 де подачу виконують перед прямим ходом кліті, а поворот перед зворотнім ходом кліті.

Таким чином варіант 4 майже до двох разів забезпечує зниження відхилень труб по довжині труби по зрівнянню з варіантом 1 виконання подачі та повороту. забезпечує.

Це також забезпечує більш точне прилягання торців труб при їх з'єднанні та підвищує службові характеристики виробів з цих труб.

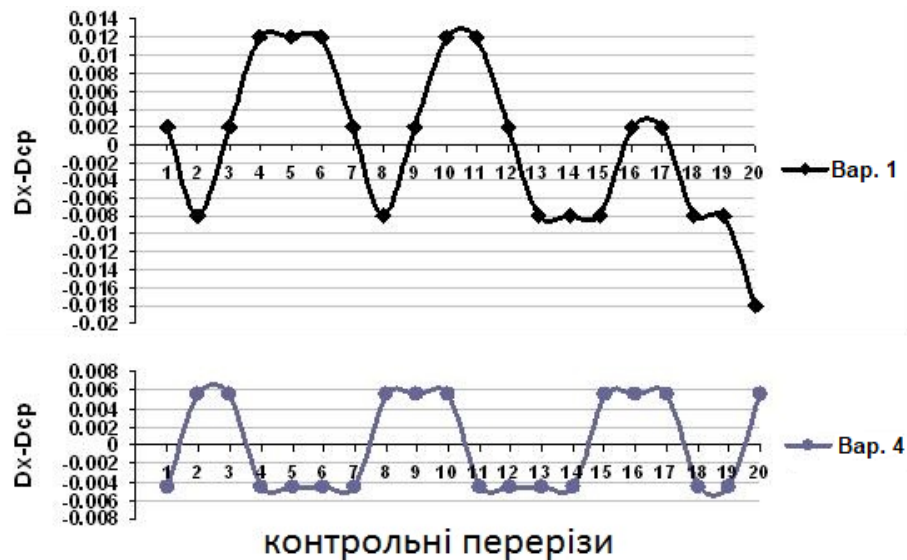


Рис. 3.9 – Відхилення зовнішнього діаметра від його середнього значення в контрольних перетинах при веденні процесу прокатки за варіантами 1 та 4 виконання повороту і подачі перед деформування прямим та зворотнім ходом кліті.

Механізм зменшення поперечної різностінності та овальності труб може бути поясненим з залежності з визначення ширини калібру, що необхідно для забезпечення відсутності підрізів на трубах ребордами валків при прокатці (рис. 3.10).

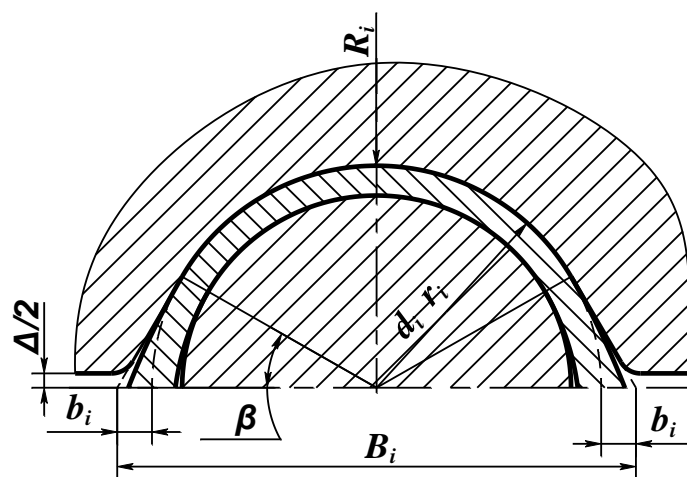


Рис. 3.10 – Параметри калібру в перетині  $i$  [18]:  $\Delta$  – зазор між калібрами;  $B_i$  – ширина калібру;  $b_i$  – розвалка калібру;  $\beta$  – кут розвалки;  $r_i$  – радіус калібру;  $R_i$  – відстань від центра обертання калібру до труби в гребні ривчака;  $d_i$  – діаметр в перетині  $i$ .

Ширина рівчака:

$$B_i = 2 R_i + 2b_i \quad (3.11)$$

де:  $2b_i$  - розвалка в перетині  $i$ ;

$$b_i = k_m m \mu_{s,i} \operatorname{tg} \gamma_i, \quad (3.12)$$

де:  $m$  – подача;  $k_m$  - коефіцієнт, рівний 1,2...1...1,7;

$\mu_{s,i}$  – наростаючого коефіцієнт витяжки по стінці

Таким чином величина розвалки залежить прямо пропорційно від величини подачі  $m$ . Якщо за варіантом 4 ми зменшуємо величину подачі удвічі то і потрібна розвалка для забезпечення прокатки труб без підрізів буде в два рази меншою. І різниця між товщиною стінки в випуску  $i$  в круглій частини калібру буде меншою. В свою чергу різниця між товщиною стінки в випуску  $i$  в круглій частини калібру визначає рівень різностінності труб.

Таким чином за варіантом 4 коли ми зменшуємо подачу у двічі по зрівнянню за варіантом 1 виникають умови для в 1,5 -2,0 рази зниження рівня різностінності труб.

Величина ширини калібру  $B_i$  дорівнює:

$$B_i = D_i + 2k_m m \mu_{s,i} \operatorname{tg} \gamma_i, \quad (3.15)$$

Відношення ширини калібру  $B_i$  до його висоти називають овальністю калібру. Овальність труби прокатої в вірно спроектованому калібрі не перевищує овальність калібру. Таким чином овальність труби теж прямо пропорційно залежить від величини подачі. І так само, якщо за варіантом 4 ми зменшуємо величину подачі удвічі то і потрібна ширина калібру буде меншою.

В свою чергу і потрібна овальність калібра для забезпечення прокатки труб без підрізів буде меншою, і овальність прокатаної труби теж буде меншою.

### **3.3 Отримання залежності з розкиду поперечної різностінності у пакеті труб за варіантом з подачею та поворотом при деформування прямим, а також зворотним ходом кліті**

Особливістю технології виробництва труб холоднодеформованих труб є переробка труб пакетами до 5т. Пакети труб передають кранами по всій ціпочці операцій в технології їх обробки. Холодне пільгерне деформування труб-заготовок здійснюють поштучно. Різноманітні фактори прокатки впливають на точність труб.

Для отримання статистичного аналізу з розкиду різностінності готових труб взяли пакет з 25 труб. Труби розміром 25,4x2,11мм. Стан ХПТ 40-8. Здійснення подачі та повороту – варіант 4 , подача 3+3 мм табл. 3.4.

Вимірили трубним мікрометром максимальну і мінімальну стінку на кожній трубі. Вирахували середнє значення стінки, абсолютну і відносну різностінність.

Після статистичної обробки отримали гістограму абсолютних частот випадків (рис. 3.11).

Таблиця 3.4 – Різностінність труб розміром 25,4x2,11 (08x14МФ) прокатаних на стані ХПТ 40-8 по маршруту 48x4,1→ 25,4x2,11мм (подача 3+3мм).

№ тр	$S_{\max}$	$S_{\min}$	$S_{\text{cp}}$	Різностінність %	№ тр	$S_{\max}$	$S_{\min}$	$S_{\text{cp}}$	Різностінність %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	2,38	2,46	2,34	5,04	13	2,32	2,36	2,28	3,45
2	2,39	2,42	2,33	3,77	14	2,33	2,37	2,28	3,87
3	2,35	2,38	2,32	2,56	15	2,34	2,37	2,3	2,99
4	2,34	2,36	2,31	2,14	16	2,35	2,4	2,3	4,26
5	2,33	2,37	2,3	3,01	17	2,37	2,42	2,31	4,64

## Продовження таблиці 3.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
6	2,34	2,37	2,3	2,99	18	2,36	2,4	2,32	3,39
7	2,33	2,37	2,3	3,00	19	2,29	2,33	2,23	4,36
8	2,34	2,37	2,24	5,57	20	2,35	2,36	2,34	0,85
9	2,35	2,42	2,3	5,11	21	2,31	2,35	2,27	3,47
10	2,30	2,35	2,24	4,78	22	2,28	2,31	2,25	2,63
11	2,35	2,36	2,32	1,71	23	2,32	2,35	2,29	2,58
12	2,34	2,37	2,3	3,00	24	2,36	2,39	2,32	2,97

Значення середньої стінки – 3,51% (0,082мм.). Відхилення розміщені в діапазоні від 1 % до 5%. При допусках на середню стінку +/-10 % такі результати є такими, що показують значну перевагу варіанту 4 здійснення подачі та повороту .

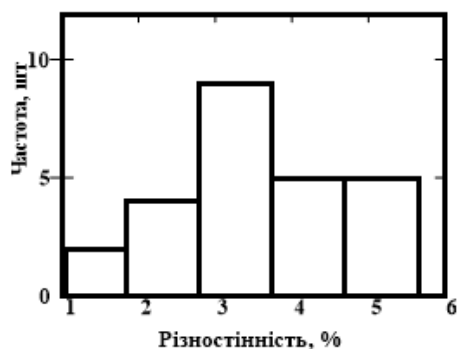


Рис. 3.11 – Гістограма абсолютних частот випадків відносної різностінності.

### 3.4 Отримання залежності по зміні поперечної різностінності в пакетах труб від труби-заготовки до готової труби за варіантом з подачею та поворотом при деформування прямим, а також зворотним ходом кліті

Експериментальне дослідження зміни поперечної різностінності від труби-заготовки до готової труби провели для варіанту 4 виконання подачі та повороту.

Стан КРВ-25. Маршрут прокатки 33,7x3,2 - 16x1,5.

Сталь 08X18H10T. Подача 2,8+2,8мм Число подвійних ходів 280. Було прокатано 12 труб.

Товщину стінки вимірювали у восьми точках з обох кінців труби за допомогою мікрометра, отримані данні оброблялися методами аналітичної статистики (табл. 3.5 додаток Р та табл. 3.6 додаток С).

Після прокатки по зазначеному маршруту готові труби придбали наступні параметри з товщини стінки (табл. 3.6).

Труби-заготовки мали наступні параметри точності (рис.3.12):

- відносна різностінність труб (мінімальна) 1,79 % (0,06 мм),
- відносна різностінність (максимальна) 7,62 % (0,25мм) при середньому значенні 3,207% (0,107 мм),
- вибіркова дисперсія 2,79%;
- середньоквадратичне відхилення абсолютних величин різностінності труб 0,056 мм, відносних величин – 1,672 %.

Таблиця 3.5 – Точність товщини труби заготовки 33,7x3,2 зі сплаву 08X18H10T.

Тр. №		Товщина стінки, мм			Різностінність, %	Тр. №		Товщина стінки, мм			Різностінність, %
		S <sub>мін</sub>	S <sub>макс</sub>	S <sub>ср</sub>				S <sub>мін</sub>	S <sub>макс</sub> <sub>с</sub>	S <sub>ср</sub>	
1	п.к.	3,30	3,36	3,34	1,80	7	п.к.	3,30	3,40	3,37	2,97
	з.к.	3,27	3,35	3,31	2,42		з.к.	3,30	3,38	3,32	2,41
2	п.к.	3,30	3,40	3,37	2,97	8	п.к.	3,27	3,33	3,29	1,82
	з.к.	3,30	3,38	3,32	2,41		з.к.	3,30	3,50	3,38	5,92
3	п.к.	3,12	3,37	3,28	7,62	9	п.к.	3,30	3,36	3,34	1,80
	з.к.	3,30	3,37	3,33	2,10		з.к.	3,27	3,35	3,31	2,42
4	п.к.	3,27	3,40	3,33	3,90	10	п.к.	3,27	3,40	3,33	3,90
	з.к.	3,30	3,37	3,33	2,10		з.к.	3,30	3,37	3,33	2,10
5	п.к.	3,27	3,33	3,29	1,82	11	п.к.	3,27	3,40	3,33	3,90
	з.к.	3,30	3,50	3,38	5,92		з.к.	3,30	3,37	3,33	2,10
6	п.к.	3,27	3,40	3,33	3,90	12	п.к.	3,27	3,33	3,29	1,82
	з.к.	3,30	3,37	3,33	2,10		з.к.	3,27	3,50	3,40	6,76

Прокатані труби мали: відносну різностінність мінмальну 1,881 % (0,03 мм), максимальну 3,137 % (0,05 мм);

– середнє значення відносної різностінності 2,614% (0,042 мм)

– вибіркова дисперсія 0,085%;

– середньоквадратичне відхилення абсолютних величин різностінності труб 0,05 мм, відносних величин – 0,291 %.

У результаті прокатки труб за варіантом 4 здійснення подачі та повороту досягнуті наступні результати: мінімальне значення відносної різностінності збільшилося на 0,083%, максимальне зменшилась на 4,479%; абсолютна різностінність по мінімальним значенням зменшилась на 0,03 мм (з 0,06 до 0,03 мм) а по максимальним на 0,2 мм (з 0,25 до 0,05 мм); вибіркова дисперсія знизилася на 2,711 % (з 2.796 до 0.085%); середньо квадратичне відхилення зменшилося на 1,38 % (з 1,672 до 0,291%).

Таблиця 3.6 – Точність товщини труби зі сплаву 08X18H10T, прокатоної на стані КРВ-25 по маршруту 33,7x3,2 - 16x1,5 (подача 2,8+2,8 число подвійних ходів 280)

Тр. №		Товщина стінки, мм			Різностінність, %	Тр. №		Товщина стінки, мм			Різностінність, %
		S <sub>мін</sub>	S <sub>макс</sub>	S <sub>ср</sub>				S <sub>мін</sub>	S <sub>макс</sub> <sub>c</sub>	S <sub>ср</sub>	
1	п.к.	1,57	1,61	1,59	2,52	7	п.к.	1,58	1,62	1,60	2,50
	з.к.	1,57	1,61	1,60	2,51		з.к.	1,58	1,63	1,60	3,12
2	п.к.	1,57	1,61	1,58	2,53	8	п.к.	1,58	1,63	1,60	3,12
	з.к.	1,57	1,61	1,59	2,52		з.к.	1,58	1,62	1,60	2,51
3	п.к.	1,57	1,61	1,59	2,52	9	п.к.	1,58	1,62	1,60	2,50
	з.к.	1,57	1,61	1,59	2,52		з.к.	1,58	1,61	1,60	1,88
4	п.к.	1,57	1,62	1,59	3,14	10	п.к.	1,57	1,62	1,59	3,14
	з.к.	1,57	1,61	1,59	2,52		з.к.	1,57	1,61	1,59	2,52
5	п.к.	1,57	1,61	1,59	2,52	11	п.к.	1,58	1,62	1,60	2,51
	з.к.	1,58	1,62	1,59	2,51		з.к.	1,58	1,62	1,60	2,51
6	п.к.	1,58	1,62	1,60	2,51	12	п.к.	1,58	1,63	1,60	3,12
	з.к.	1,58	1,62	1,60	2,51		з.к.	1,58	1,62	1,60	2,50

Слід відзначити, що різностінність труб-заготовок зменшилась значно.

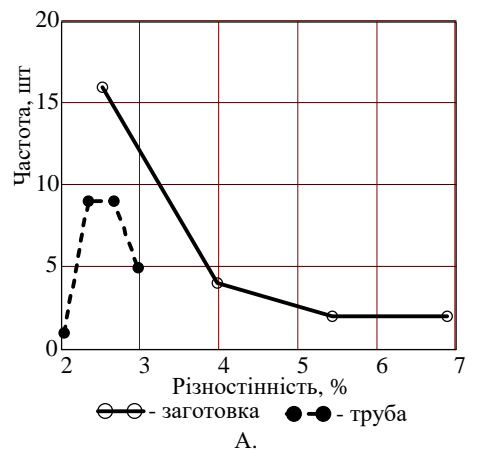


Рис. 3.12 – Полігон абсолютних частот випадків відносної (А) різностінності.

### 3.5 Розробка залежності визначення розвалки для процесу прокатки зворотним ходом кліті

Розширення застосування процесу холодного пільгерного деформування за варіантом 4 ставить задачу по визначенню розвалки рівчаків валків при деформуванні зворотнім ходом кліті. З практика відомо, що величина розвалки виконана відповідно до методики калібровки пропорційних обтисень (КПО) є великою. Для порівняння виконали розрахунки за методикою КПО та Осади. ХПТ-55, 57x4,5-38x1,8 мм,  $m=6$  мм (рис. 3.13).

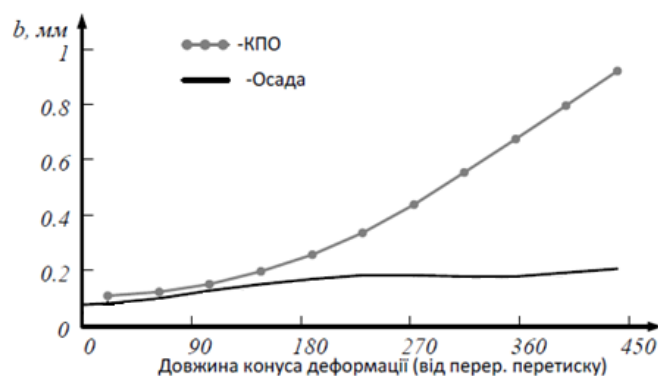


Рис. 3.13 – Розрахункові величини розвалки по довжині робочого конуса деформування (ХПТ-55, 57x4,5-38x1,8 мм,  $m=6$  мм).

Потрібна формула, де б враховувалися особливості деформування при зворотному ході.

Розробили наступну альтернативну формулу для визначення розвалки по довжині робочого конусу для деформування при зворотному ході кліті [104 93]:

$$b_x = \left( 100 \frac{2m\mu_{\Sigma x} \operatorname{tg} \gamma_x}{D_i + 2m\mu_{\Sigma x} \operatorname{tg} \gamma_x} + 1 \right) m\mu_{\Sigma x} \operatorname{tg} \gamma_x \quad (3.16)$$

Для порівняння виконали розрахунки за методикою КПО та Осади. ХПТ-55, 57x4,5-38x1,8 мм, m=6 мм (рис. 3.14).

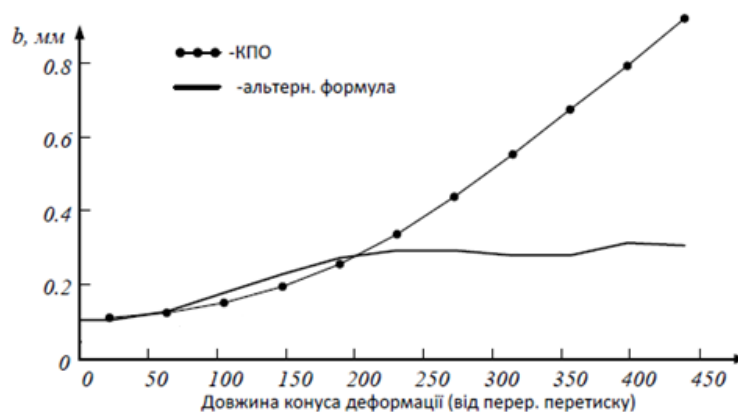


Рис. 3.14 – Порівняльні результати розрахунків величини розвалки уздовж конуса деформації, виконаних за альтернативною формулою (ХПТ-55, 57x4,5-38x1,8 мм, m = 6 мм).

### Висновки до розділу 3

1. Вперше здобуті експериментальним шляхом залежності з поперечної різностінності труб від варіанту здійснення подачі та повороту у процесі холодного пільгерного деформування. Показано, що ведення процесу ХПТ за варіантом 4 з подачею та поворотом перед деформування прямим і також зворотним ходами кліті дають в 1,5-2 рази кращі показники по поперечній

різностінності труб в порівнянні з варіантом 1 з подачею перед деформуванням прямим ходом кліті, а поворотом труби перед деформуванням зворотним ходом кліті;

2. Вперше здобуті експериментальним шляхом залежності з овальності труб від варіанту здійснення подачі та поворот у процесі холодного пільгерного деформування. Показано, що овальність труб за варіантом 4 в 1,5 - 2 рази зменшуються в порівнянні з варіантом 1.

5. Здобуті вперше експериментальні залежності по відхиленню зовнішнього діаметра від його середнього значення по довжині труб в залежності від варіанту сполучень подачі та повороту. Показано, що відхилення діаметра труб від його середнього діаметра труб за варіантом 4 в 1,5 - 2 рази зменшується в порівнянні з варіантом 1.

6. Розроблено формулу для розрахунку величини розвалки уздовж конуса деформації для умов зворотного ходу.

## **РОЗДІЛ 4 РЕКОМЕНДАЦІЇ З ЗАСТОСУВАННЯ ЗАЛЕЖНОСТЕЙ З ВПЛИВУ ДРІБНОСТІ ДЕФОРМУВАННЯ НА МІКРОСТРУКТУРУ ТА ТОЧНІСТЬ У ПРОЦЕСІ ХОЛОДНОГО ПІЛЬГЕРНОЇ ПРОКАТКИ ТРУБ ДЛЯ РОЗРОБОК ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОБНИЦТВА**

### **4.1 Отримання Патенту України на корисну модель з відмінною ознакою с застосування найбільш раціонального варіанту 4 сполучення виконання подачі та повороту**

Четвертий розділ стосується рекомендацій стосовно застосування залежностей отриманих в дисертаційній роботі. Приведено розроблену математично-структурну модель з визначення режиму подачі та повороту для забезпечення необхідної точності труб. В моделі показано послідовні кроки, де приведено формули для розрахунків та посилання на графіки отриманих експериментальних залежностей для визначення варіанту здійснення подачі та повороту.

Представлено технічне рішення з участю автора дисертаційної роботи, по якому отримано патент України № 26279 на корисну модель стосовно застосування способу прокатки за варіантом застосування процесу холодного деформування пільгерною прокаткою з підвищеною дрібністю деформування за варіантом 4 коли подачу та поворот виконують перед деформуванням прямим та деформуванням зворотнім ходом кліті.

Приведено також результати досліджень з точності труб пакетів прокатаних з застосуванням холодного пільгерного деформування з підвищеною дрібністю деформування за варіантом 4.

Матеріали роботи дали змогу виконати роботу по створенню технічного рішення з участю автора дисертаційної роботи, по якому оформлено патент №26279 на корисну модель [105].

Патент відноситься до обробки металів і призначено для використання при виготовленні труб для енергетичного машинобудування.

В технічному рішенні по патенту на корисну модель є дві складові: 1 – рішення по термічній обробці труб; 2 – рішення по обробці металів тиском.

Автор відображає в дисертаційній роботі тільки складову технічного рішення по патенту на корисну модель №26279, що стосується обробки металів тиском та розробок цієї дисертації.

