

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНА МЕТАЛУРГІЙНА АКАДЕМІЯ УКРАЇНИ

На правах рукопису

Міщенко Олексій Васильович

УДК 621.774.36

РОЗВИТОК НАУКОВИХ ОСНОВ МЕТОДУ ПРОГНОЗУВАННЯ КІНЦЕВОЇ
ПОПЕРЕЧНОЇ РІЗНОСТІННОСТІ ТРУБ ЗІ СПЛАВІВ НА ОСНОВІ ТИТАНУ ПРИ
БАГАТОПРОХІДНІЙ ХОЛОДНІЙ ПРОКАТЦІ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ
РЕГЛАМЕНТОВАНОЇ ТОЧНОСТІ

Спеціальність 05.03.05
«Процеси та машини обробки тиском»

Автореферат на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дніпро – 2018

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національній металургійній академії України Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник:

доктор технічних наук, професор **Григоренко Володимир Устинович**,
Національна Металургійна академія України, м.Дніпро, професор кафедри
технологічного проектування ім. В.М.Друяна

Офіційні опоненти:

- доктор технічних наук, професор **Сокурєнко Віктор Павлович**,
позаштатний науковий співробітник державного підприємства
«Міжрегіональний інженерно-науковий центр сертифікації систем якості,
труб, балонів та іншої металопродукції (ДП “ВНІПІ-ТЕСТ”)», м.Дніпро;
- кандидат технічних наук, **Гармашев Денис Юрійович**, головний
спеціаліст по гарячій деформації та прокатному інструменту ТОВ
«ІНТЕРПАЙП НІКО ТЬЮБ», м.Нікополь

Захист відбудеться «__»_____2018 р. о __ годині на засіданні
спеціалізованої вченої ради Д08.084.02 Національної металургійної академії України
за адресою: 49600, м. Дніпропетровськ, пр. Гагаріна, 4

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Національної металургійної
академії України за адресою: 49600, м. Дніпропетровськ, пр. Гагаріна, 4

Автореферат розісланий «__»_____2018 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

Т.М. Миронова

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Сучасні високоточні холоднодеформовані труби зі сплавів на основі титану широко використовуються у відповідальних механізмах новітнього машинобудування та енергетики.

Для одержання таких труб необхідно при виробництві проводити декілька прокаток на станах ХПТ, ХПТР. Таку технологію виробництва холоднодеформованих труб називають багатопрхідною. В умовах багатопрхідної холодної прокатки труб відбувається зменшення початкової поперечної різностінності труб.

Поперечна різностінність труб є найбільш важливим показником точності на виробництві оскільки великий об'єм труб зі сплавів на основі титану одержують з заготовки, що має велику поперечну різностінність. При цьому, в основному, підвищені витрати металу пов'язані з одержанням труб з великим рівнем поперечної різностінності, що виходить за поле допусків. Оскільки вартість виготовлення труб зі сплаву на основі титану велика, важливим питанням постає можливість прогнозувати рівень поперечної різностінності, яку можна одержати після багатопрхідної прокатки.

Для прогнозування поперечної різностінності труб існують методи тільки для однопрхідної прокатки, які мають певні недоліки. Наприклад, у методі прогнозування остаточної поперечної різностінності труб Хаустова Г.Й. розробленого для прокатки труб з вуглецевих марок сталей враховується лише відношення діаметрів труби до та після деформації у прокатному стані, тобто обтиск по діаметру. Цей метод надано для умов прокатки вуглецевих труб, коли в робочому конусі виконують перед прокаткою на оправці достатньо глибоке редукування. А при холодній прокатці труб зі сплавів на основі титану редукування роблять мінімально можливим для забезпечення якості внутрішньої поверхні труб, а деформацію здійснюють в основному на оправці.

Таким чином, існуючі методи прогнозування розроблено для умов прокатки на одному стані і з великою зоною редукування. Це призводить до одержання труб з високою поперечною різностінністю та застосуванням додаткових операцій по її усуненню.

Важливо мати розвинений метод прогнозування зміни поперечної різностінності при багатопрхідній прокатці, яка відбувається більшою мірою на оправці. Це потрібно для проектування технологій холодної прокатки труб, які забезпечують одержання прогнозованої поперечної різностінності труб при мінімальних втратах металу та енергоресурсів.

Отже, робота спрямована на розвиток наукових основ методу прогнозування остаточної поперечної різностінності труб зі сплавів на основі титану при

багатопрхідній холодній прокатці для одержання труб необхідної точності, є актуальною.

Зв'язок з науковими програмами, планами, темами. Виконання дисертаційної роботи пов'язано з науково-дослідними роботами кафедри обробки металів тиском Національної металургійної академії України (НМетАУ). Дослідження виконані в рамках програми і відповідної тематики державної бюджетної науково-дослідної роботи кафедри обробки металів тиском НМетАУ: ДР № 0112U000641. Автор був виконавцем цієї роботи.

Мета і задача дослідження. Метою дисертаційної роботи є наукове обґрунтування і створення розвинутого методу прогнозування остаточної поперечної різностінності труб зі сплавів на основі титану для умов багатопрхідної холодної прокатки, що забезпечує необхідну точність труб.