В аналогу для обробки металу тиском – холодним пільгерним деформуванням застосовано процес холодної прокатки труб роликками (ХПТР). Такий процес дає високі показники по точності труб – по діаметру та по стінці, але має дуже низьку продуктивність, що значно підвищує собівартість виробництва труб. Відносна деформація по площі поперечного перетину труби-заготовки не перевищує 33%, а абсолютне обтиснення труби-заготовки по діаметру не перевищує 2-3 мм.

Відомо, що у процесі холодного пільгерного деформування труб валками відносна деформація по площі поперечного перетину труби- заготовки досягає 88%, а відносна деформація по діаметру досягає 30%. З появою станів холодного пільгерного деформування, де є можливість здійснювати різноманітні сполучення подачі та повороту, поперечна різностінність і овальність труб значно зменшується, для варіанту здійснення подачі та повороту де перед прямим та зворотнім ходом виконують подачу.

Такі можливості процесу холодного пільгерування валками ввійшли в технічне рішення Патенту України на корисну модель № 26279.[94]

В способі холодної прокатки валками за варіантом здійснення подачі та повороту де перед прямим та зворотнім ходом виконують подачу та поворот, і де подачі по своїй величині для прямого і зворотного ходу рівні водночас підвищуються параметри точності труб і продуктивність процесу. Це відбувається за рахунок більших значень дрібності деформування за рахунок додаткової подачі та за рахунок додаткового повороту робочого конусу деформування.

Слід відмітити, що у способу прокатки за варіантом з подачею та поворотом як перед прямим так і перед зворотнім ходом характерним є

збільшення сили необхідної для зриву труби з оправки при її подачі перед деформуванням прямим ходом. Причиною цьому є напресування робочого конуса деформування на оправку в процесі деформування металу при зворотному ходу кліті. Метал з миттєвого осередка деформування не може виходити в сторону патрона подачі, де задній торець труби заготовки стиснуто. В цей період деформування значно зростають осьові сили, що діють на трубу. І цього достатньо для напресування робочого конусу на оправку.

Одним з варіантів зниження ефекту напресування є зменшення величин подач. Таким чином, процес холодної пільгерної прокатки за варіантом з подачею та поворотом перед прямим та зворотним ходом є раціональним:

А – при подачі  $m/2$  перед прямим ходом та  $m/2$  перед зворотнім є раціональним по зрівнянню з процесом з подачею тільки  $m$  перед прямим ходом кліті;

Б – а також при прокатці тонкостінних труб де в цілому сили прокатки та осьові сил менші по зрівнянню з прокаткою товстостінних труб.

При режимі А зменшується вдвічі подача за один хід і довжина робочого конусу деформування за подвійний хід кліті, це приводить до майже вчетверо збільшеній дрібності деформування.

Одна із задач поставлених в корисній моделі є збільшення дрібності деформування при удосконаленні процесу холодної пільгерної прокатки і для виробництва готових труб з підвищеною якістю по параметрам точності труб.

Поставлена задача вирішується тим, що а трубу - заготовку деформують холодною прокаткою на станах ХПТ з додатковою подачею перед зворотним ходом і додатковим поворотом перед деформуванням прямим ходом.

Така схема деформування труби заготовки за рахунок розподілу подачі між двома ходами кліті збільшує дрібність деформування, та знижує осьові зусилля і відповідно зменшує напресування труби на оправку і полегшує зрив труби з оправки при подачі перед деформуванням прямим ходом кліті.

Для порівняння здійснили прокатки по трьом варіантам. Виготовили труби 16x2,0 мм. Заготовку була гарячепресована. Сталь 08Х14МФ.

- 1) за аналогом, з застосуванням стану ХПТР;
- 2) за прототипом, за теплою прокаткою на стані ХПТ та за прокаткою з подачею перед прямим ходом а поворотом перед зворотнім;
- 3) за способом по патенту і прокаткою на стані ХПТ з подачею та поворотом перед прямим та перед зворотнім ходом.

Труба заготовка була виготовлена гарячим пресуванням на пресі.

Маршрут виготовлення труби 16x2,0 мм за аналогом (труба-заготовка 95x12,5мм,)

0. 95x12,5
1. 93x11,0м/о, т/о
2. 38x5,7 ХПТ 90-4В, т/о
3. 18x2,7 ХПТ-32, т.о.
4. 16x2,0 ХПТР 15-30, т/о, гот

Маршрут виготовлення труби 16x2,0 мм за прототипом (труба - заготовка 87x8,5мм)

- 0.87x8,5
1. 34x4,1 ХПТ 90-4В
2. 16x2,0 ХПТ-32, гот.

Маршрут виготовлення труби 16x2,0мм за патентом з використанням подачі і повороту перед прямим та зворотнім ходом кліті на стані ХПТ32. (труба заготовка 95x10,0мм).

0. 95x10,0
1. 93x8,5 м/о, т/о
2. 38x4,4 ХПТ 90-4В, т/о
3. 16x2,0 ХПТ-32, т/о, гот.

За варіантом виробництва за способом по патенту вихід годної труби знизився лише на 10 % по зрівнянню з аналогом та прототипом відповідно 16% та 36%.

З співставлення маршрутів видно, що за способом по патенту циклічність виробництва знизилась на один цикл технологічних операцій.

Слід зазначити додатково, що якість поверхні труб збільшилася за рахунок зменшення шорсткості їх поверхні.

За варіантом виробництва за способом по патенту вихід годної труби знизився лише на 10 % по зрівнянню з аналогом та прототипом відповідно з 16% та 36%. Слід зазначити, що промислові дослідження показали як використання варіанту 4 виконання подачі з подачею та поворотом перед прямим та зворотнім ходом кліті забезпечує виготовлення холоднодеформованих труб з зменшеними витратами металу [94].

#### 4.2 Математично-структурна модель створеного методу визначення режиму подачі та повороту для забезпечення необхідної точності труб

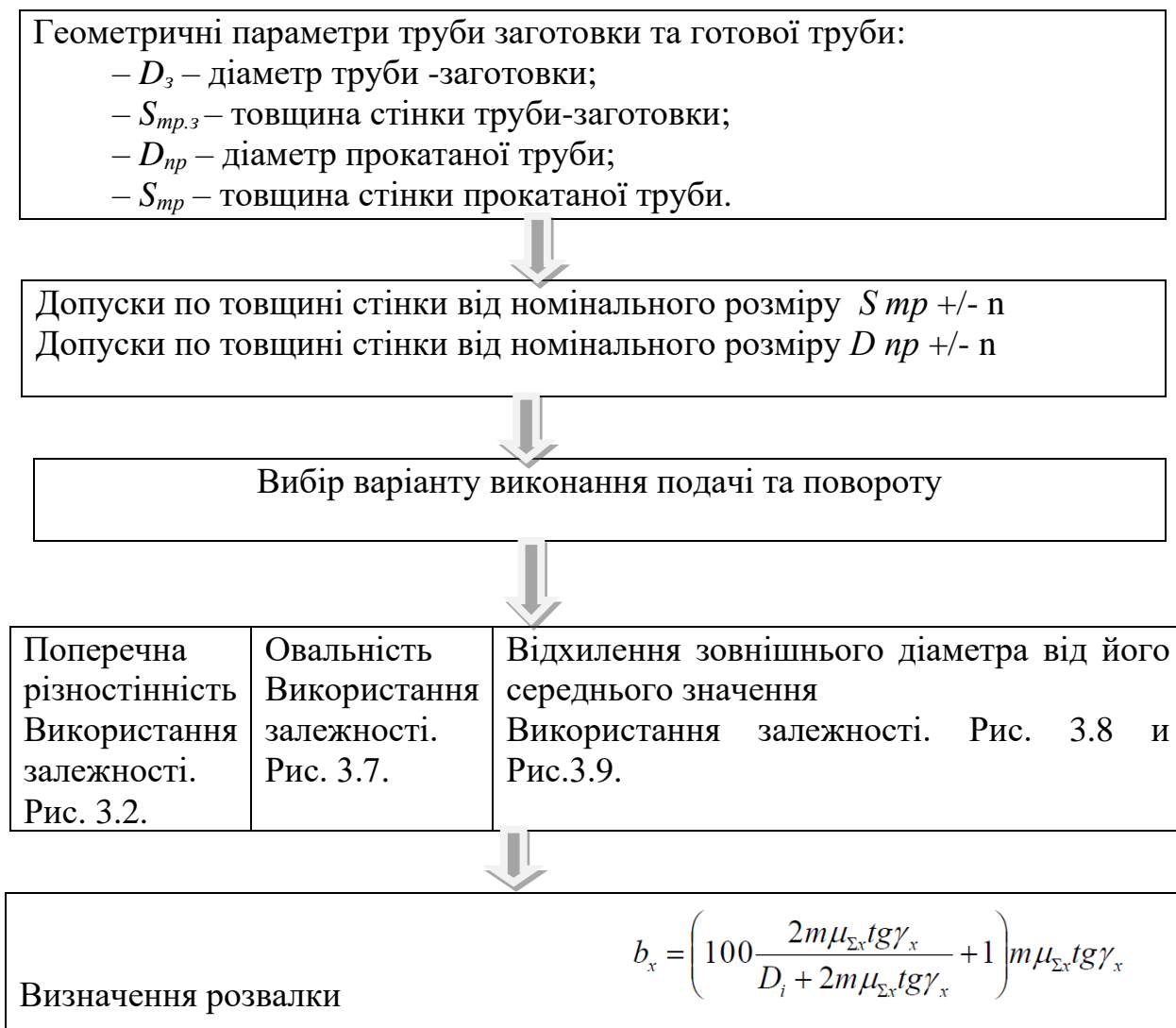


Рис. 4.1 –Послідовність кроків по застосуванню розробок дисертаційної роботи при розробці режимів деформування.

### **4.3 Вибір з раціональних параметрів процесу – співвідношення подач, кутів повороту, впливу товстостінності труб**

В даний час на ПрАТ «СЕНТРАВІС ПРОДАКШН ЮКРЕЙН» за варіантом 4 з використанням подачі та повороту перед деформуванням прямим та зворотнім ходом прокатують частково 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 широкої гамми марок сталей і розмірів труб.

Це дозволило визначити області ефективного застосування цього способу прокатки:

1) Підвищена ефективність прокатки за варіантом 4 застосування подачі та повороту має місце при теплій прокатці, що, очевидно, пов'язано з меншим коефіцієнтом тертя між оправкою і трубою при мастилi, що має графіт і, відповідно відносно меншою силою зриву труб з оправки, ніж при холодній прокатці;

2) При прокатці товстостінних труб ускладнюється процес прокатки з подвійною подачею, оскільки збільшується сила зриву труби з оправки, особливо перед зворотним ходом кліті;

3) При прокатці з деформаціями по діаметру 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;

4) 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.

### **4.4 Аналіз якості прокатаних партій труб із застосуванням подачі та повороту перед прямим та зворотним ходом кліті**

В останній час ряд підприємств реконструювали стани холодної прокатки труб шляхом обладнання стану розподільчо-подаючим механізмом з

можливістю ведення процесу з подачею та поворотом в обох положеннях кліті. Встановлені також нові сучасні стани де є можливість виконувати подачу та поворот наперед прямим та перед зворотним ходом кліті.

Ціллю цієї частини роботи є дослідження впливу такої реконструкції на точність труб, а також на коливання величини середньої товщини стінки в тому числі.

Для аналізу впливу ведення процесу холодної пільгерної валкової прокатки труб з подачею та поворотом в обох положеннях кліті на вище наведені параметри, вибрано два маршрути (таблиця 4.1). З кожного маршруту відібрано по одному пакету труб: - подача та поворот в обох положеннях кліті, (стан ХПТ-32) пакет: № 36102 (50 труб), далі пакет №3; подача перед переднім рухом кліті та поворот перед зворотним рухом кліті (стан ХПТ-32) пакети № 39149 (по 50 труб в кожному), далі пакет №4.

Таблиця 4.1 - Маршрути прокатки

№ пакету	Маршрут прокатки	Кількість труб	Тип ведення процесу
3	0. 70x7,0 1. 38x3,8 ХПТ-55, т.о. 2. 19,05x2,11 ХПТ-32, гот.	50	2*
4	0. 70x7,0 1. 38x3,8 ХПТ-55, т.о. 2. 19,05x2,11 ХПТ-32, гот.	50	1**

\* подача та поворот в обох положеннях кліті  $m=4+4\text{мм}$

\*\* подача перед переднім рухом кліті та поворот перед зворотним,  $m=7\text{мм}$ .

Труби кожного з пакетів було обміряно в восьми точках поперечного перерізу високоточним мікрометром з електронною індикацією даних (точність до третього знаку після зап'ятої).

При цьому реєструвалась величина товщини стінки (вісім замірів поперечного перерізу) та зовнішній діаметр (чотири заміри поперечного перерізу).

Результати замірів оброблялись наступним чином (в кожному перерізі): розраховувалось значення середньої товщини стінки; виділялися екстремальні значення точності діаметру та товщини стінки; розраховувалася овальність (як абсолютна так і відносна); розраховувалася різностінність (як абсолютна так і відносна); дані, що до середньої товщини стінки, овальності та різностінності оброблялися методами аналітичної статистики [75-80].

Результати вимірів представлені в таблиці 4.2 (див. додаток Т). З таблиці 4.2. видно, що діаметр труб пакету №3 приймав значення в межах 19,0-19,1 міліметри.

Об'єм вибірки відносних відхилень діаметру труб прокатаних за варіантом 4 на стані ХПТ-32 представили в таблиці 4.3

Таблиця 4.3 – Об'єм вибірки відносних відхилень діаметру труб прокатаних за варіантом 4 на стані ХПТ-32 (пакет № 3, діаметр труби 19,05 мм, товщина стінки 2,11мм, взято з таблиці 4.3).

№ тр.	Дср. мм	$\Delta D$ , %	№ тр.	Дср. мм	$\Delta D$ , %	№ тр.	Дср. мм	$\Delta D$ , %	№ тр.	Дср. мм	$\Delta D$ , %
1	19.06	0.37	14	19.03	0.21	27	19.06	0.42	40	19.07	0.21
2	19.03	0.16	15	19.05	0.16	28	19.04	0.16	41	19.03	0.26
3	19.05	0.26	16	19.04	0.32	29	19.03	0.21	42	19.04	0.11
4	19.06	0.26	17	19.03	0.16	30	19.05	0.21	43	19.04	0.16
5	19.07	0.16	18	19.06	0.26	31	19.07	0.21	44	19.01	0.11
6	19.06	0.21	19	19.05	0.21	32	19.04	0.32	45	19.05	0.16
7	19.05	0.21	20	19.02	0.16	33	19.08	0.05	46	19.05	0.21
8	19.03	0.26	21	19.04	0.16	34	19.02	0.16	47	19.02	0.16
9	19.06	0.21	22	19.07	0.16	35	19.07	0.16	48	19.04	0.11
10	19.05	0.37	23	19.02	0.16	36	19.05	0.16	49	19.06	0.10
11	19.04	0.11	24	19.05	0.16	37	19.07	0.21	50	19.08	0.10
12	19.04	0.42	25	19.05	0.16	38	19.04	0.11			
13	19.06	0.31	26	19.02	0.21	39	19.07	0.16			

На рисунку 4.2 показано гістограми частот абсолютної та відносної овальності труб пакету №3 (рисунок 4.1 а, та 4.1 б відповідно).

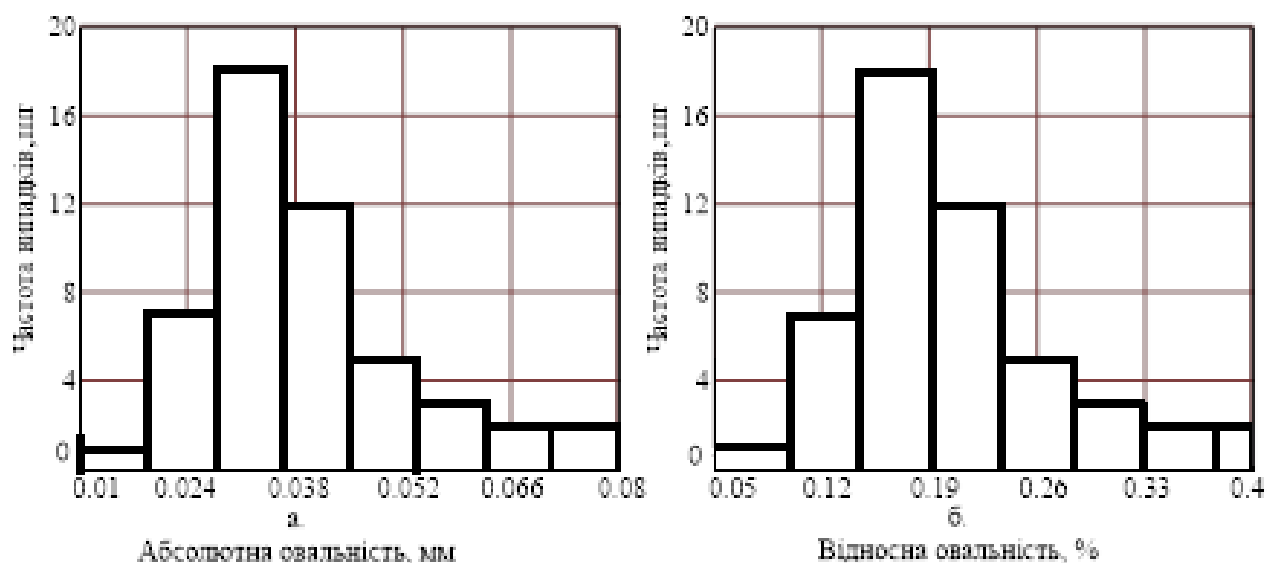


Рис. 4.2 Гістограми частот абсолютної (а) та відносної (б) овальності труб розміром 19,05x2,11, прокатаних з подачею та поворотом в обох положеннях кліті на стані ХПТ-32 (пакет № 3)

З гістограм (див. рис 4.2) можливо судити, що в даному пакеті досить висока щільність розподілу значень овальності вздовж варіаційного ряду. Це доказують значення вибіркової дисперсії:

- 0,00024 міліметри;
- 0,07 процентів.

Овальність труб коливається в межах 0,01-0,08 міліметрів (0,052-0,42 %), при середніх її значеннях – 0,038 міліметр та 0,2 проценти.

Середньоквадратичне відхилення також приймає досить малі значення (0,015 міліметр та 0,081 процент).

Параметри точності величини товщини стінки пакету труб №3 розміром 19,05x2,11 вказано в таблиці 4.4 (див. додатку У). Ці труби прокатані з подачею та поворотом в обох положеннях кліті на стані ХПТ-32. Товщина стінки коливалась в межах 2,25-2,46 міліметри, середня товщина при цьому склала

2,32 міліметри. Об'єм випарки відносних відхилень товщини стінки представлені в табл. 4.5.

Таблиця 4.5 - Об'єм вибірки відносних відхилень товщини стінки труб прокатаних за варіантом 4 на стані ХПТ-32 (пакет № 3, діаметр труби 19,05 мм, товщина стінки 2,11мм, взято з таблиці 4.4).

№ тр.	Scp, мм	$\Delta S$ , %	№ тр.	Scp, мм	$\Delta S$ , %	№ тр.	Scp, мм	$\Delta S$ , %	№ тр.	Scp, мм	$\Delta S$ , %
1	2.29	2.19	14	2.31	2.17	27	2.39	2.51	40	2.31	2.60
2	2.27	1.32	15	2.33	2.58	28	2.30	3.91	41	2.37	2.53
3	2.31	3.90	16	2.28	2.19	29	2.33	2.57	42	2.35	2.98
4	2.33	4.29	17	2.33	4.29	30	2.30	2.61	43	2.28	3.07
5	2.33	3.87	18	2.33	2.58	31	2.37	5.90	44	2.32	1.72
6	2.30	1.74	19	2.38	2.52	32	2.32	2.16	45	2.37	2.11
7	2.29	2.62	20	2.32	3.88	33	2.35	1.28	46	2.34	3.00
8	2.34	2.99	21	2.33	3.01	34	2.35	1.71	47	2.34	2.57
9	2.29	2.18	22	2.35	4.69	35	2.30	2.17	48	2.30	1.30
10	2.35	3.41	23	2.30	1.30	36	2.34	5.12	49	2.28	1.76
11	2.31	4.76	24	2.31	2.60	37	2.36	3.82	50	2.31	2.16
12	2.35	1.70	25	2.33	1.72	38	2.35	2.13			
13	2.27	1.77	26	2.32	3.02	39	2.32	1.72			

З рисунку 4.3, на якому показано гістограми частот точності товщини стінки труб пакету №3 можливо судити про щільність розподілу значень абсолютної (рис 4.3 а) та відносної (рис. 4.3 б) величини різностінності.

Абсолютна різностінність (див рис. 4.3) коливалась в межах 0,03-0,14 міліметри навколо середнього значення 0,062 міліметрів.

Середня відносна різностінність в свою чергу складає 2,651 процент, з коливаннями в межах 1,279-5,901 процентів.

Більшість значень різностінності знаходиться в межах 0,03-0,068 міліметри (1,1 -3 проценти).

Вибіркова дисперсія величини різностінності труб даного пакету 0,00057 міліметри, 1,018 процентів.

Середньоквадратичне відхилення:

- 0,024 міліметри;
- 1,009 процентів.

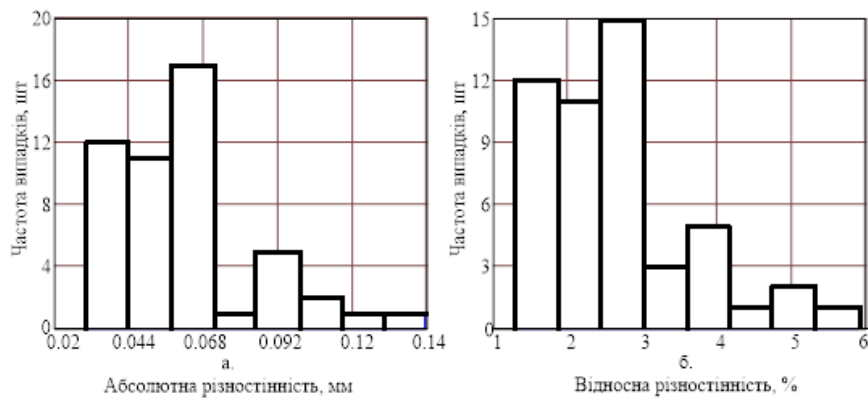


Рис. 4.3 Гістограми частот абсолютної (а) та відносної (б) різностінності труб розміром 19,05x2,11, прокатаних з подачею та поворотом в обох положеннях кліті на стані ХПТ-32 (пакет № 3)

Середня товщина стінки пакету №3 приймала значення в межах 2,265-2,393 міліметри. Середнє значення – 2,323 міліметри. Параметри розкиду значень:

- вибіркова дисперсія 0,00085 міліметри;
- середньоквадратичне відхилення – 0,029 проценти.

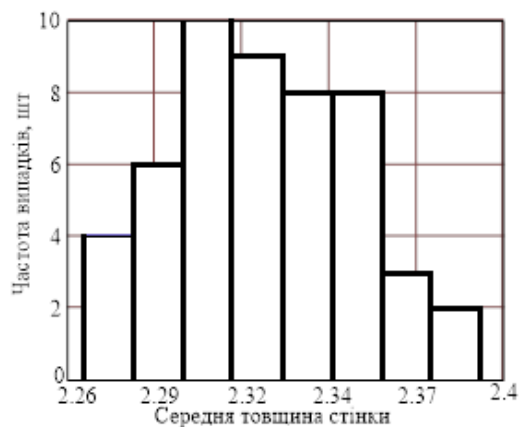


Рис. 4.4 Гістограми частот варіаційного ряду величини товщини стінки пакету №3 (труби розміром 19,05x2,11, що прокатані на стані ХПТ -32 з подачею та поворотом в обох положеннях кліті)

Наступним проводиться аналіз пакетів труб, що прокатані з подачею перед переднім рухом кліті, а поворотом перед зворотним рухом кліті (варіант 1) на стані ХПТ-32 (пакети з діаметром труби 19,05 міліметри, а товщиною стінки 2,11 міліметри – пакет № 4)

В таблиці 4.6 (див. додаток Ф) показано дані, що до точності діаметру труб пакету № 4. Діаметр труб цього пакету коливається навколо середнього діаметра в 19,12 міліметри в межах:

- максимальне значення діаметру – 19,16 міліметри;
- мінімальне значення діаметру – 19,02 міліметри.

Об'єм випарки відносних відхилень діаметру труб представлені в табл. 4.7.

Таблиця 4.7 - Об'єм вибірки відносних відхилень діаметру труб прокатаних за варіантом 1 на стані ХПТ-32 (пакет № 4, діаметр труби 19,05 мм, товщина стінки 2,11 мм, взято з таблиці 4.6).

№ тр.	Дср. мм	$\Delta D$ , %	№ тр.	Дср. мм	$\Delta D$ , %	№ тр.	Дср. мм	$\Delta D$ , %	№ тр.	Дср. мм	$\Delta D$ , %
1	19.09	0.10	14	19.08	0.52	27	19.10	0.31	40	19.06	0.31
2	19.10	0.21	15	19.11	0.42	28	19.08	0.21	41	19.09	0.31
3	19.11	0.58	16	19.07	0.26	29	19.08	0.21	42	19.03	0.26
4	19.09	0.21	17	19.09	0.37	30	19.07	0.37	43	19.07	0.10
5	19.10	0.63	18	19.07	0.26	31	19.07	0.31	44	19.10	0.16
6	19.10	0.16	19	19.07	0.16	32	19.11	0.21	45	19.10	0.26
7	19.10	0.39	20	19.08	0.31	33	19.08	0.26	46	19.11	0.10
8	19.08	0.52	21	19.09	0.31	34	19.08	0.31	47	19.08	0.10
9	19.08	0.21	22	19.08	0.31	35	19.05	0.16	48	19.12	0.16
10	19.07	0.21	23	19.08	0.31	36	19.14	0.26	49	19.07	0.10
11	19.06	0.05	24	19.08	0.26	37	19.09	0.31	50	19.09	0.26
12	19.08	0.31	25	19.10	0.26	38	19.08	0.26			
13	19.09	0.26	26	19.09	0.37	39	19.06	0.31			

На рисунку 4.5 показано гістограми розподілу частот абсолютної (рис. 4.5 а) та відносної (рис. 4.5 б) овальності труб цього пакету варіаційного ряду цих показників.

Абсолютна овальність труб приймає значення навколо середньої її величини (0,052 міліметри) в межах:

- 0,01 міліметр – мінімальна величина абсолютної овальності;
- 0,12 міліметрів – максимальна величина абсолютної овальності.

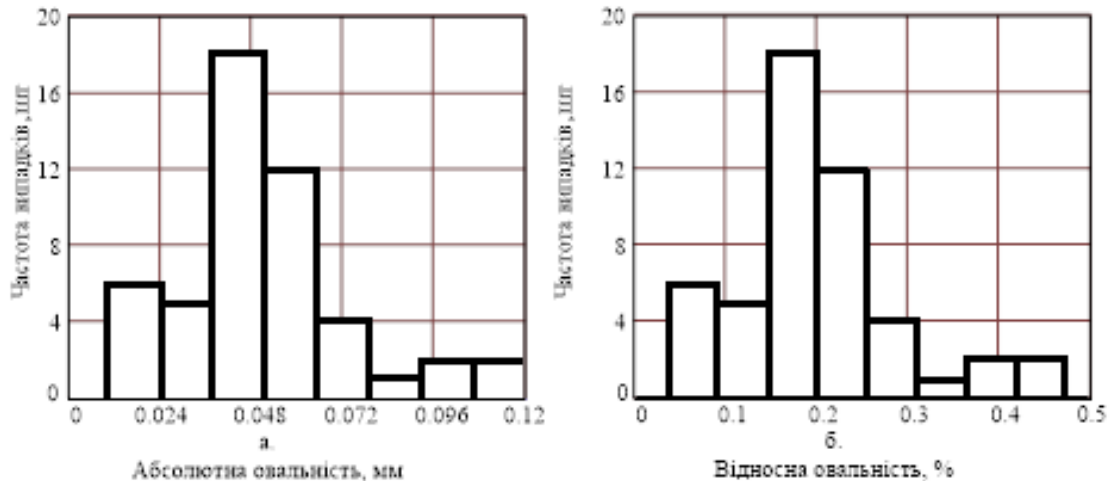


Рис. 4.5 Гістограми частот абсолютної (а) та відносної (б) овальності труб розміром 19,05x2,11, (пакет № 4, труби прокатані на стані ХПТ – 32 з подачею перед переднім рухом, поворотом перед зворотним)

Середня відносна різностінність (див. рис 4.5, б) прийняла значення в 0,205 процентів, з коливаннями в межах:

- 0,039 процентів – мінімальна величина відносної овальності;
- 0,472 проценти – максимальна величина відносної овальності.

Наступні значення прийняли величини, що характеризують розкид значень показників абсолютної овальності:

- вибіркова дисперсія овальності труб даного пакету - 0,00052 міліметри;
- середньоквадратичне відхилення - 0,007 процентів.

Величина середньоквадратичного відхилення:

- 0,023 міліметри;
- 0,081 процент.

Показники точності величини товщини стінки труб пакету № 4 (труби розміром 19,05x2,11 мм, прокатані на стані ХПТ – 32 з подачею перед переднім рухом, поворотом перед зворотним) показано в таблиці 4.8 (див. додаток X).

Об'єм випарки відносних відхилень товщини стінки представлені в табл. 4.9.

Таблиця 4.9 - Об'єм вибірки відносних відхилень товщини стінки труб прокатаних за варіантом 1 на стані ХПТ-32 (пакет № 4, діаметр труби 19,05 мм, товщина стінки 2,11 мм, взято з таблиці 4.8).

№ тр.	Scp, мм	ΔS, %	№ тр.	Scp, мм	ΔS, %	№ тр.	Scp, мм	ΔS, %	№ тр.	Scp, мм	ΔS, %
1	2,10	1,43	14	2,08	2,41	27	2,13	2,82	40	2,19	1,83
2	2,12	5,66	15	2,08	2,41	28	2,14	3,28	41	2,14	1,40
3	2,13	2,34	16	2,05	1,95	29	2,11	1,90	42	2,11	1,90
4	2,09	0,96	17	2,03	2,47	30	2,11	1,90	43	2,10	1,90
5	2,10	2,39	18	2,06	0,97	31	2,05	1,95	44	2,03	2,47
6	2,02	2,47	19	2,01	1,49	32	2,07	5,32	45	2,09	1,91
7	2,08	1,44	20	2,11	5,70	33	2,08	4,34	46	2,10	2,39
8	2,03	2,47	21	2,09	1,44	34	2,06	1,46	47	2,11	2,37
9	2,08	3,84	22	2,07	4,35	35	2,13	2,35	48	2,09	1,92
10	2,07	5,31	23	2,09	3,35	36	2,09	1,92	49	2,12	3,77
11	2,08	6,27	24	2,06	3,88	37	2,14	2,34	50	2,15	1,86
12	2,15	1,86	25	2,09	3,36	38	2,13	2,35			
13	2,10	1,43	26	2,12	1,42	39	2,18	1,38			

На рисунку 4.6, показано гістограми розподілу частот точності товщини стінки труб пакету № 4. З них можливо судити про щільність розподілу значень абсолютної (рис 4.6 а) та відносної (рис. 4.6 б) величини різностінності вздовж варіаційного ряду цих показників.

Товщина стінки цього пакету коливалась в межах 2,0-2,2 міліметри (2,1 – середнє значення). Як видно з гістограм рисунку 4.6 абсолютна різностінність коливалась в межах:

- 0,02 міліметри, мінімальна абсолютна різностінність;
- 0,13 міліметрів, максимальна абсолютна різностінність;

- 0,054 міліметри - середнє значення абсолютної різностінності.

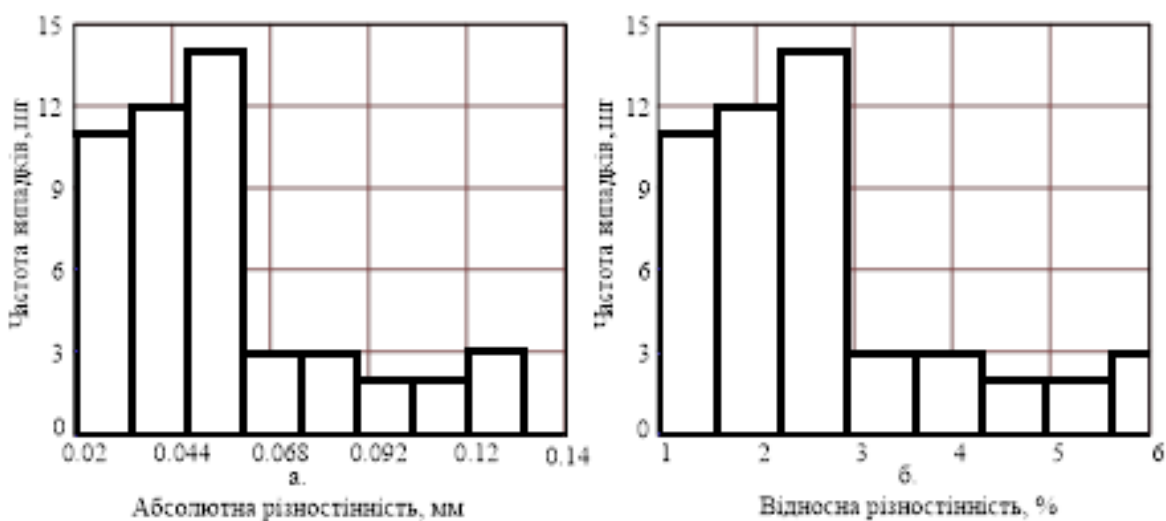


Рис. 4.6 Гістограми частот абсолютної (а) та відносної (б) різностінності труб розміром 19,05x2,11 (пакет № 4, труби прокатані на стані ХІІТ – 32 з подачею перед переднім рухом, поворотом перед зворотним).

Середня відносна різностінність в свою чергу:

- 0,957 проценти, мінімальна відносна різностінність;
- 6,675 проценти, максимальна відносна різностінність;
- 2,602 проценти - середнє значення відносної різностінності.

Вибіркова дисперсія величини різностінності труб даного пакету 0,00052 міліметри, або 1,57 процент. Середньоквадратичне відхилення:

- 0,027 міліметри;
- 1,292 проценти.

На рисунку 4.7 показано гістограми частот варіаційного ряду середньої величини товщини стінки пакету № 4.

Середня товщина стінки пакету № 4 коливалась в межах:

- 2,185 міліметри – максимальна середня стінка поперечного перерізу труби;
- 2,012 міліметри - мінімальна середня стінка поперечного перерізу труби;
- середнє значення – 2,09 міліметри.

Розкид значень характеризується показниками:

- вибіркова дисперсія 0,00145 міліметрів;
- середньоквадратичне відхилення – 0,038 процентів.

Результати аналізу отриманих даних вказують на ефективність процесу холодної прокатки труб за режимом подачі та повороту за варіантом 4 (подача та поворот перед деформуванням прямим, а також зворотнім ходом кліті).

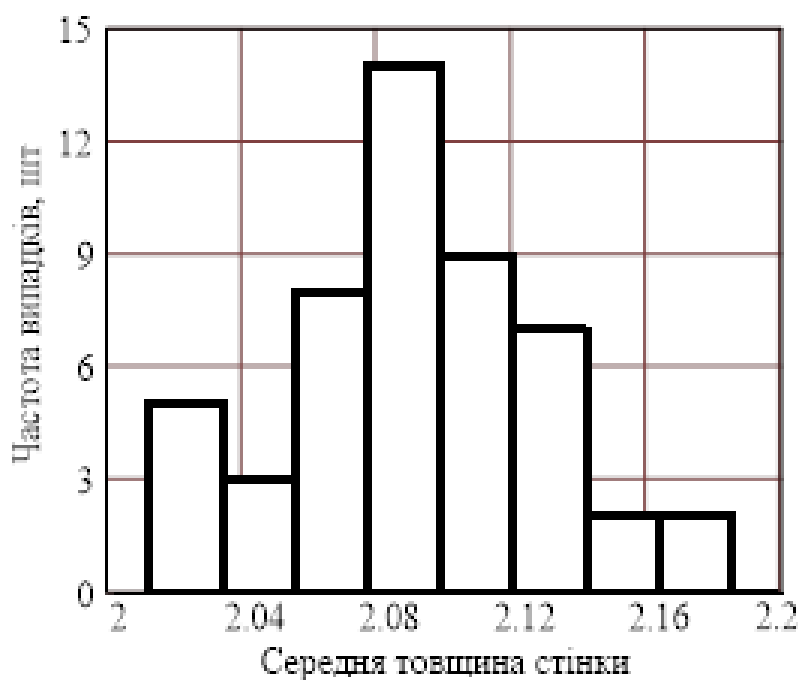


Рис. 4.7 Гістограми частот варіаційного ряду величини товщини стінки пакету номер 3 (труби розміром 19,05x2,11 прокатані на стані ХПТ – 32 з подачею перед переднім рухом, поворотом перед зворотним)

#### Висновки до розділу 4

1. Результати дисертаційної роботи дали основу по створенню складової технічного рішення за участю автора дисертаційної роботи, по якому оформлено патент України №26279 на корисну модель [94].

Складовою патент технічного рішення є використання способу прокатки за варіантом 4 (процес холодного деформування пільгерною прокаткою з підвищеною дрібністю деформування коли подачу та поворот виконують перед деформуванням прямим та перед деформуванням зворотнім ходом кліті).

2. Встановлено, що для тонкостінних труб з пластичних марок сталей величини подач можуть бути однаковим як для прямого так і зворотнього ходу.

3. Результати з аналізу параметрів точності прокатаних партій труб (див. параграф 4.4) із застосуванням подачі та повороту перед прямим та зворотним ходом кліті вказують на ефективність прокатки за варіантом 4 – де подачу та поворот виконують перед деформуванням прямим і також перед деформуванням зворотним ходом кліті.

## 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 дала можливість виконати експерименти для одержання залежностей з впливу підвищеної дрібністю деформування на мікроструктури металу, та на параметри точності труб, проаналізувати результати та вибирати найбільш раціональні варіанти.

2. Вперше для холодного пластичного деформування пільгерною прокаткою при умовах однакового відносного обтиску по перетину труби-заготовки за один подвійний хід кліті експериментально встановлено залежність з зменшення на 2 бали розміру зерен мікроструктури сталі 08X18H10T біля внутрішньої поверхні труб порівняно з зернами мікроструктури біля зовнішньої поверхні при збільшення дрібності деформування за рахунок додаткової подачі перед зворотнім ходом кліті, що приводить до покращення експлуатаційних характеристик труб.

3. Вперше для холодного пластичного деформування пільгерною прокаткою при умовах однакового відносного обтиску по перетину труби-заготовки за один подвійний хід кліті експериментально встановлено зменшення на 1 бал величин розміру зерен біля внутрішньої поверхні труб за рахунок збільшення дрібності деформування за рахунок додаткового повороту перед прямим ходом кліті на відміну від режиму з одним поворотом перед зворотним ходом кліті, що призводить до покращення експлуатаційних характеристик, пов'язаних зі зменшенням розмірів зерен.

4. Вперше для холодного пластичного деформування пільгерною прокаткою при умовах однакового відносного обтиску по перетину труби-заготовки за один подвійний хід кліті експериментально встановлено залежності впливу величини подачі перед прямим та зворотнім ходом на поперечну різностінність та овальність труб для чотирьох можливих варіантів

сполучень подачі та повороту, що дає можливість вибирати необхідний варіант сполучення з виконання подачі та повороту для забезпечення регламентованих стандартами та нормами параметрів точності труб.

5. Здобуті додатково експериментальні залежності по відхиленню зовнішнього діаметра від його середнього значення по довжині труб в залежності від варіанту сполучень подачі та повороту. Показано, що відхилення діаметра труб від його середнього діаметра труб за варіантом 4 в 1,5 - 2 рази зменшується в порівнянні з варіантом 1.

6. Отримали залежність з зменшення відносної різностінності від труби-заготовки до готової труби на стані КРВ-25 з подачею  $2,8+2,8$ мм перед прямим і поворотом перед прямим і зворотнім ходом кліті, Відносна різностінність від труби - заготовки до труби знизилася в 2 рази.

8. Розкид поперечної різностінності в партії труб на стані ХПТ 40-8 при здійсненні процесу з подачею і поворотом перед прямим і зворотним ходом кліті становить від одного до п'яти процентів при середньому значенні різностінності 3,2%. При допусках на середню стінку  $\pm 10\%$  такі результати є такими, що показують значну перевагу варіанту з застосуванням подачі та повороту перед прямим і також перед зворотним ходом кліті.

9. Результати роботи використовуються на ПрАТ «СЕНТРАВІС ПРОДАКШН ЮКРЕЙН» при проектуванні технологій виробництва холоднодеформованих тонкостінних труб, на що є відповідна справка (див. Додаток 1 ).

10. Результати роботи впроваджені в навчальний процес в Національному технічному університеті «Дніпровська політехніка», на що є відповідний акт (див. Додаток 2 ).

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ПрАТ «СЕНТРАВИС ПРОДАКШН ЮКРЕЙН. URL: <https://www.centravis.com/>
2. Трубопрокатний завод ТОВ «ВСМПО ТИТАН УКРАЇНА». URL: [https://www.google.com/search?q=-%D0%A2%D1%80%D1%83%D0%B1%D0%BE%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%BA%D0%B0%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%B9+%D0%B7%D0%B0%D0%B2%D0%BE%D0%B4+%D0%A2%D0%9E%D0%92+%C2%AB%D0%92%D0%A1%D0%9C%D0%9F%D0%9E+%D0%A2%D0%86%D0%A2%D0%90%D0%9D+%D0%A3%D0%9A%D0%A0%D0%90%D0%87%D0%9D%D0%90%C2%BB&oq=-%09%D0%A2%D1%80%D1%83%D0%B1%D0%BE%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%BA%D0%B0%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%B9+%D0%B7%D0%B0%D0%B2%D0%BE%D0%B4+%D0%A2%D0%9E%D0%92+%C2%AB%D0%92%D0%A1%D0%9C%D0%9F%D0%9E+%D0%A2%D0%86%D0%A2%D0%90%D0%9D+%D0%A3%D0%9A%D0%A0%D0%90%D0%87%D0%9D%D0%90%C2%BB+%&gs\\_lcrp=EgZjaHJvbWUyBggAEEUYOTIHCAEQIRigATIHCAIQIRigATIHCA MQIRigATIHCAQQIRigATIHCAUQIRigAdIBCTQwMDZqMGoxNagCCLACAQ&sourceid=chrome&ie=UTF-8#vhid=KGtBHZJrXTGnLM&vssid=\\_I4CrZ-6rAszOwPAPhsaCkAE\\_50](https://www.google.com/search?q=-%D0%A2%D1%80%D1%83%D0%B1%D0%BE%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%BA%D0%B0%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%B9+%D0%B7%D0%B0%D0%B2%D0%BE%D0%B4+%D0%A2%D0%9E%D0%92+%C2%AB%D0%92%D0%A1%D0%9C%D0%9F%D0%9E+%D0%A2%D0%86%D0%A2%D0%90%D0%9D+%D0%A3%D0%9A%D0%A0%D0%90%D0%87%D0%9D%D0%90%C2%BB&oq=-%09%D0%A2%D1%80%D1%83%D0%B1%D0%BE%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%BA%D0%B0%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%B9+%D0%B7%D0%B0%D0%B2%D0%BE%D0%B4+%D0%A2%D0%9E%D0%92+%C2%AB%D0%92%D0%A1%D0%9C%D0%9F%D0%9E+%D0%A2%D0%86%D0%A2%D0%90%D0%9D+%D0%A3%D0%9A%D0%A0%D0%90%D0%87%D0%9D%D0%90%C2%BB+%&gs_lcrp=EgZjaHJvbWUyBggAEEUYOTIHCAEQIRigATIHCAIQIRigATIHCA MQIRigATIHCAQQIRigATIHCAUQIRigAdIBCTQwMDZqMGoxNagCCLACAQ&sourceid=chrome&ie=UTF-8#vhid=KGtBHZJrXTGnLM&vssid=_I4CrZ-6rAszOwPAPhsaCkAE_50)
3. ТОВ «Дніпровський завод спеціальних труб». URL: <https://dzst.business-guide.com.ua/>
4. ПАО «Інтерпайп НТЗ . URL: <https://ntrp.interpipe.biz>
5. ТОВ «Нікопольський завод особливотонкостінних труб» URL: [https://youcontrol.com.ua/catalog/company\\_details/31802505/](https://youcontrol.com.ua/catalog/company_details/31802505/)
6. «Сумське машинобудівне науково-виробниче об'єднання» (ПАТ «Сумське НВО»). URL: <http://snpo.ua>
7. Нікопольський завод тонкостінних труб. URL: <https://ooontz.com.ua>
8. Афтанділянц Є.Г., Зазимко О.В., Лопатько К.Г. Матеріалознавство: підруч. К.: Вища освіта, 2012. с 548.
9. А.П. Бовсуновський. Матеріалознавство: конспект лекцій з напрямку Хімічна технологія для студ. ден. форми навч. К. НУХТ, 2012. – 54 с.
10. Бузило В.І., Сердюк В.П., Яворський А.В., Гайдай О.А. Матеріалознавство: навч. посіб. Дніпро : НТУ «ДП», 2021. – 243 с. <http://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/160147>

11. Кондрашев, П.В., Матеріалознавство. *Конспект лекцій. Навчальний посібник. М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО» Електронне мережне навчальне видання.* Київ. 2023. 98 с. URL: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/22fc96a0-d705-4426-85c7-e17482043ff2/content>

12. Горячева Т.В., Бабенко М.О. Матеріалознавство. *Конспект лекцій. Для студентів навчального напрямку «Гірництво».* Красноармійськ: КП Дон НТУ. 2011. 91с. URL: <https://library.kre.dp.ua/Books/2-4kurs>

13. Шаповал С. В. Конспект лекцій з дисципліни «Матеріалознавство» (для студентів 2 курсу денної форми навчання освітнього рівня «бакалавр» спеціальності 185 – Нафтогазова інженерія та технології). *Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова.* Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова. 2017. 122 с.

14. Максименко О. П., Лясота С. М., Романюк Р. Я. Теорія процесів прокатного, трубного, ковальсько-штампувального та волочильного виробництв: навч. посіб. Кам'янське: «Дніпровський державний технічний університет», 2009. 206 с.

15. Данченко В.М., Гринкевич В.А, Головка О.М. Теорія процесів обробки металів тиском: підруч. Дніпропетровськ: «Пороги», 2010. 386 с.

16. Основи калібровки прокатних валків: навч. посіб. / Максименко О. П., Штода М. М., Нікулін О. В. Кам'янське : ДДТУ, 2023. 156 с.

17. Друян В.М., Гуляєв Ю.Г., Чукмасов С.А. Теорія і технологія трубного виробництва: підруч. Дніпропетровськ: РВА «Дніпро-ВАЛ», 2001. 544 с.

18. Григоренко В.У. Холодна пільгерна прокатка труб: навч. посіб. Дніпропетровськ: «НМетАУ», 2006. 48 с.

19. Григоренко В.У., Клименко П.Л., Ханін М.І. Розрахунки калібрування та зусиль у станах холодної прокатки труб із застосуванням ЕОМ: навч. посіб. Дніпропетровськ: «НМетАУ», 2000. 22 с.

20. Василев Я.Д., Григоренко В.У., Данченко В. М., Дементієнко О.В,

Зеленський В.Є., Кравченко В.І., Письмений О.С., Правдін Ю. М., Путнокі О.Ю. Наукові основи ефективних технологій виробництва тонкостінної довгомірної продукції. Дніпропетровськ: РВА «Дніпро-ВАЛ», 2002. 353 с.

21. Попов М.В., Атанасов С.В., Беліков Ю.М. Вдосконалення процесу періодичної прокатки труб: Дніпропетровськ: ООО Незалежна видавнича організація «Дива», 2008. 192 с.

22. Фролов В.Ф., Данченко В. Н., Фролов Я. В. Холодна пільгерна прокатка труб: монографія. Дніпропетровськ: «Пороги», 2005. 255 с.

23. Григоренко, В.У., Пилипенко, С.В., Головченко, О.П. Розвиток методу розрахунку параметрів процесу холодної пільгерної прокатки труб і калібровки інструмента: монографія. Дніпропетровськ: «Пороги». 2015. 125 с.

24. Міщенко О.В. Стан та тенденції розвитку виробництва холоднокатаних труб із сплавів на основі титану. *Метал та лиття України*, 2019 №3-4. С. 58-68. <https://doi.org/10.15407/pmach2019.03.058>

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

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

27. Cold pilger mills - SMS group GmbH. <https://www.sms-group.com/plants/all-plants/cold-pilger-mills#:~:text=Cold%20pilgering%20reduces%20the%20need,surface%20roughness%20of%20the%20tubes>

28. Zhangjiagang hengli machinery CO., LTD. *Визначення, класифікація та застосування сталі*. <http://www.hengli->

[jx.com/products.html?gclid=Cj0KCQjwpcOTBhCZARIsAEAYLuW8F5DH3QRg7kFESEhI5-XOZ8t2rBrOczBNJbzzXFctrM6ATba9tV8aAhwrEALw\\_wcB](http://jx.com/products.html?gclid=Cj0KCQjwpcOTBhCZARIsAEAYLuW8F5DH3QRg7kFESEhI5-XOZ8t2rBrOczBNJbzzXFctrM6ATba9tV8aAhwrEALw_wcB)

29. ДСТУ 8937:2019 Труби безшовні холодно- та теплодеформовані з корозійноотривких сталей і сплавів. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2006. 17 с.

<https://www.scribd.com/document/749625264/%D0%94%D0%A1%D0%A2%D0%A3-8934-2019-%D0%A2%D1%80%D1%83%D0%B1%D0%B8-%D0%B1%D0%B5%D0%B7%D1%88%D0%BE%D0%B2%D0%BD%D1%96-%D0%B3%D0%B0%D1%80%D1%8F%D1%87%D0%B5%D0%B4%D0%B5%D1%84%D0%BE%D1%80%D0%BC%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D1%96-%D0%B7-%D0%BA%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%B7%D1%96%D0%B9%D0%BD%D0%BE%D1%82%D1%80%D0%B8%D0%B2%D0%BA%D0%B8%D1%85-%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%B5%D0%B9-%D1%96-%D1%81%D0%BF%D0%BB%D0%B0%D0%B2%D1%96%D0%B2>

30. EN 10216-5 Seamless steel tubes for pressure purposes. Technical delivery conditions. Part 5: Stainless steel tubes.

<https://www.entech.rs/PDF/STANDARDS%20DATA%20SHEETS/STAINLESS%20STEEL/EN%2010216-5.pdf>

31. ASTM. Handbook of Comparative World Steel Standards. – Baltimore : ASTM International, 2002. – 658 p.

32. ASTM A213 / A213M Standard Specification for Seamless Ferritic and Austenitic Alloy-Steel Boiler, Superheater, and Heat-Exchanger Tubes. <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/115438/957cfd2c48a04354a4a63de90f389faf/ASTM-A213-A213M-23.pdf>

33. EN 10305-1 Steel tubes for precision applications - Technical delivery conditions - Part 1: Seamless cold drawn tubes. <https://www.scribd.com/document/482231961/EN-10305-1-Ru-2010>.

34. Pilipenko V., Grigorenko V., Kozechko V, Bohdanov O. A. deformation mode in a cold rolling condition to provide the necessary texture of the Ti-3AL-2.5V

alloy. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2021. Vol. 1. Pp. 078- 083. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2021-1/078>

35. Jia Dai, Wei Li, Zhibing Chu. Microstructure Evolution of Cold Pilgering Stainless Steel Tubes. *Advances in materials sciencs and engeneering*. 08 Apr 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/3678980>

36. Chu Z., Zhang, D., Wei D., Shuang, Y. Study on Microstructure Evolution of Pilger Cold Rolled Seamless Steel Tube. *Advanced Engineering Science*. 2017. <https://doi.org/10.15961/j.jsuese.201700373>

37. Li, H., Wei, D., Zhang, H., & Li H. Texture evolution and controlling of high-strength titanium alloy tube in cold pilgering for properties tailoring. *Journal of Materials Processing Technology*. 2019. Vol. 279(8). <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2019.116520>

38. Грузин Н. В., Вахрушева В. С. Дослідження впливу початкової текстури заготовки на текстуру готових труб зі сплаву титану Ti-3Al-2.5V. *Матеріалознавство та термічна обробка металів*. 2015. №3 (70). С. 16–20. <http://srd.pgasa.dp.ua:8080/xmlui/handle/123456789/7540>

39. Грузин Н. В., Вахрушева В. С., Лихопек П. А. Формирование структуры и свойств при прессовании труб из сплава титана Ti-3Al-2.5V. *Будівництво, матеріалознавство, Машинобудування*. 2017. №95. С. 45–50. <http://srd.pgasa.dp.ua:8080/xmlui/handle/123456789/3269>

40. Грузин Н. В., Вахрушева В. С. Влияние степени деформации при холодной прокатке труб из сплава титана на формирование текстуры и свойств. *Metallophysics and Advanced Technologies*. 2019. Вып.41, №. 10. С. 1303–1314.

41. Hruzin N. V., Vakhrusheva V. S., Malykhin D. G. Features of formation of crystallographic texture and properties in Ti-3Al-2.5V titanium alloy during tubes manufacture. *Вопросы атомной науки и техники. Серия «Физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение»*. г. Харьков, 2019. Вып. 115, № 5 (123). С. 105–112. <http://dspace.nbu.gov.ua/handle/123456789/195226>

42. Courtin L., Urvoy S., Bossu D., Bosonnet S., Tabarant M., Kedjar B. et al. Comparison of 15Cr-15Ni Austenitic Steel Cladding Tubes Obtained by HPTR Cold

Pilgering or by Cold Drawing. *Key Engineering Materials*. 2015. Vol. 651-653 Pp. 38-46. DOI:10.4028/www.scientific.net/KEM.651-653.38

43. Leng B., Ukai S., Narita T. et al., Effects of two-step cold rolling on recrystallization behaviors in ODS ferritic steel. *Materials Transactions*. 2012. Vol. 53, No 4, Pp. 652-657. <https://doi.org/10.2320/matertrans.m2011301>

44. Zhang H. Q., Wang X. F., Wei B. L., and Li H., Effect of tooling design on the cold pilgering behavior of zircaloy tube, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. (2017) Vol. 92, No 3. Pp. 1-15.

45. Mu lot S., Hacquin A., Montmitonnet P. and Aubin J. L., A fully 3D finite element simulation of cold pilgering, *Journal of Materials Processing Technology*. 1996. Vol. 60, No 1-4. Pp. 505-512. [https://doi.org/10.1016/0924-0136\(96\)02378-3](https://doi.org/10.1016/0924-0136(96)02378-3)

46. Leiwen Wang , Pichen Xing , Xiaoyue Zhang , Weihong Zhang , Wenru Sun. Effect of Q value on geometric tolerance, roughness and texture evolution of GH4145 alloy tubes. *Journal of Alloys and Compounds*. 2023. Vol. 969, p.172498. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2023.172498>

47. Shijuan Dai, Yu Wang, Feng Chen, Xinquan Yu, Youfa Zhang. Effects of cold deformation on microstructure and mechanical properties of Ti–35Nb–9Zr–6Mo–4Sn alloy for biomedical applications. *Materials Science and Engineering*. 2013. Vol. 575, No 15. Pp. 35-40. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2013.03.032>

48. Musazadeh M., Vafaei, R., Mohammad Sharifi E., Farmanesh K. Mechanical Properties, Microstructural Evolution, and the Effect of Friction on the Plastic Flow of the AISI 321 Austenitic Stainless Steel Tube During Cold Pilgering: An Experimental and Simulation Analysis . *Met. Mater. Trans.* 2018. Vol 49. Pp. 3030–3042.

49. Heng Li, Dong Wei, Haiqin Zhang, Heng Yang, Haoran Liu, Shoutian Liu, Zhibing Chu, Duo Zhang. Texture evolution and controlling of high-strength titanium alloy tube in cold pilgering for properties. *Journal of Materials Processing Technology*. Vol. 279. P.116520. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2019.116520>

50. Ragger S., Primig S., Daniel R., Kaiser R., Paal J., Mitterer C., Buchmayr B. Cold pilgering of duplex steel tubes: the response of austenite and ferrite to

excessive cold deformation up to high strains. *Mater Charact.* 2017. Vol. 128. Pp. 257–268. <https://doi.org/10.1016/j.matchar.2017.03.026>

51. Leiwen Wang, Jiaao Liu, Zhiyuan Wang, Weihong Zhang, Wenru Sun. Effect of cold rolling degree on texture evolution, eccentricity, and yielding anisotropy of GH4145 alloy tubes. *Materials Science and Engineering.* 2022. Vol. 832. P.142464, <https://doi.org/10.1016/j.msea.2021.142464>

52. Influence of Cold-Rolling Processes on the Dimensional Accuracy and Roughness of Small-Diameter Thick-Walled Seamless Tubes . *Metals.* 2024. Vol. 14(11). P.1297. <https://doi.org/10.3390/met14111297>

53. Методи поверхневого зміцнення у процесі виготовлення деталей машин: навч. посіб. /А.Г.Фесенко та ін. Д.: РВВ ДНУ, 2015. 104 с.

54. Сердюк О.В., Сивак І.О., Сухоруков С.І., Сивак Р. І. Оцінка пластичності поверхневого шару металу при немонотонному навантаженні. *Наукові нотатки.* 2016. Вип. 54. С. 277-281. [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nn\\_2016\\_54\\_52](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nn_2016_54_52)

55. Сердюк О. В., Сивак І. О., Карватко М. А. Напружено-деформований стан в осередку деформації при вдавлюванні тороїдального ролика. *Наукові нотатки: міжвузівський збірник (за галузями знань «Технічні науки»).* 2013. Вип. 40. С. 251-256.

56. Баланюк Г.В. Конспект лекцій з дисципліни «Інженерія поверхневого шару» для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 131 Прикладна механіка. Одеса: Національний університет «Одеська політехніка», 2021. 25 с.

57. Козечко, В. А., Козечко, В. І. Особливості зміни мікроструктури і механічних характеристик при високоенергетичному навантаженні. *Збірник наукових праць НГУ.* 2023. № 74-1. С. 154–162.

58. Yurii Paladiichuk, Inna Teliatnyk, Maryna Kubai. Metallographic study of changes in the structure of a deformed metal layer during water-pulse smoothing. *Engineering energy transport aic.* 2024. Vol. 4 (127). Pp. 7-22. doi:10.37128/2520-6168-2024-4-1

59. Бекетов, О. В., Лаухін, Д. В., Дадіверіна, Л. М., та ін. Дослідження взаємозв'язку між товщиною та структурним станом металопрокату з низьковуглецевої низьколегованої сталі 10Г2ФБ. *Український журнал будівництва та архітектури*. 2024. № 2. С. 26-33.

60. Effect of cold rolling degree on texture evolution, eccentricity, and yielding anisotropy of GH4145 alloy tubes. *Materials Science and Engineering*. 2022. Vol. 832. Pp. 142464, <https://doi.org/10.1016/j.msea.2021.142464>

61. Influence of Cold-Rolling Processes on the Dimensional Accuracy and Roughness of Small-Diameter Thick-Walled Seamless Tubes . *Metals*. 2024, Vol. 14(11), P.1297; <https://doi.org/10.3390/met14111297>

62. Пилипенко С. В., Міщенко О.В. До питання холодної прокатки труб з підвищеними вимогами по точності геометричних розмірів. *X міжнародна конференція. Стратегія якості в промисловості і в освіті*. Варна. Болгарія. 2014. С. 401-404.

63. Abe H, Iwamoto T., Yamamoto Y., Nishida S., Komatsu R. Dimensional accuracy of tubes in cold pilgering. *Journal of Materials Processing Technology*. 2016. Vol.231. Pp. 277-287. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2016.01.001>

64. Міщенко О.В. Можливості зменшення поперечної різностінності холоднокатаних труб із сплавів на основі титану. *Металургійна та гірничорудна промисловість*. 2019. №5-6. С. 57-66.

65. Міщенко О.В., Пилипенко С.В., Григоренко В.У. Дослідження зміни різностінності при прокатці тонкостінних труб на станах ХПТР. *Системні технології. Дніпропетровськ*. 2010. №5(70). С. 37-46.

66. Міщенко, О.В., Григоренко, В.У. (2021) Експериментальне дослідження характеру поперечної різностінності при холодній пільгерній прокатці труб з сплаву титану ПТ-1М. *Modern engineering and innovative technologies. Karlsruhe, Germany*. 2021. Vol.15, Part 2. Pp. 20-24.

67. Бобух О.С., Дехтярьов В.С. Аналіз впливу пружної деформації валка на параметри холодної пільгерної прокатки. *Всеукраїнська науково-технічна студентська конференція "Молода академія 2009"*, 19-20 травня 2009 : тез. доп.

Дніпропетровськ, 2009. С. 96-97.

68. Григоренко В.У., Нагній А.С. Експериментальні дослідження «пружини кліті» при холодній пільгерній прокатці труб. *Металургійна та гірничорудна промисловість*. 2007. №2. С. 41-46.

69. Нагній А.С. розвиток методу визначення пааметрів процесу холодної пільгерної прокатки труб з урахуванням «пружини кліті» і особливостей зворотнього ходу. *Удосконалення процесів і обладнання обробки металів тиском в металургії і машинобудуванні*. Зб. Наукових праць. Краматорськ, 2007. С 458-463.

70. Вишинський В.Т., Рахманов С.Р., Воронько В.Т., Журавльов О. В. Вплив особливостей поворотно-подаючих механізмів станів ХПТ на стабільність геометричних параметрів труб. *Теорія і практика металургії*. 2013. №1-2. С. 58-62.

71. Данченко В.М., Вишинський В.Т., Сьомічев А.В., Фролов А.В., Рахманов В.С. Аналіз механізмів зниження вісьових сил на станах ХПТ. *Металургійна та гірничорудна промисловість*. 2007. №1. С 46-49.

72. Григоренко В.У., Маркевич І.В., Пилипенко С.В. Експериментальні дослідження осьових сил при холодній роликівій прокатці. *Системні технології*. 2011. №5 (76). С. 140-144.

73. Григоренко В.У. Розробка та дослідження нових прогресивних процесів для виробництва особливотонкостінних труб. *Вістник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут 2. - Сер. Машинобудування*. 2001. №40. С. 50-53.

74. Григоренко В.У. Прогресивна технологія виробництва багат шарових труб з використанням процесу безперервної періодичної прокатки. *Технологічні системи*. 2002. №2(13). С. 34-36.

75. Григоренко В.У. Новий метод розрахунку параметрів випусків калібрів для однорядних і багаторядних процесів холодної прокатки труб роликівіями. *Удосконалення процесів та обладнання обробки металів тиском в металургії та машинобудуванні*. Краматорськ, 2003. С. 172-174.

76. Григоренко В.У., Пилипенко С.В. Експериментальні дослідження зміни різностінності труби при розрахунку параметрів процесу ХПТ методом з первинним врахуванням поширення металу. *Сучасні проблеми металургії. Наукові вісті. Пластична деформація металів. Теорія і технологія виробництва труб*. Дніпропетровськ: Системні технології, 2008. Т. 11. С. 270-273.

77. Григоренко В.У., Пилипенко С.В. Експериментальні дослідження точності труб при визначенні параметрів процесу холодної пільгерної валкової прокатки труб з первинним врахуванням поширення. *Удосконалення процесів і обладнання обробки металів тиском в металургії і машинобудуванні. Зб. наук. праць*. Краматорськ, 2008. С. 235 - 238.

78. Пилипенко С.В. Розвиток методу розрахунку параметрів холодної пільгерної прокатки при заданому розподілі розвалки калібрів для одержання регламентованої поперечної різностінності труб: автореф. дисс. ... кандидата техн. наук / НМетАУ: 05.03.05. Днепропетровск, 2009. 18 с.

79. Григоренко В.У., Пилипенко С.В. Метод розрахунку параметрів процесу холодної пільгерної прокатки труб на оправці з криволінійною твірною з первинним врахуванням поширення металу в миттєвому осередку деформації. *Системні технології*. 2008. Т.12. С. 150 -153.

80. Lee S.K., Lee K.H. Profile design of the groove die and rolling force prediction in the cold pilger rolling process. *Appl Sci*. 2021. Vol.11. Pp. 11265. DOI:10.3390/app112311265

81. Григоренко В.У., Пилипенко С.В. Математична модель холодної пільгерної прокатки труб, її комп'ютерна реалізація і вибір раціональних параметрів процесу. *Удосконалення процесів і обладнання обробки металів тиском в металургії і машинобудуванні. Зб. Наукових праць*. Краматорськ, 2006. С. 97-102.

82. Дехтярьов В.С., Фролов Я.В. Тримірне моделювання параметрів холодної пільгерної прокатки. *Удосконалення процесів і обладнання обробки*

металів тиском в металургії і машинобудуванні. Зб. Наукових праць. Краматорськ, 2006.

83. Міщенко О.В. Григоренко В.У. Стефанік О. Результати даних комп'ютерного моделювання і експерименту по зміні ексцентричної різностінності при холодній деформації на оправці. *Пластична деформація металів. Збірник наукових праць в 2-х томах.* Дніпропетровськ. 2014. Т2. С. 295-299.

84. Dyja H., Mishchenko O., Grigorenko V. Development of forecasting method of change of transverse variation in wall thickness in case of cold rolling of pipe made of titanium alloys. *Metallurgical and mining industry.* Dnipro. 2017 №1. Pp.80-83

85. Міщенко О.П. Розвиток теорії формування і зниження поперечної різностінності холоднокатаних труб зі сплавів титану. : автореф. дисс. ... кандидата техн. наук / НМетАУ: 05.03.05. Дніпро, 2021. 20 с.

86. Калюжний О.В., Запорожченко А.С. Моделювання процесу холодного гнуття заготовки і подальшого витягування. *Серія Машинобудування.* 2011. №61. 4 с. Electronic Archive of Kyiv Polytechnic Institute. oai:ela.kpi.ua:123456789/4915. <https://core.ac.uk/download/pdf/47219272.pdf>

87. S.H. Chung, S.W. Jeong, W.J. Chung, M.S. Joun. Realistic finite element analysis model of the pilgering process to deal with initial tube thickness nonuniformity. *Journal of Manufacturing Processes.* 2023. Vol. 95. Pp. 217-228. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2023.04.015>

88. Azizoğlu, Y.; Sjöberg, B.; Lindgren, L.-E. Modeling of Cold Pilgering of Stainless-Steel Tubes. *J. Manuf. Process.* 2024. Vol 112, Pp.112–125. Po289489\_inlaga\_PhD\_thesis\_Yagiz\_Azizoglu.indd

90. Гуль Ю.П., Івченко О.В., Перчун Г.І., Чмельова В.С. Теоретичне і технологічне обґрунтування нових технологічних схем отримання сталевих виробів, що зміцнюються холодною деформацією. *Теорія і практика металургії.* 2019. №4. С. 18-30. [https://nmetau.edu.ua/file/ktmp\\_7883.pdf](https://nmetau.edu.ua/file/ktmp_7883.pdf)

91. Беліков Ю. М., Кекух С.С., Кекух С.М. , Терещенко А.А. Удосконалення способу прокатки труб на станах ХПТ з подачею та поворотом труб- заготовок в обох крайніх положеннях кліті. *Металургійна і горнорудна промисловість*. 2007. № 4. С. 457 -59.

92. ДСТУ 8972:2019 «Сталі та сплави. Методи виявлення та визначення величини зерна». Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2021. 30 с.

93. Мікроскоп металографічний вертикальний МІМ – 7. URL: <https://asma.com.ua/files/283/1511943640mikroskop-mim-7>

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

95. Головченко О.П., Григоренко В.У., Алексеєнко С.В. Експериментальні дослідження впливу збільшення дрібності деформації на мікроструктури та механічні властивості холоднокатаних труб. *Міжнародна наукова конференція «Новітні досягнення в науці та техніці і їх значення для суспільства», Ченстохова (6–7 грудня 2023 року)*. Ченстохова: «Академія Полонії», 2023. С. 24-28. <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-388-0-5>

96. Головченко О.П., & Григоренко В.У. Дослідження питання з використання у виробництві труб із корозійностійких сталей процесу холодної прокатки з подвійною подачею та поворотом. *«Наукова весна» 2022: матеріали XII Всеукраїнської науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених, Дніпро (23–24 травня 2022 року)*. Дніпро : НТУ «ДП», 2022. С. 229-231. <http://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/161139>

97. ДСТУ ISO 6892:2008 Матеріали металеві. Випробування на розтягнення. Київ: Держспоживстандарт України, 2008. 24 с.

98. О.П. Головченко. Дослідження впливу режиму повороту труб в процесі холодної прокатки на мікроструктуру, механічні властивості та точності. *Збірник наукових праць НГУ. – Дніпро: Національний ТУ «Дніпровська політехніка»*. 2023. №75. С. 127-135. <https://doi.org/10.33271/crpnmu/75.127>

99. Головченко, А.П., Григоренко, В.У., Пилипенко, С.В. (2011). Дослідження поперечної різностінності труб при веденні процесу ХПТ з різними режимами виконання подачі та повороту труби. *Збірник наукових праць «Обробка матеріалів тиском»* Краматорськ, 2011. №1 (26). С. 175-178.

100. O.P. Golovchenko, V.U. Grigorenko. The development of the method is based on the feeding mode and rotation during cold rolling to improve the accuracy of the pipes and ensure the regulated microstructure. *17th SYMPOSIUM*. 2024.

101. Головченко О.П., Григоренко В.У. 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»*. 2022. №71. С. 186-193. <https://doi.org/10.33271/crpnmu/71.186>

102. Головченко О.П., Григоренко В.У., Алексеєнко С.В. (2024). Розвиток методу визначення плануємої поперечної різностінності холоднокатаних труб на основі експериментальних досліджень при різних варіантах виконання подачі та повороту. *Вісник «Приазовського Державного Технічного Університету. Серія: Технічні науки. – Дніпро: Державний вищий навчальний заклад «ПДТУ»*. 2024. №48. С. 59-65. <https://doi.org/10.31498/2225-6733.48.2024.310682>

103. Головченко О.П., Григоренко В.У. Експериментальне дослідження зміни поперечної різностінності труб на сучасних станах холодної прокатки з виконанням подвійної подачі та повороту. *«Наукова весна» 2023: матеріали XIII Всеукраїнської науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених, Дніпро (23–24 травня 2022 року)*. Дніпро : НТУ «ДП», 2022. С. 229-231. <http://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/163843>

104. Головченко О.П., Григоренко В.У., Пилипенко С.В. Розвиток методу розрахунку величини розвалки рівчака калібрів станів ХПТ. *Пластична деформація металів. Колективна монографія*. 2017. С. 198-202. <http://metal-forming.org/images/annot-2017/PDM-2017/198-202.pdf>

105. Спосіб виготовлення безшовних труб з мартенситно-феритної сталі:  
пат. 26279 Україна: МПК В 21 С 23/00. № 200705320; заявл. 15.05.2007; опубл.  
10.09.2007, Бюл. №14. 4 с.  
<https://base.uipv.org/searchINV/search.php?action=viewdetails&IdClaim=98372>

## ДОДАТКИ

## Додаток А



ПрАТ «СЕНТРАВІС ПРОДАКШН ЮКРЕЙН»  
проспект Трубіників, 56, м. Нікополь, Дніпропетровська обл., 53201, Україна

Керівник Управління з Технологій  
ПрАТ «СЕНТРАВІС ПРОДАКШН ЮКРЕЙН»



Я.І. Хохлов

## СПРАВКА

про прийняття до застосування результатів дисертаційної роботи «Вплив дрібності холодного пластичного деформування пільгерною прокаткою на мікроструктуру та точність труб»

аспіранта

Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»  
Головченка Олексія Павловича

Прийняті до застосування при проєктуванні технологій холодної прокатки труб з різними варіантами сполучень подачі та повороту перед прямим та зворотнім ходом кліті на станах ХПТ 40-8, ХПТ 6-20, КРВ-25 та ХПТ 10-45 наступні розробки його дисертаційної роботи:

- Експериментальні залежності з впливу дрібності деформування на мікроструктуру труб при різних варіантах виконання подачі та повороту;
- Експериментальні залежності з поперечної різностінності та з овальності труб при різних варіантах виконання подачі та повороту.
- Експериментальні дані по коливанню середньої товщини стінки у партії труб, по зміні поперечної різностінності труб від труби-заготовки до готової труби при прокатці з подачею та поворотом перед деформуванням прямим та перед деформуванням зворотнім ходом кліті.

Вищеназвані експериментальні залежності потрібні для вибору варіантів застосування подачі та повороту при розробці маршрутів і калібровок інструменту станів холодної прокатки труб для виготовлення труб з підвищеними вимогами щодо мікроструктури металу та точності труб, що виготовляються за стандартами EN 10216-5, EN 10305-1, ASTM A 213 та для труб автомобільного сегменту.

«08» січня 2025р.

## Додаток Б

Затверджую

Проректор з наукової роботи

Ігор НІКІТЕНКО

« 13 » 01 2025 р.

**АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ**

результатів дисертаційної роботи аспіранта Головченко О.П.  
в навчальний процес Національного технічного університету  
«Дніпровська політехніка»

Результати дисертаційної роботи аспіранта Головченко О.П. впроваджені в навчальний процес при проведенні лекцій та практичних робіт здобувачам, що навчаються за освітньо-науковою програмою спеціальності 132 «Матеріалознавство» (третій освітньо-науковий рівень), освітній компонент «Закономірності формування структури матеріалів».

Окремі аспекти досліджень представлено аспірантом Головченко О.П. в доповідях на Всеукраїнських науково-технічних конференціях студентів, аспірантів та молодих вчених, що проходили в НТУ «Дніпровська політехніка».

№п/п	Назва доповіді	Автори	Бібліографічні дані
1	Дослідження питання з використання у виробництві труб із корозійностійких сталей процесу холодної прокатки з подвійною подачею та поворотом.	Головченко О.П., Григоренко В.У.	<i>«Наукова весна» 2022: матеріали XII Всеукраїнської науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених, Дніпро (23–24 травня 2022 року) – Дніпро : НТУ «ДП», 229-231. <a href="http://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/161139">http://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/161139</a>.</i>
2	Експериментальне дослідження зміни поперечної різностінності труб на сучасних станах холодної прокатки з виконанням подвійної подачі та повороту	Головченко О.П., Григоренко В.У.	<i>«Наукова весна» 2023: матеріали XIII Всеукраїнської науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених, Дніпро (23–24 травня 2022 року) – Дніпро : НТУ «ДП», 229-231. <a href="http://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/163843">http://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/163843</a></i>

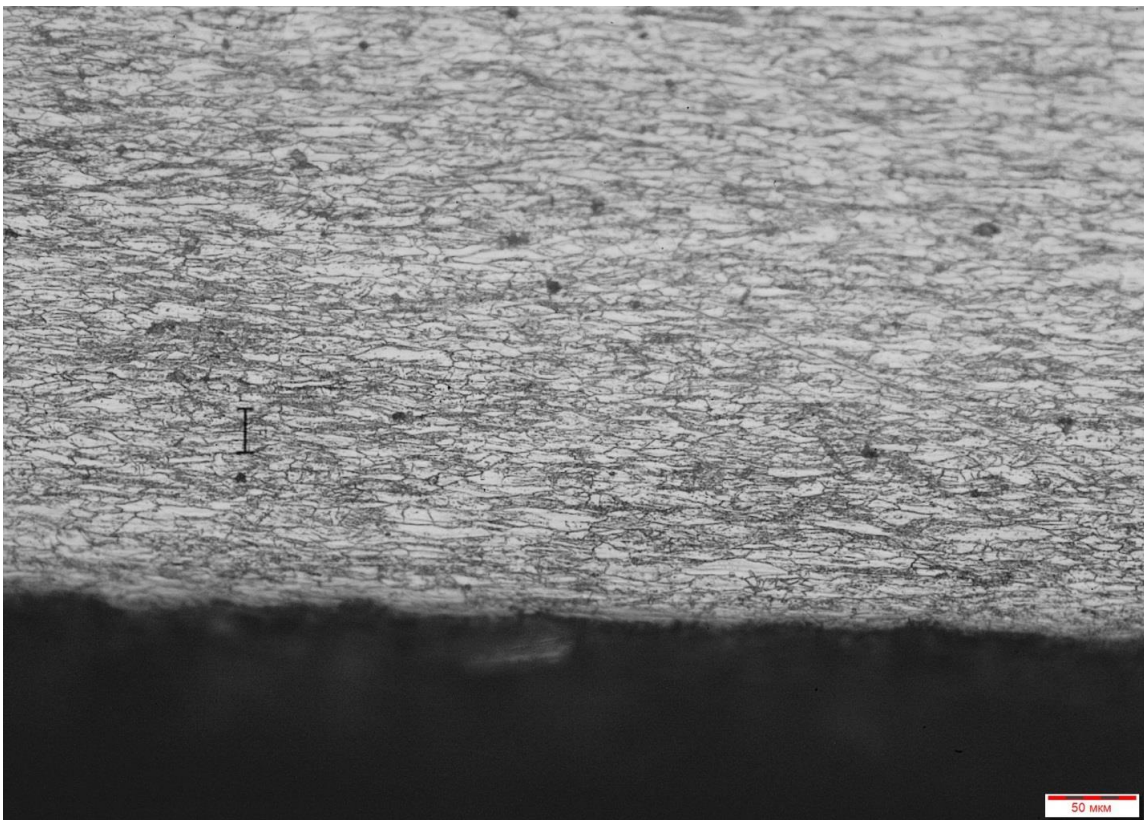
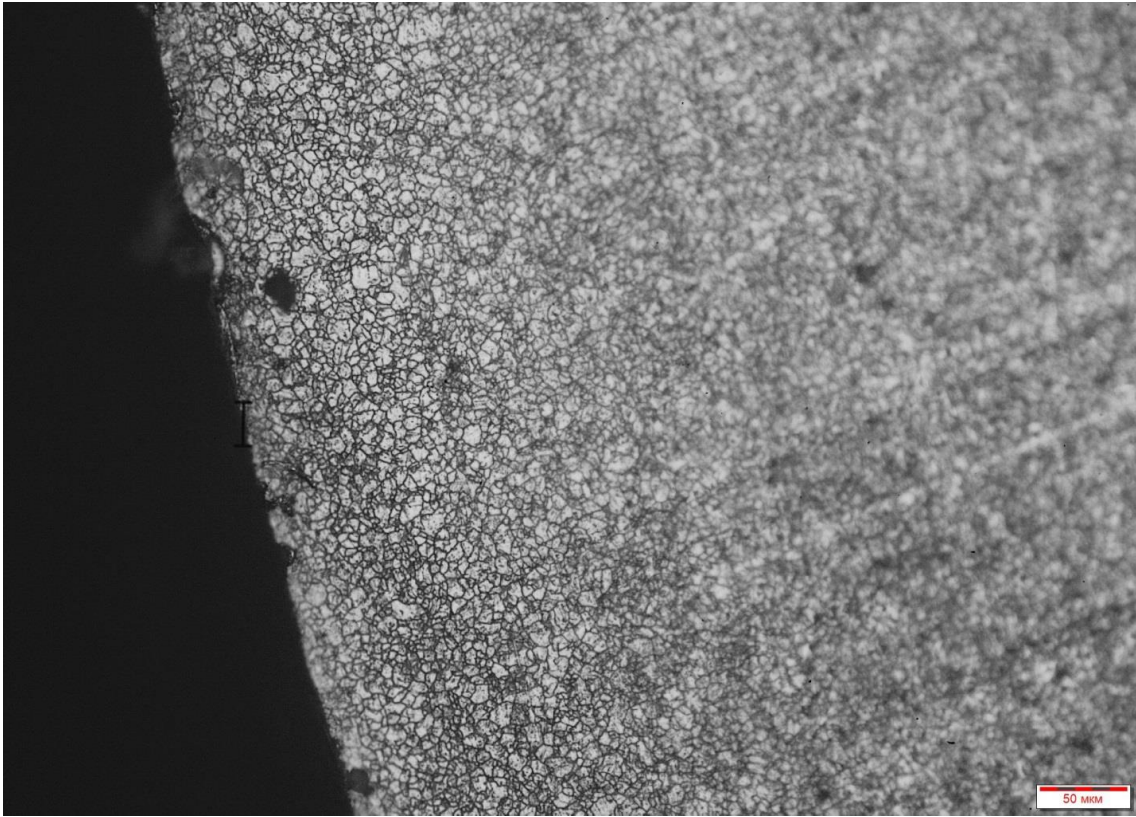
Завідувач кафедри технологій  
машинобудування та матеріалознавства

« 13 » 01 2025

Віталій ДЕРБАБА

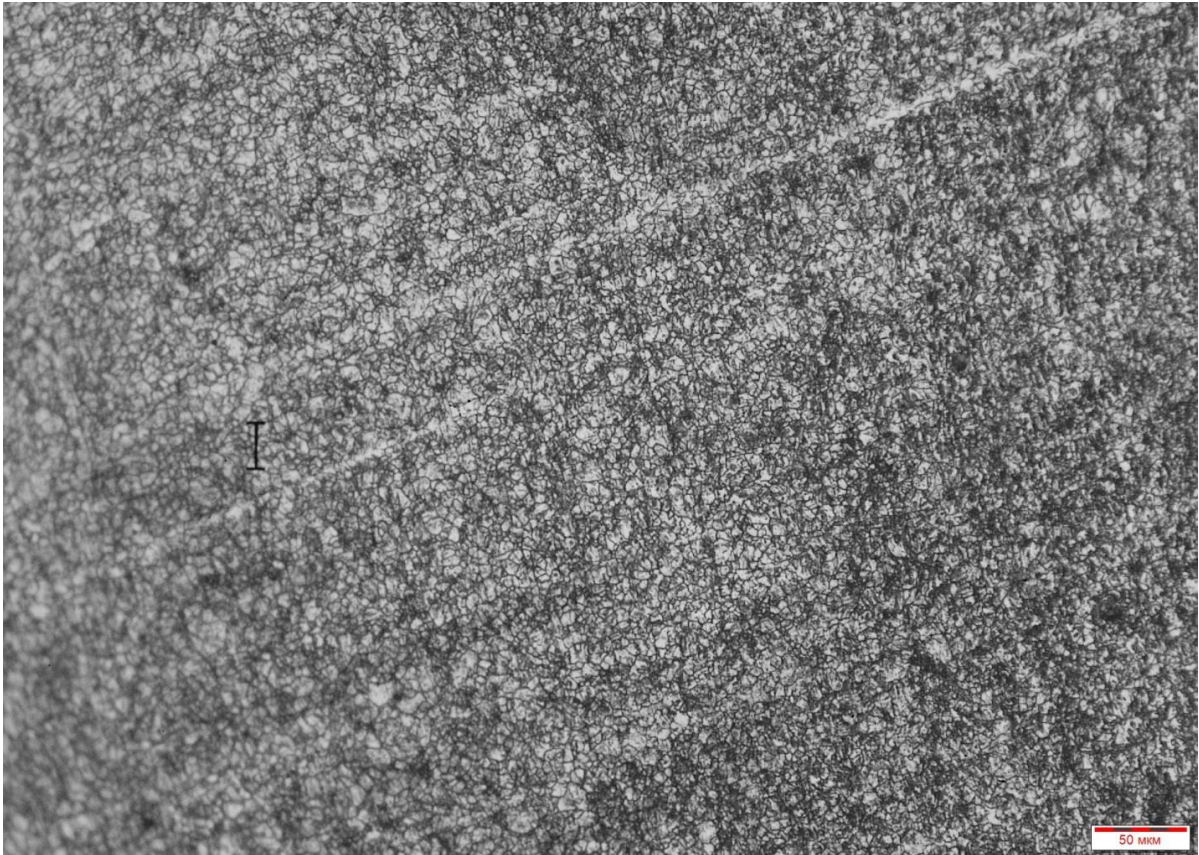
## Додаток В

Мікроструктура зовнішньої поверхні по варіанту 1 в поперечному та  
повздовжньому перерізі при збільшенні 200х.



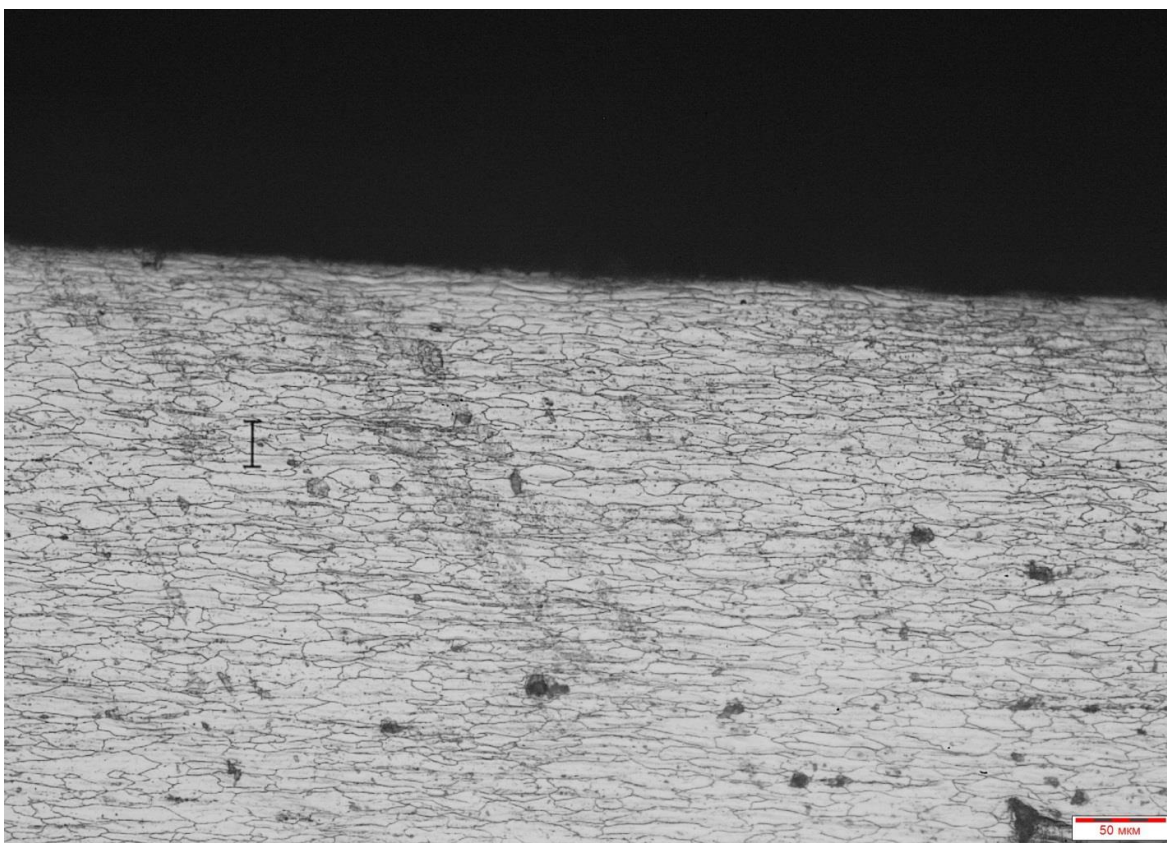
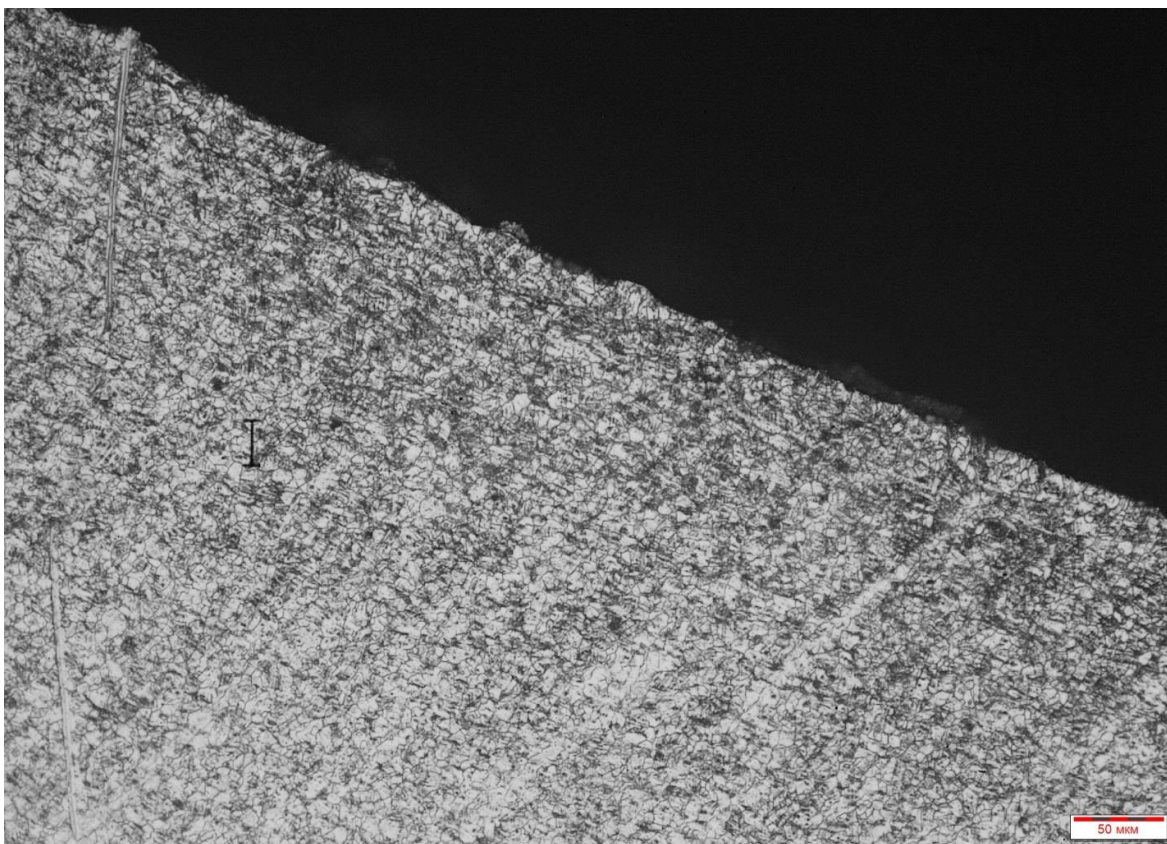
## Додаток Г

Мікроструктура центральної поверхні по варіанту 1 в поперечному та  
повздовжньому перерізі при збільшенні 200х



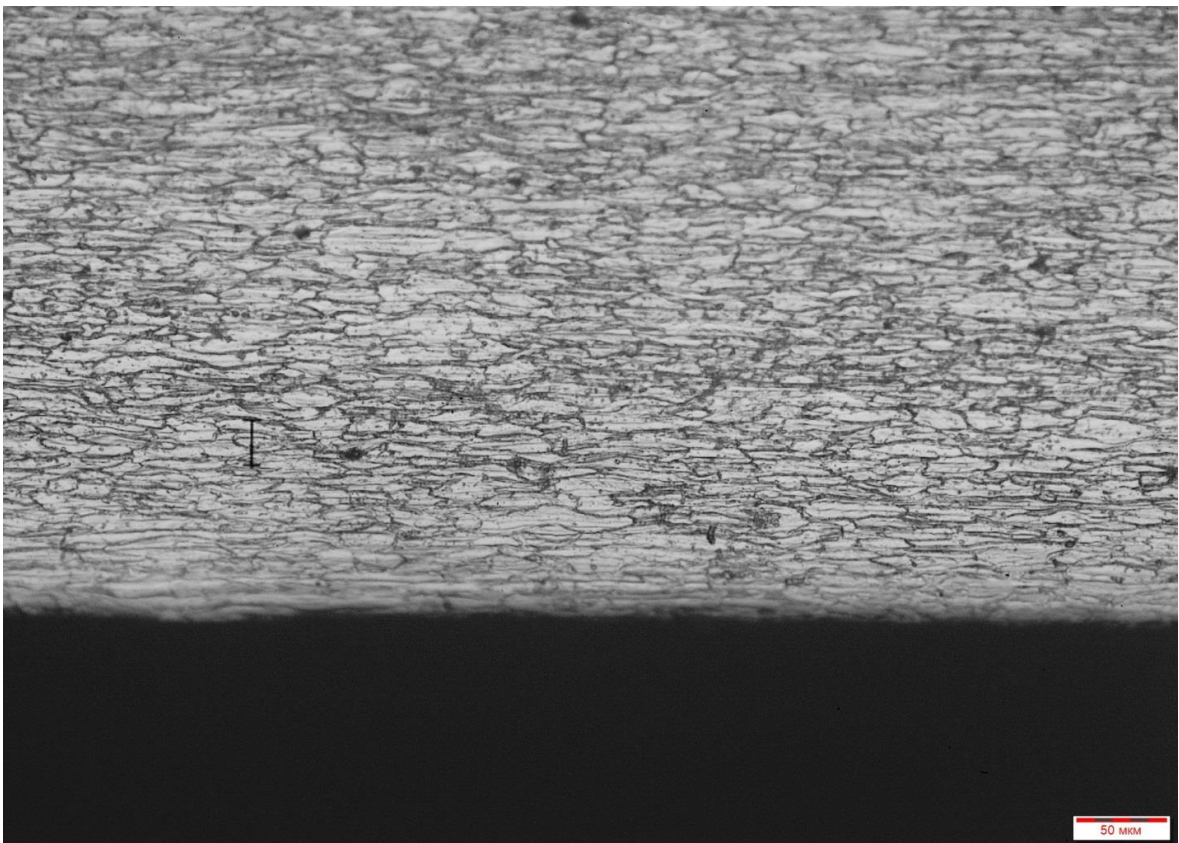
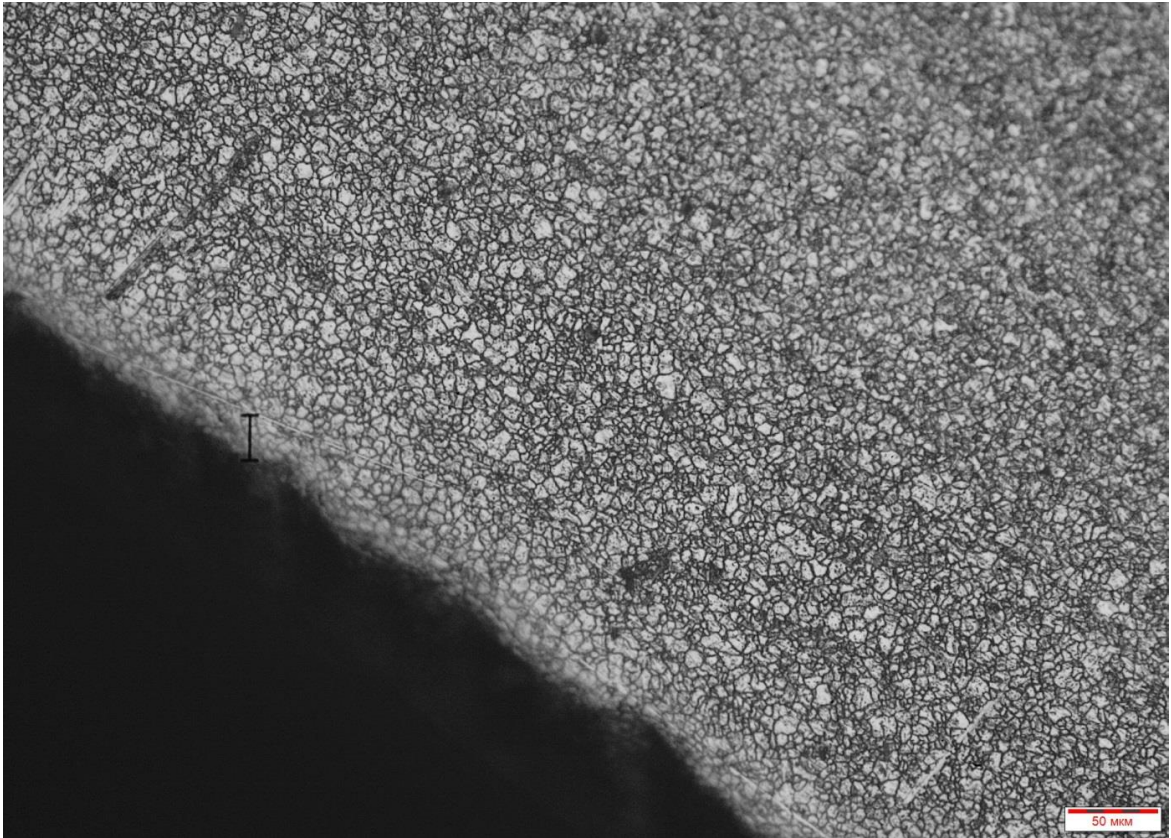
## Додаток Д

Мікроструктура внутрішньої поверхні по режиму 1 в поперечному та  
повздовжньому перерізі при збільшенні 200х



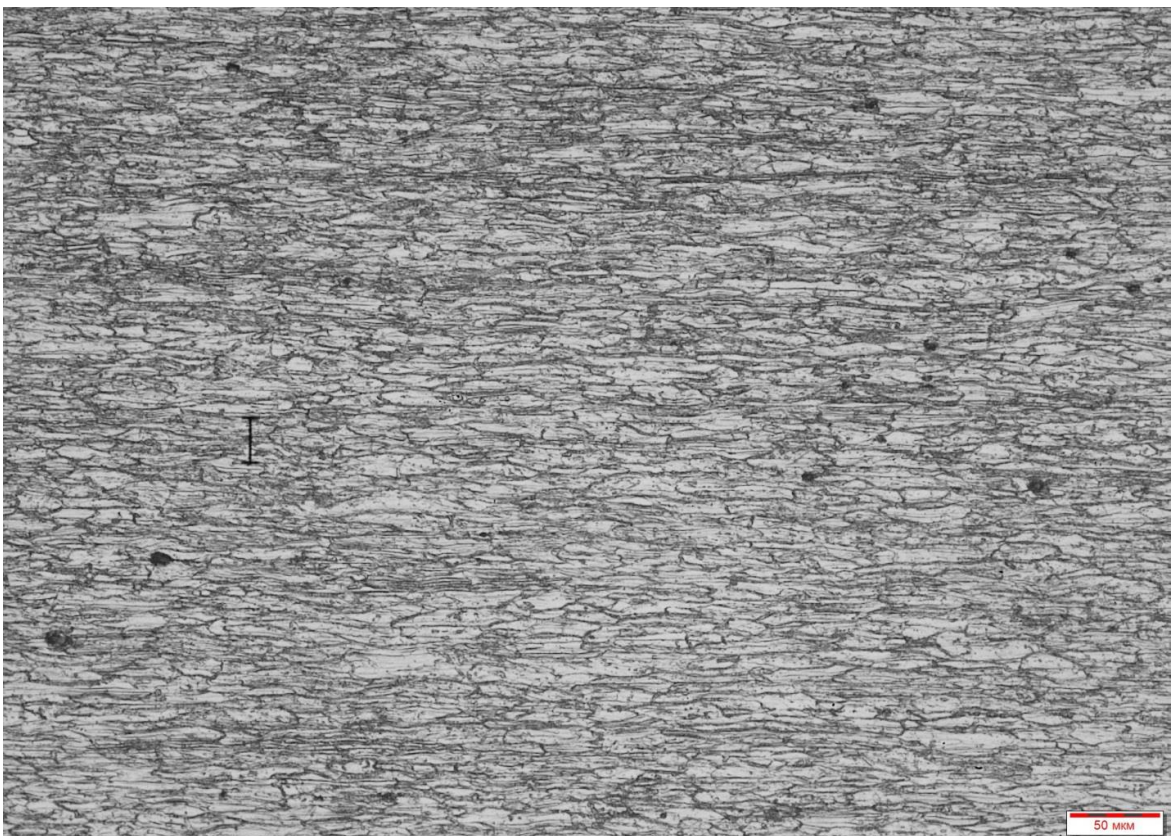
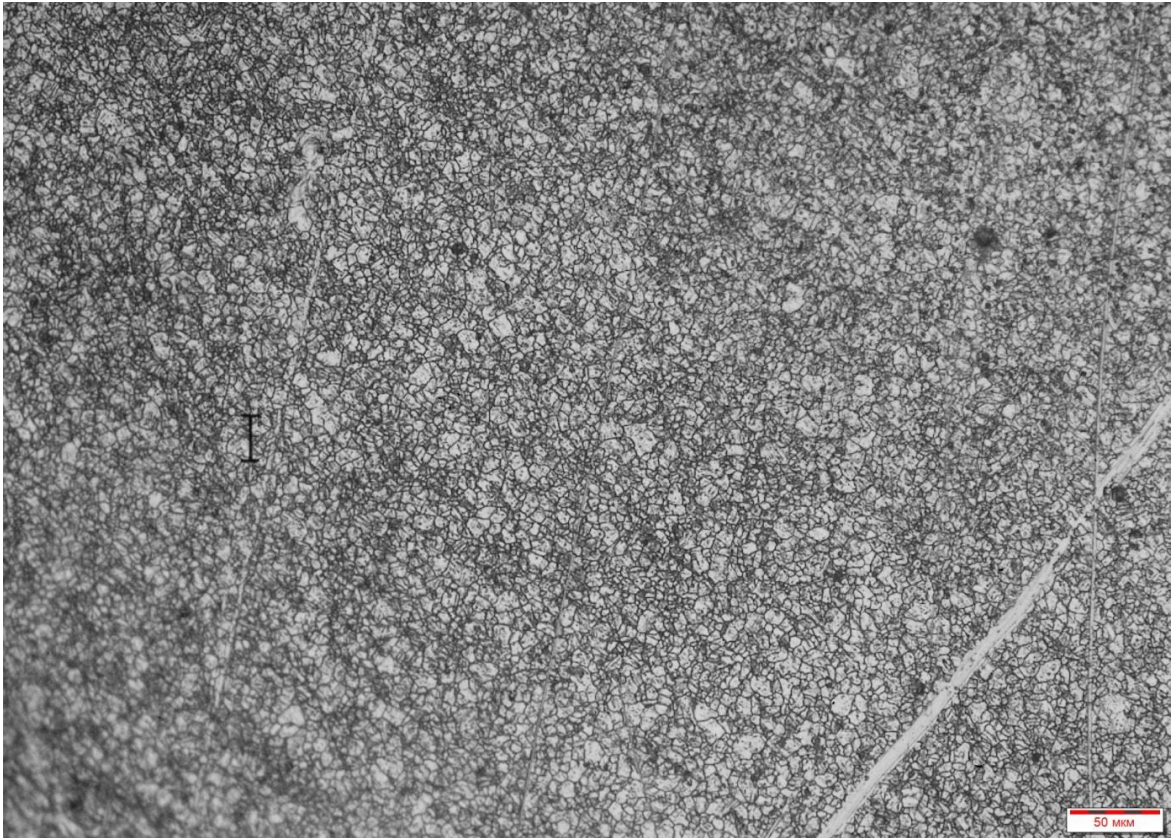
## Додаток Е

Мікроструктура зовнішньої поверхні по режиму 2 в поперечному та  
повздовжньому перерізі при збільшенні 200х



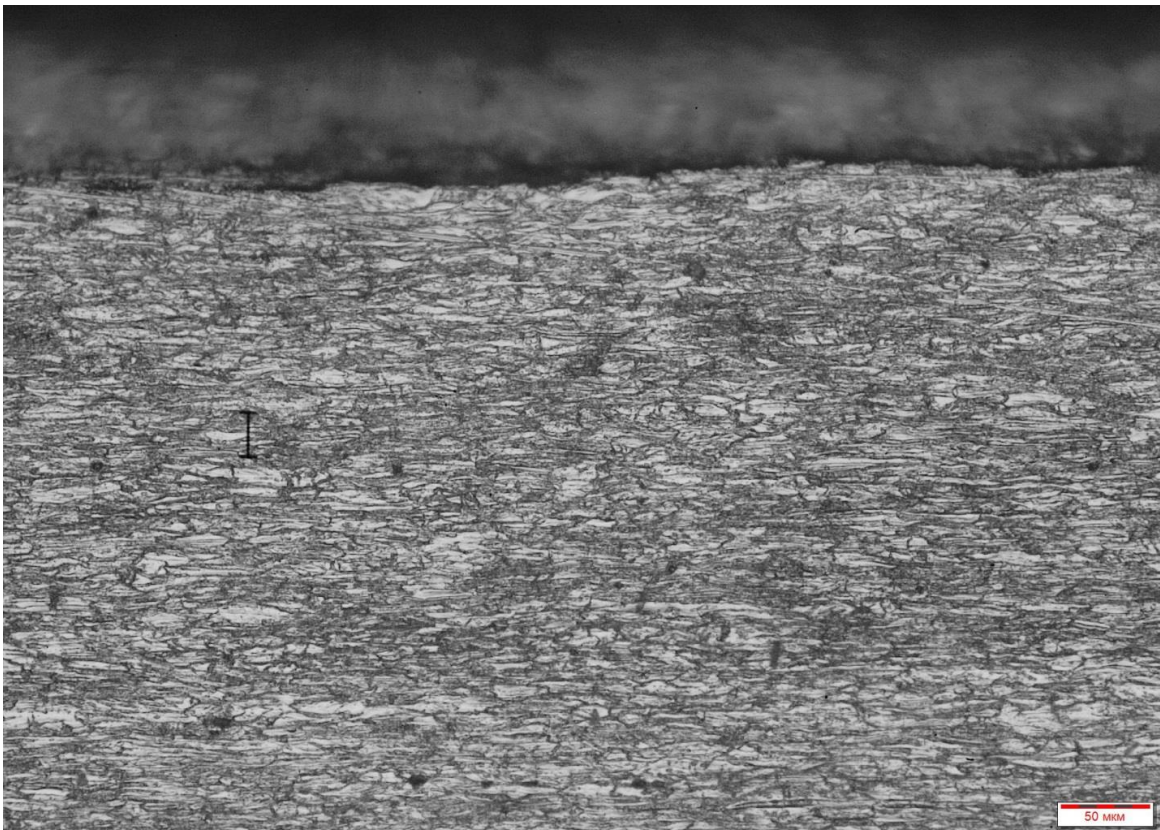
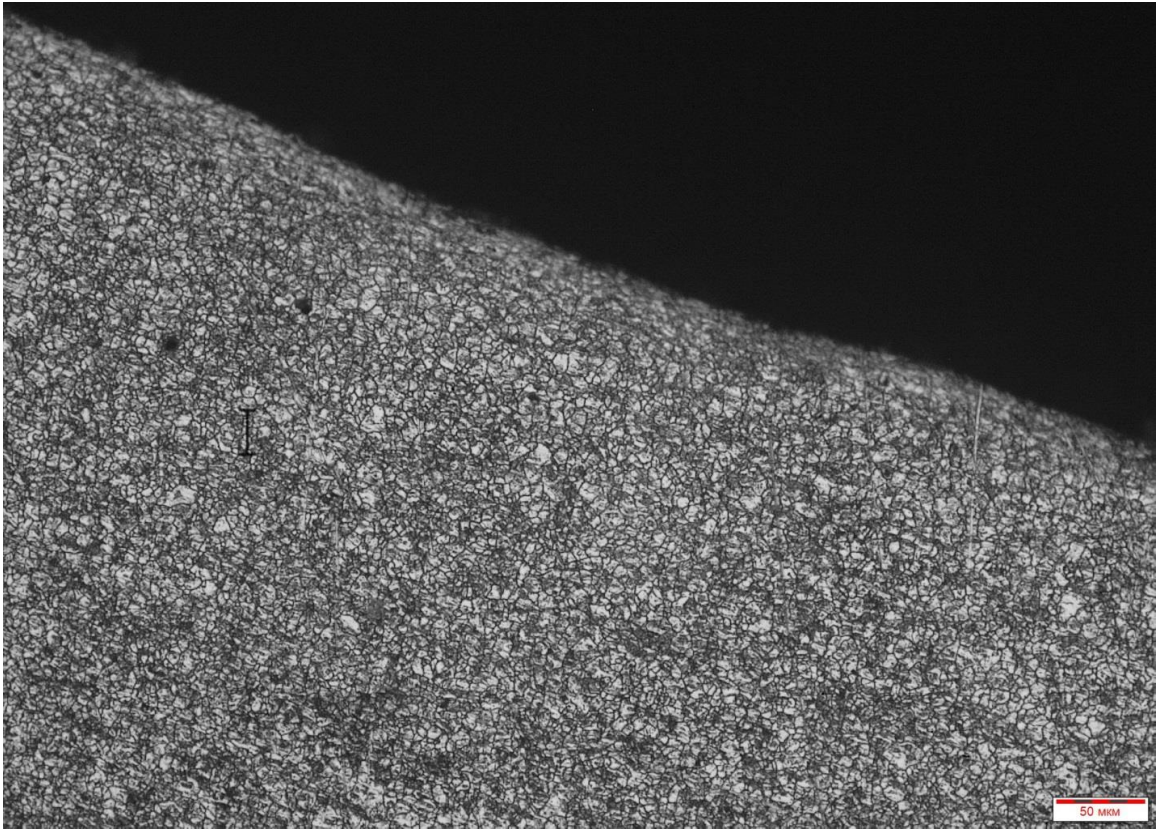
## Додаток Ж

Мікроструктура центральної поверхні по варіанту 2 в поперечному та  
повздовжньому перерізі при збільшенні 200x



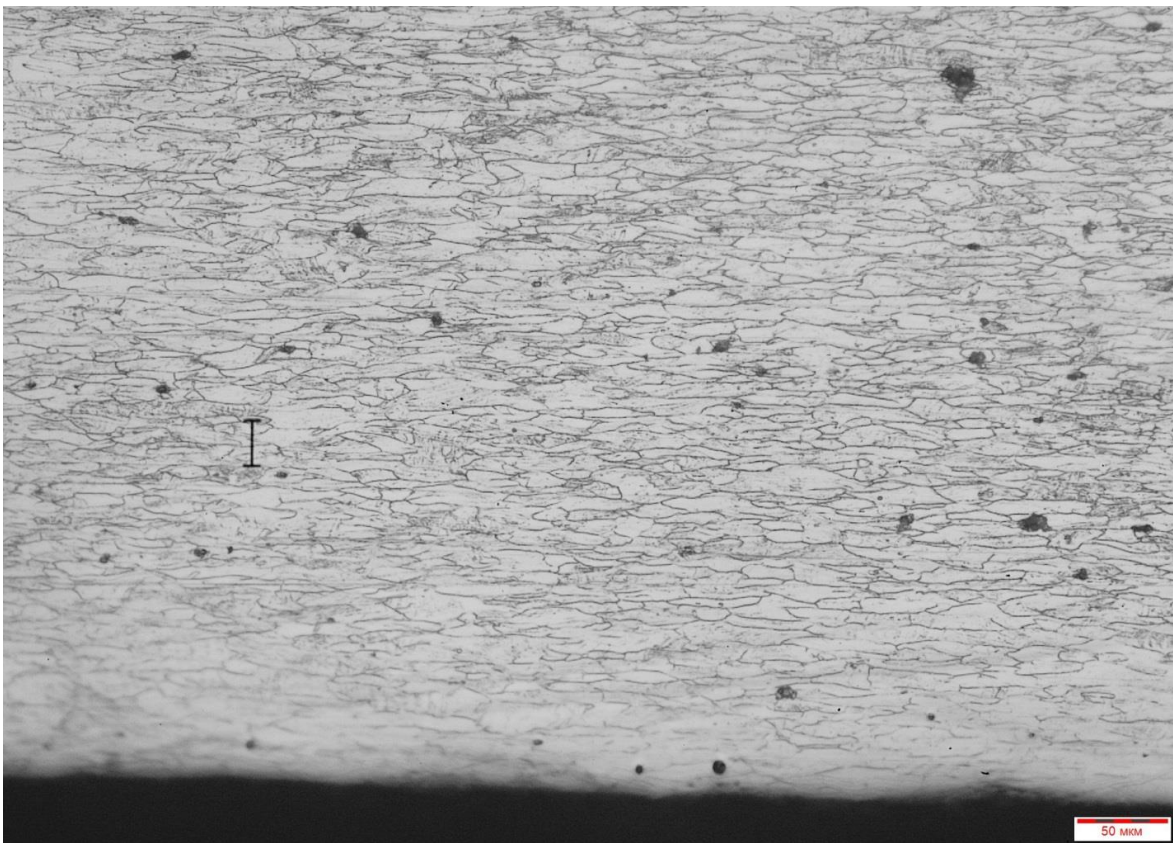
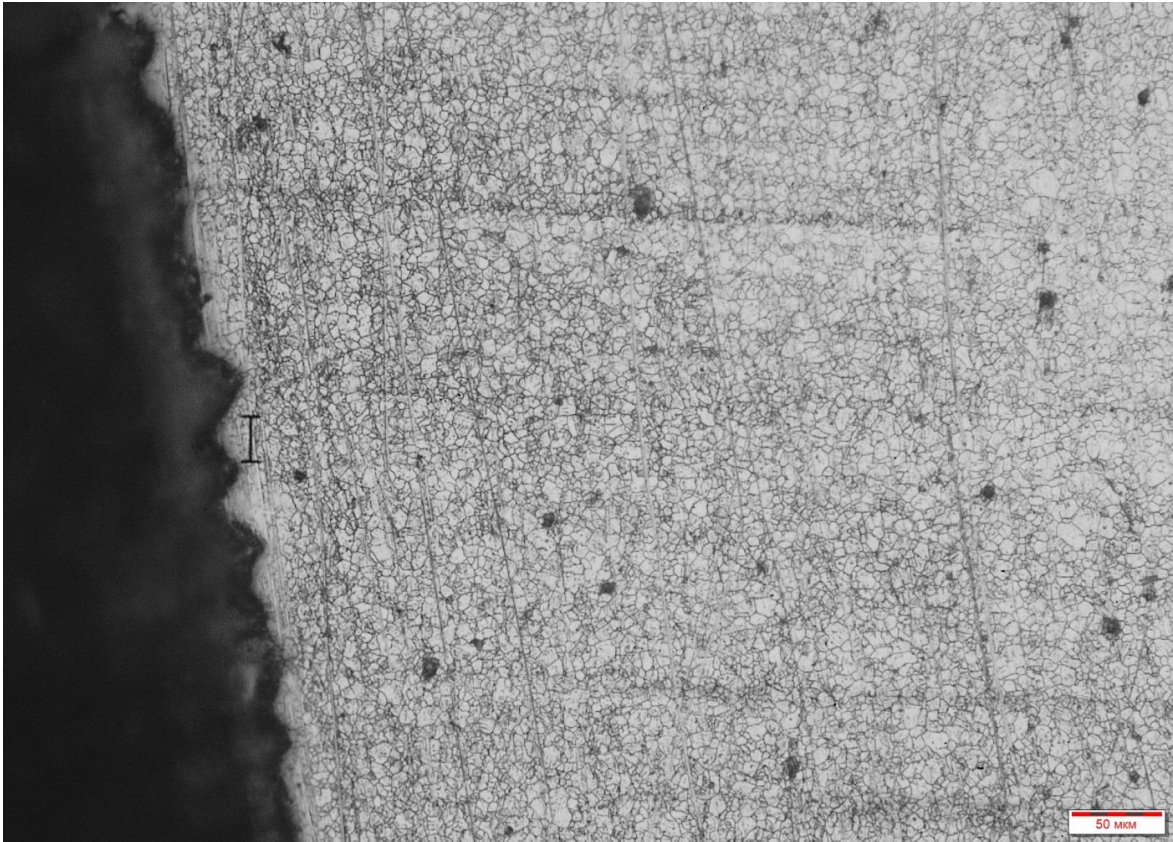
## Додаток 3

Мікроструктура внутрішньої поверхні по режиму 2 в поперечному та  
повздовжньому перерізі при збільшенні 200х



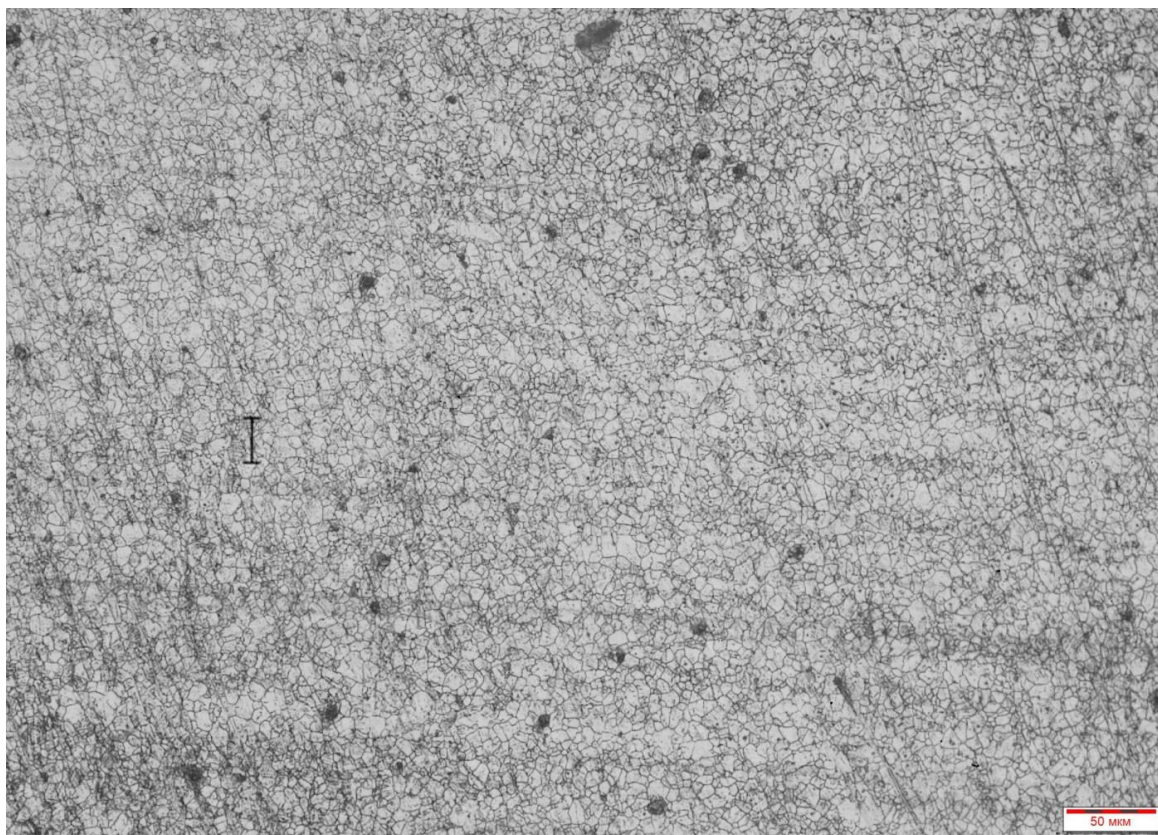
## Додаток И

Мікроструктура зовнішньої поверхні по режиму 3 в поперечному та  
повздовжньому перерізі при збільшенні 200х



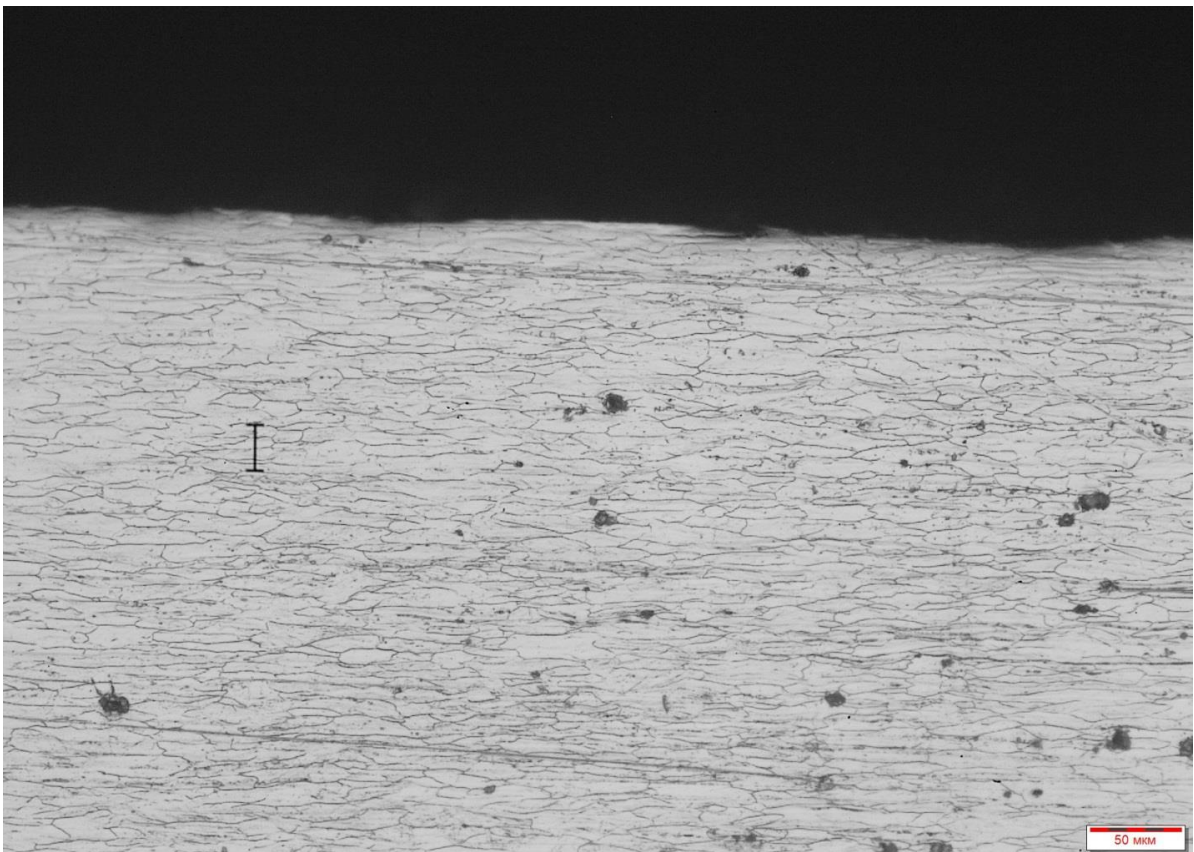
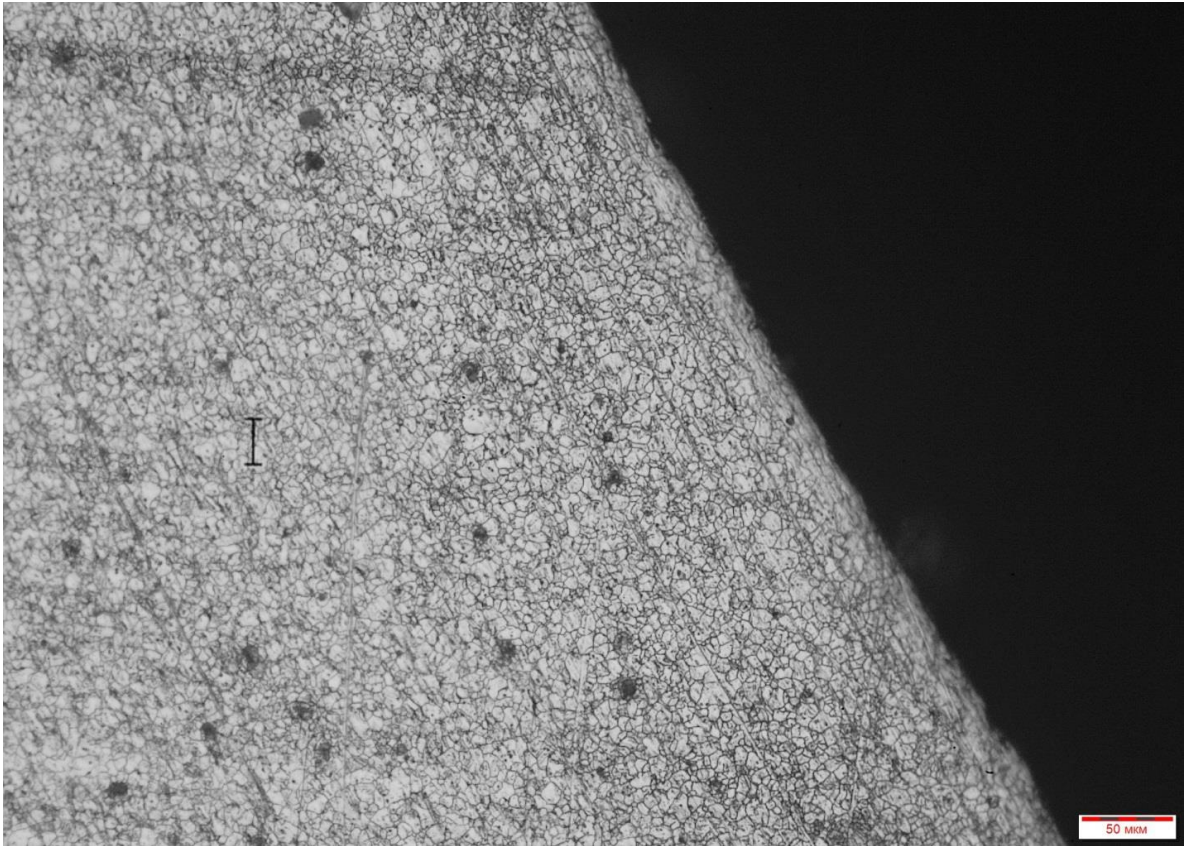
## Додаток К

Мікроструктура центральної поверхні по режиму 3 в поперечному та  
повздовжньому перерізі при збільшенні 200х



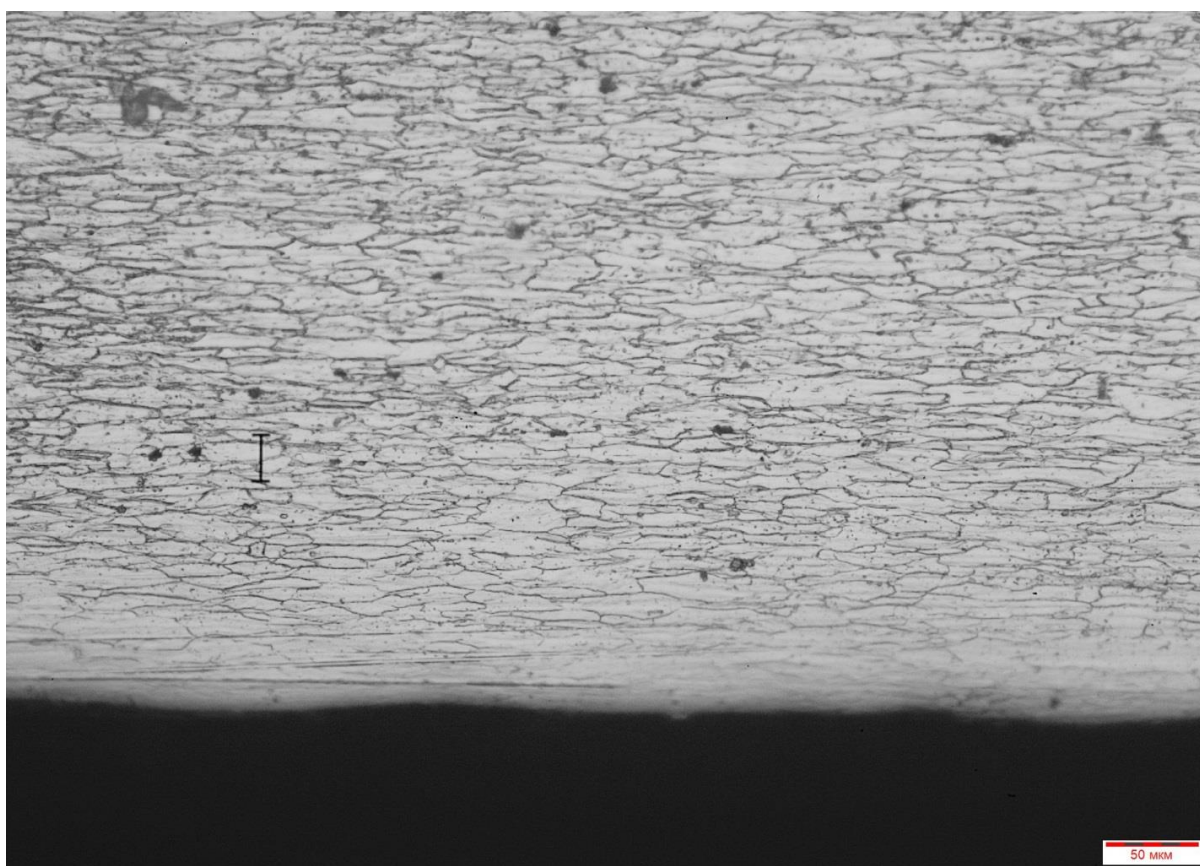
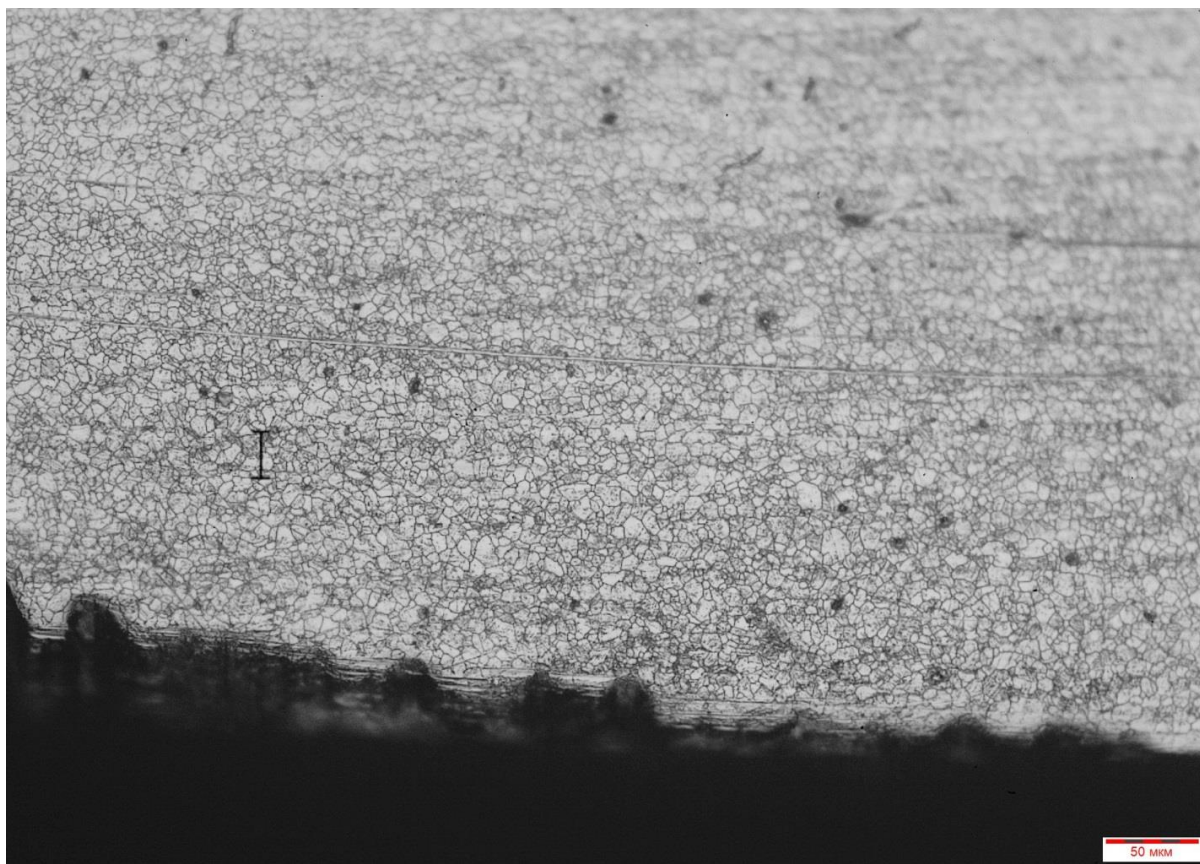
## Додаток Л

Мікроструктура внутрішньої поверхні по режиму 3 в поперечному та  
повздовжньому перерізі при збільшенні 200х



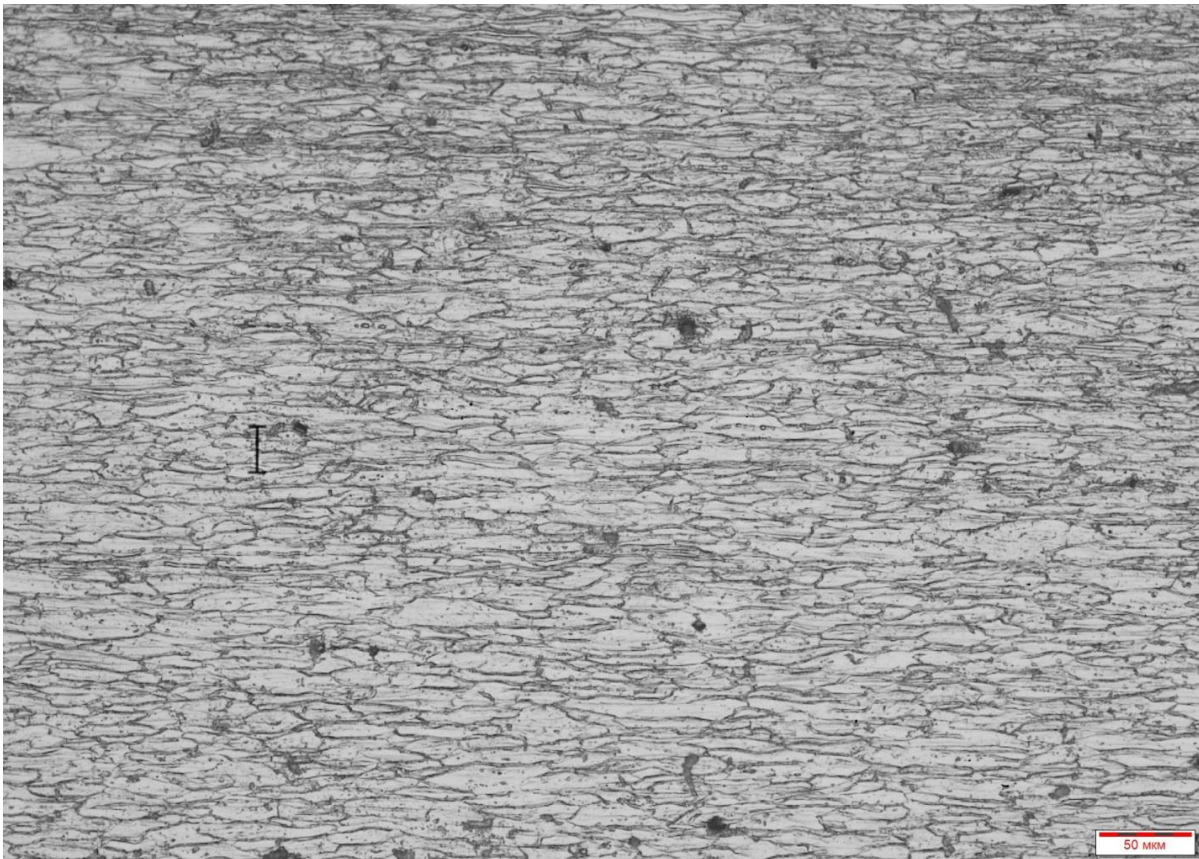
## Додаток М

Мікроструктура зовнішньої поверхні по режиму 4 в поперечному та  
повздовжньому перерізі при збільшенні 200х



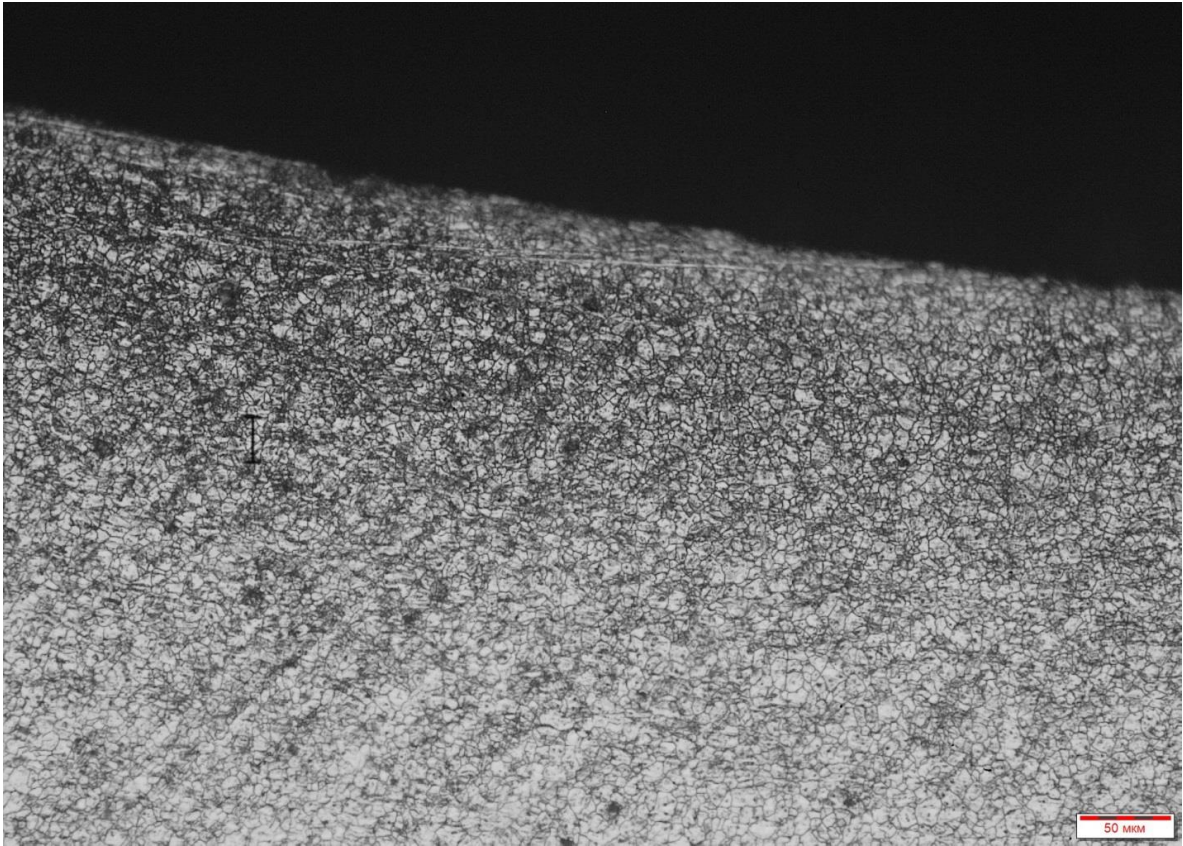
## Додаток Н

Мікроструктура центральної поверхні по режиму 4 в поперечному та  
повздовжньому перерізі при збільшенні 200х



## Додаток П

Мікроструктура внутрішньої поверхні по режиму 4 в поперечному та  
повздовжньому перерізі при збільшенні 200х



## Додаток Р

Таблиця 3.5 – Точність товщини труби заготовки 33,7x3,2 зі сплаву 08X18H10T.

Гр. №		Товщина стінки, мм									Різностінність	
		S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>6</sub>	S <sub>мін</sub>	S <sub>макс</sub>	S <sub>ср</sub>	мм	%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	п.к.	3,30	3,35	3,32	3,36	3,30	3,34	3,30	3,36	3,34	0,06	1,80
	з.к.	3,27	3,30	3,35	3,29	3,32	3,30	3,27	3,35	3,31	0,08	2,42
2	п.к.	3,30	3,35	3,37	3,39	3,40	3,36	3,30	3,40	3,37	0,10	2,97
	з.к.	3,30	3,32	3,30	3,35	3,38	3,34	3,30	3,38	3,32	0,08	2,41
3	п.к.	3,12	3,25	3,25	3,30	3,37	3,37	3,12	3,37	3,28	0,25	7,62
	з.к.	3,30	3,34	3,37	3,35	3,30	3,32	3,30	3,37	3,33	0,07	2,10
4	п.к.	3,27	3,30	3,35	3,37	3,40	3,36	3,27	3,40	3,33	0,13	3,90
	з.к.	3,30	3,34	3,35	3,37	3,32	3,30	3,30	3,37	3,33	0,07	2,10
5	п.к.	3,27	3,30	3,29	3,33	3,30	3,28	3,27	3,33	3,29	0,06	1,82
	з.к.	3,32	3,34	3,39	3,45	3,50	3,42	3,30	3,50	3,38	0,20	5,92
6	п.к.	3,27	3,30	3,35	3,37	3,40	3,36	3,27	3,40	3,33	0,13	3,90
	з.к.	3,30	3,34	3,35	3,37	3,32	3,30	3,30	3,37	3,33	0,07	2,10
7	п.к.	3,30	3,35	3,37	3,39	3,40	3,36	3,30	3,40	3,37	0,10	2,97
	з.к.	3,30	3,32	3,30	3,35	3,38	3,34	3,30	3,38	3,32	0,08	2,41
8	п.к.	3,27	3,30	3,29	3,33	3,30	3,28	3,27	3,33	3,29	0,06	1,82
	з.к.	3,32	3,34	3,39	3,45	3,50	3,42	3,30	3,50	3,38	0,20	5,92
9	п.к.	3,35	3,36	3,32	3,30	3,30	3,34	3,30	3,36	3,34	0,06	1,80
	з.к.	3,35	3,30	3,27	3,27	3,29	3,30	3,27	3,35	3,31	0,08	2,42
10	п.к.	3,30	3,35	3,37	3,40	3,36	3,27	3,27	3,40	3,33	0,13	3,90
	з.к.	3,30	3,35	3,37	3,35	3,34	3,32	3,30	3,37	3,33	0,07	2,10
11	п.к.	3,27	3,30	3,30	3,35	3,37	3,40	3,27	3,40	3,33	0,13	3,90
	з.к.	3,30	3,35	3,37	3,34	3,32	3,35	3,30	3,37	3,33	0,07	2,10
12	п.к.	3,27	3,30	3,29	3,33	3,30	3,28	3,27	3,33	3,29	0,06	1,82
	з.к.	3,39	3,45	3,50	3,42	3,34	3,32	3,27	3,50	3,40	0,23	6,76

## Додаток С

Таблиця 3.6 – Точність товщини труби зі сплаву 08X18H10T, прокатоної на стані КРВ-25 по маршруту 33,7x3,2 - 16x1,5 (подача 2,8+2,8 число подвійних ходів 280)

Тр. №		Товщина стінки, мм									Різностінність	
		S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>6</sub>	S <sub>мін</sub>	S <sub>макс</sub>	S <sub>ср</sub>	мм	%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	П.К.	1,59	1,58	1,60	1,57	1,61	1,58	1,57	1,61	1,59	0,04	2,52
	З.К.	1,61	1,58	1,59	1,57	1,60	1,61	1,57	1,61	1,60	0,04	2,51
2	П.К.	1,59	1,58	1,57	1,59	1,61	1,58	1,57	1,61	1,58	0,04	2,53
	З.К.	1,60	1,58	1,58	1,61	1,58	1,60	1,57	1,61	1,59	0,04	2,52
3	П.К.	1,57	1,58	1,57	1,61	1,60	1,58	1,57	1,61	1,59	0,04	2,52
	З.К.	1,59	1,58	1,61	1,57	1,58	1,58	1,57	1,61	1,59	0,04	2,52
4	П.К.	1,59	1,58	1,60	1,60	1,62	1,61	1,57	1,62	1,59	0,05	3,14
	З.К.	1,58	1,59	1,61	1,57	1,59	1,58	1,57	1,61	1,59	0,04	2,52
5	П.К.	1,60	1,59	1,58	1,57	1,58	1,60	1,57	1,61	1,59	0,04	2,52
	З.К.	1,58	1,61	1,58	1,58	1,61	1,59	1,58	1,62	1,59	0,04	2,51
6	П.К.	1,60	1,58	1,59	1,58	1,62	1,61	1,58	1,62	1,60	0,04	2,51
	З.К.	1,58	1,62	1,59	1,61	1,60	1,60	1,58	1,62	1,60	0,04	2,51
7	П.К.	1,58	1,60	1,62	1,58	1,61	1,60	1,58	1,62	1,60	0,04	2,50
	З.К.	1,63	1,61	1,58	1,59	1,60	1,60	1,58	1,63	1,60	0,05	3,12
8	П.К.	1,58	1,61	1,59	1,62	1,61	1,58	1,58	1,63	1,60	0,05	3,12
	З.К.	1,59	1,62	1,60	1,59	1,58	1,58	1,58	1,62	1,60	0,04	2,51
9	П.К.	1,60	1,62	1,59	1,58	1,58	1,58	1,58	1,62	1,60	0,04	2,50
	З.К.	1,59	1,58	1,61	1,59	1,59	1,61	1,58	1,61	1,60	0,03	1,88
10	П.К.	1,58	1,59	1,60	1,62	1,60	1,61	1,57	1,62	1,59	0,05	3,14
	З.К.	1,58	1,59	1,61	1,58	1,58	1,60	1,57	1,61	1,59	0,04	2,52
11	П.К.	1,61	1,62	1,58	1,58	1,59	1,60	1,58	1,62	1,60	0,04	2,51
	З.К.	1,58	1,62	1,60	1,60	1,61	1,59	1,58	1,62	1,60	0,04	2,51
12	П.К.	1,61	1,61	1,61	1,62	1,58	1,58	1,58	1,63	1,60	0,05	3,12
	З.К.	1,60	1,62	1,59	1,59	1,61	1,59	1,58	1,62	1,60	0,04	2,50

## Додаток Т

Таблиця 4.2 - Точність величини діаметру труб прокатаних з подачею та поворотом в обох положеннях кліті на стані ХПТ-32 (пакет № 3, діаметр труби 19,05 мм, товщина стінки 2,11мм)

№ тр.	Dmax, мм	Dmin, мм	$\Delta D$ , мм	Dcp, мм	$\Delta D$ , %	№ тр.	Dmax, мм	Dmin, мм	$\Delta D$ , мм	Dcp, мм	$\Delta D$ , %
1	19.10	19.03	0.07	19.06	0.37	26	19.04	19.00	0.04	19.02	0.21
2	19.05	19.02	0.03	19.03	0.16	27	19.09	19.01	0.08	19.06	0.42
3	19.07	19.02	0.05	19.05	0.26	28	19.05	19.02	0.03	19.04	0.16
4	19.08	19.03	0.05	19.06	0.26	29	19.05	19.01	0.04	19.03	0.21
5	19.08	19.05	0.03	19.07	0.16	30	19.07	19.03	0.04	19.05	0.21
6	19.07	19.03	0.04	19.06	0.21	31	19.09	19.05	0.04	19.07	0.21
7	19.07	19.03	0.04	19.05	0.21	32	19.07	19.01	0.06	19.04	0.32
8	19.05	19.00	0.05	19.03	0.26	33	19.08	19.07	0.01	19.08	0.05
9	19.08	19.04	0.04	19.06	0.21	34	19.03	19.00	0.03	19.02	0.16
10	19.09	19.02	0.07	19.05	0.37	35	19.08	19.05	0.03	19.07	0.16
11	19.05	19.03	0.02	19.04	0.11	36	19.06	19.03	0.03	19.05	0.16
12	19.08	19.00	0.08	19.04	0.42	37	19.08	19.04	0.04	19.07	0.21
13	19.09	19.03	0.06	19.06	0.31	38	19.05	19.03	0.02	19.04	0.11
14	19.05	19.01	0.04	19.03	0.21	39	19.09	19.06	0.03	19.07	0.16
15	19.06	19.03	0.03	19.05	0.16	40	19.09	19.05	0.04	19.07	0.21
16	19.07	19.01	0.06	19.04	0.32	41	19.05	19.00	0.05	19.03	0.26
17	19.05	19.02	0.03	19.03	0.16	42	19.05	19.03	0.02	19.04	0.11
18	19.08	19.03	0.05	19.06	0.26	43	19.05	19.02	0.03	19.04	0.16
19	19.07	19.03	0.04	19.05	0.21	44	19.02	19.00	0.02	19.01	0.11
20	19.03	19.00	0.03	19.02	0.16	45	19.06	19.03	0.03	19.05	0.16
21	19.05	19.02	0.03	19.04	0.16	46	19.07	19.03	0.04	19.05	0.21
22	19.09	19.06	0.03	19.07	0.16	47	19.03	19.00	0.03	19.02	0.16
23	19.03	19.00	0.03	19.02	0.16	48	19.05	19.03	0.02	19.04	0.11
24	19.06	19.03	0.03	19.05	0.16	49	19.07	19.05	0.02	19.06	0.10
25	19.06	19.03	0.03	19.05	0.16	50	19.09	19.07	0.02	19.08	0.10

## Додаток У

Таблиця 4.4 - Точність величини товщини стінки труб прокатаних з подачею та поворотом в обох положеннях кліті на стані ХПТ-32 (пакет № 3, діаметр труби 19,05 мм, товщина стінки 2,11мм)

№ тр.	Smax, мм	Smin, мм	$\Delta S$ , мм	Scp, мм	$\Delta S$ , %	№ тр.	Smax, мм	Smin, мм	$\Delta S$ , мм	Scp, мм	$\Delta S$ , %
1	2.30	2.25	0.05	2.29	2.19	26	2.35	2.28	0.07	2.32	3.02
2	2.28	2.25	0.03	2.27	1.32	27	2.42	2.36	0.06	2.39	2.51
3	2.36	2.27	0.09	2.31	3.90	28	2.36	2.27	0.09	2.30	3.91
4	2.38	2.28	0.10	2.33	4.29	29	2.36	2.30	0.06	2.33	2.57
5	2.36	2.27	0.09	2.33	3.87	30	2.33	2.27	0.06	2.30	2.61
6	2.32	2.28	0.04	2.30	1.74	31	2.46	2.32	0.14	2.37	5.90
7	2.32	2.26	0.06	2.29	2.62	32	2.35	2.30	0.05	2.32	2.16
8	2.37	2.30	0.07	2.34	2.99	33	2.36	2.33	0.03	2.35	1.28
9	2.31	2.26	0.05	2.29	2.18	34	2.36	2.32	0.04	2.35	1.71
10	2.40	2.32	0.08	2.35	3.41	35	2.33	2.28	0.05	2.30	2.17
11	2.36	2.25	0.11	2.31	4.76	36	2.42	2.30	0.12	2.34	5.12
12	2.37	2.33	0.04	2.35	1.70	37	2.40	2.31	0.09	2.36	3.82
13	2.29	2.25	0.04	2.27	1.77	38	2.37	2.32	0.05	2.35	2.13
14	2.33	2.28	0.05	2.31	2.17	39	2.34	2.30	0.04	2.32	1.72
15	2.35	2.29	0.06	2.33	2.58	40	2.33	2.27	0.06	2.31	2.60
16	2.32	2.27	0.05	2.28	2.19	41	2.40	2.34	0.06	2.37	2.53
17	2.38	2.28	0.10	2.33	4.29	42	2.39	2.32	0.07	2.35	2.98
18	2.36	2.30	0.06	2.33	2.58	43	2.32	2.25	0.07	2.28	3.07
19	2.42	2.36	0.06	2.38	2.52	44	2.34	2.30	0.04	2.32	1.72
20	2.36	2.27	0.09	2.32	3.88	45	2.39	2.34	0.05	2.37	2.11
21	2.36	2.29	0.07	2.33	3.01	46	2.36	2.29	0.07	2.34	3.00
22	2.40	2.29	0.11	2.35	4.69	47	2.36	2.30	0.06	2.34	2.57
23	2.32	2.29	0.03	2.30	1.30	48	2.32	2.29	0.03	2.30	1.30
24	2.33	2.27	0.06	2.31	2.60	49	2.30	2.26	0.04	2.28	1.76
25	2.35	2.31	0.04	2.33	1.72	50	2.34	2.29	0.05	2.31	2.16

## Додаток Ф

Таблиця 4.6 - Точність діаметру труб пакету № 4 (труби розміром 19,05x2,11 мм, прокатані на стані ХПТ – 32 з подачею перед переднім рухом, поворотом перед зворотним)

№ тр.	D <sub>мах</sub> , мм	D <sub>мін</sub> , мм	ΔD, мм	D <sub>ср.</sub> , мм	ΔD, %	№ тр.	D <sub>мах</sub> , мм	D <sub>мін</sub> , мм	ΔD, мм	D <sub>ср.</sub> , мм	ΔD, %
1	19.10	19.08	0.02	19.09	0.10	26	19.12	19.05	0.07	19.09	0.37
2	19.12	19.08	0.04	19.10	0.21	27	19.13	19.07	0.06	19.10	0.31
3	19.17	19.06	0.11	19.11	0.58	28	19.10	19.06	0.04	19.08	0.21
4	19.12	19.08	0.04	19.09	0.21	29	19.10	19.06	0.04	19.08	0.21
5	19.15	19.03	0.12	19.10	0.63	30	19.12	19.05	0.07	19.07	0.37
6	19.11	19.08	0.03	19.10	0.16	31	19.11	19.05	0.06	19.07	0.31
7	19.13	19.05	0.07	19.10	0.39	32	19.13	19.09	0.04	19.11	0.21
8	19.13	19.03	0.10	19.08	0.52	33	19.10	19.05	0.05	19.08	0.26
9	19.09	19.05	0.04	19.08	0.21	34	19.10	19.04	0.06	19.08	0.31
10	19.09	19.05	0.04	19.07	0.21	35	19.06	19.03	0.03	19.05	0.16
11	19.06	19.05	0.01	19.06	0.05	36	19.15	19.10	0.05	19.14	0.26
12	19.11	19.05	0.06	19.08	0.31	37	19.11	19.05	0.06	19.09	0.31
13	19.11	19.06	0.05	19.09	0.26	38	19.10	19.05	0.05	19.08	0.26
14	19.13	19.03	0.10	19.08	0.52	39	19.10	19.04	0.06	19.06	0.31
15	19.14	19.06	0.08	19.11	0.42	40	19.08	19.02	0.06	19.06	0.31
16	19.10	19.05	0.05	19.07	0.26	41	19.12	19.06	0.06	19.09	0.31
17	19.12	19.05	0.07	19.09	0.37	42	19.05	19.00	0.05	19.03	0.26
18	19.10	19.05	0.05	19.07	0.26	43	19.08	19.06	0.02	19.07	0.10
19	19.08	19.05	0.03	19.07	0.16	44	19.11	19.08	0.03	19.10	0.16
20	19.11	19.05	0.06	19.08	0.31	45	19.12	19.07	0.05	19.10	0.26
21	19.11	19.05	0.06	19.09	0.31	46	19.12	19.10	0.02	19.11	0.10
22	19.11	19.05	0.06	19.08	0.31	47	19.09	19.07	0.02	19.08	0.10
23	19.11	19.05	0.06	19.08	0.31	48	19.13	19.10	0.03	19.12	0.16
24	19.10	19.05	0.05	19.08	0.26	49	19.08	19.06	0.02	19.07	0.10
25	19.13	19.08	0.05	19.10	0.26	50	19.12	19.07	0.05	19.09	0.26

## Додаток X

Таблиця 4.8 - Точність величини товщини стінки труб пакету № 4 (труби розміром 19,05x2,11 мм, прокатані на стані ХПТ – 32 з подачею перед переднім рухом, поворотом перед зворотним)

№ тр.	S <sub>max</sub> , мм	S <sub>min</sub> , мм	ΔS, мм	S <sub>ср</sub> , мм	ΔS, %	№ тр.	S <sub>max</sub> , мм	S <sub>min</sub> , мм	ΔS, мм	S <sub>ср</sub> , мм	ΔS, %
1	2,11	2,08	0,03	2,10	1,43	26	2,13	2,10	0,03	2,12	1,42
2	2,18	2,06	0,12	2,12	5,66	27	2,16	2,10	0,06	2,13	2,82
3	2,15	2,10	0,05	2,13	2,34	28	2,17	2,10	0,07	2,14	3,28
4	2,10	2,08	0,02	2,09	0,96	29	2,13	2,09	0,04	2,11	1,90
5	2,12	2,07	0,05	2,10	2,39	30	2,13	2,09	0,04	2,11	1,90
6	2,05	2,00	0,05	2,02	2,47	31	2,07	2,03	0,04	2,05	1,95
7	2,09	2,06	0,03	2,08	1,44	32	2,11	2,00	0,11	2,07	5,32
8	2,05	2,00	0,05	2,03	2,47	33	2,10	2,01	0,09	2,08	4,34
9	2,12	2,04	0,08	2,08	3,84	34	2,07	2,04	0,03	2,06	1,46
10	2,11	2,00	0,11	2,07	5,31	35	2,15	2,10	0,05	2,13	2,35
11	2,13	2,00	0,13	2,08	6,27	36	2,11	2,07	0,04	2,09	1,92
12	2,17	2,13	0,04	2,15	1,86	37	2,16	2,11	0,05	2,14	2,34
13	2,11	2,08	0,03	2,10	1,43	38	2,15	2,10	0,05	2,13	2,35
14	2,10	2,05	0,05	2,08	2,41	39	2,19	2,16	0,03	2,18	1,38
15	2,10	2,05	0,05	2,08	2,41	40	2,20	2,16	0,04	2,19	1,83
16	2,07	2,03	0,04	2,05	1,95	41	2,15	2,12	0,03	2,14	1,40
17	2,05	2,00	0,05	2,03	2,47	42	2,13	2,09	0,04	2,11	1,90
18	2,07	2,05	0,02	2,06	0,97	43	2,12	2,08	0,04	2,10	1,90
19	2,03	2,00	0,03	2,01	1,49	44	2,05	2,00	0,05	2,03	2,47
20	2,16	2,04	0,12	2,11	5,70	45	2,11	2,07	0,04	2,09	1,91
21	2,10	2,07	0,03	2,09	1,44	46	2,12	2,07	0,05	2,10	2,39
22	2,10	2,01	0,09	2,07	4,35	47	2,14	2,09	0,05	2,11	2,37
23	2,12	2,05	0,07	2,09	3,35	48	2,11	2,07	0,04	2,09	1,92
24	2,11	2,03	0,08	2,06	3,88	49	2,17	2,09	0,08	2,12	3,77
25	2,12	2,05	0,07	2,09	3,36	50	2,17	2,13	0,04	2,15	1,86