Для досягнення поставленої мети визначені такі задачі:

- 1) проаналізувати поточний стан досліджень механізму зменшення поперечної різностінності труб для умов холодної прокатки;
- 2) провести аналітичні дослідження механізму зменшення поперечної ексцентричної різностінності при холодній прокатці на оправці для виявлення особливостей деформування на оправці;
- 3) провести розрахунковий аналіз по дослідженню формування поперечної різнотовщинності зразків та виконати аналогічні лабораторні експериментальні дослідження в умовах аналогічних до деформацій на станах ХПТ, ХПТР і підтвердити правильності прийнятих допущень та аналітичних досліджень;
- 4) одержати експериментальні промислові дані на станах ХПТ та ХПТР щодо зміни поперечної різностінності по довжині робочого конуса при прокатці труб зі сплавів на основі титану з великою початковою різностінністю;
- 5) розвинути метод прогнозування остаточної поперечної різностінності труб зі сплавів на основі титану для умов багатопрхідної холодної прокатки на станах ХПТ та ХПТР;
- б) впровадити результати досліджень у промисловості і в навчальний процес.

Об'єкт дослідження. Процес холодної прокатки труб зі сплавів на основі титану на станах ХПТ та ХПТР.

Предмет дослідження. Закономірності зміни ексцентричної абсолютної різностінності при прокатці на оправці на станах холодної прокатки труб зі сплавів на основі титану.

Методи дослідження. Теоретичний аналіз базується на використанні наукових положень обробки металів тиском. Експериментальні дослідження проводилися у

лабораторних умовах та на виробництві із застосуванням сучасних методик та обладнання.

Наукова новизна. Наукову новизну мають наведені нижче результати теоретичних і експериментальних досліджень, що одержані в дисертації.

1. Розвинуто відомості про закономірності зменшення початкової ексцентричної поперечної різностінності труб зі сплавів на основі титану при деформуванні на оправці в зоні обтиснення стінки для умов холодної прокатки.

Відмінність полягає в урахуванні для холодного деформування на оправці труб з великою початковою поперечною ексцентричною різностінністю інтенсивності зміцнення металу в процесі деформації протилежних тонкої та товстої стінки, що приводить до більшого обтиску товстої стінки, ніж тонкої і, як наслідок, зменшення поперечної різностінності труб.

Це покладено в основу розробки методу прогнозування остаточної поперечної різностінності готових труб зі сплавів на основі титану для забезпечення регламентованої точності при виробництві із застосуванням холодної прокатки на станах ХПТ та ХПТР.

2 Вперше із застосуванням розрахункового аналізу одержано залежність остаточної ексцентричної поперечної різностінності труб зі сплавів на основі титану від сумарної деформації та інтенсивності наклепу для умов обтиснення стінки на оправці при холодній прокатці труб.

Такі дані були одержані вперше.

Це дозволило одержати розрахунковий аналітичний апарат для визначення остаточної поперечної різностінності готових труб зі сплавів на основі титану в залежності від сумарної деформації та від інтенсивності зміцнення металу при виробництві труб із застосуванням холодної прокатки.

3 Вперше одержані експериментальні закономірності відносно інтенсивності зміни поперечної різностінності труб при холодній прокатці на станах ХПТ та ХПТР по довжині зони обтиснення стінки при деформуванні труб зі сплавів на основі титану.

Такі дані були одержані вперше.

Дані підтвердили розроблені теоретичні положення та результати розрахункового аналізу.

4 Розвинуто метод прогнозування остаточної поперечної різностінності при холодній багатопрохідній прокатці труб зі сплавів на основі титану для умов деформації на станах холодної прокатки труб.

Відмінність полягає у тому, що у розрахунках враховується залежність, яка описує закономірність зменшення різностінності в залежності від інтенсивності зміцнення сплаву на основі титану та обтиснення по стінці. Закономірності одержані

із застосуванням розрахункового аналізу при конкретних параметрах холодної деформації при кожному проході на станах ХПТ та ХПТР у багатопрхідному маршруті виробництва.

Комплексний підхід до вирішення задачі дозволив розвинути метод прогнозування остаточної поперечної різностінності труб для багатопрхідної прокатки з урахуванням параметрів деформації. Це дозволяє проектувати остаточно поперечну різностінність в технології виробництва труб зі сплавів на основі титану та мінімізувати витрати металу, енерговитрати та трудомісткість.

Практичне значення одержаних результатів. Виконані дослідження дозволяють:

- розраховувати, за допомогою розвинутого методу, остаточно поперечну різностінність труб при багатопрхідній технології прокатки на станах ХПТ, ХПТР для прокатки конкретних сплавів на основі титану та режимів деформування;
- розробляти та корегувати маршрути прокатки із застосуванням станів ХПТ та ХПТР для забезпечення регламентованої поперечної різностінності труб;
- застосовувати результати роботи в навчальному процесі.

Особистий внесок здобувача. Всі результати досліджень, представлені в дисертаційній роботі, базуються на результатах теоретичної та експериментальної роботи, проведеної особисто автором. У дисертаційній роботі не використані ідеї співавторів.

Особистий внесок здобувача відображений у публікаціях в спеціалізованих фахових збірниках, які відповідають переліку ДАК України, і полягає в тому, що здобувач: [1] – одержав залежності по зміні різностінності під час прокатки на промисловому стані ХПТР; [2] – розробив аналітичний опис механізму зменшення ексцентричної різностінності при холодній прокатці на оправці; [3] – розвинув пояснення механізму зменшення ексцентричної різностінності труб для умов холодної прокатки на оправці; [4] – проаналізував залежності, одержані з розрахункового аналізу стосовно зменшення різностінності при деформуванні зразків зі сплаву на основі титану; [5] – виконав порівняльний аналіз режимів деформування при холодній прокатці труб зі сплаву на основі титану та сталей; [6] – розвинув метод прогнозування зміни різностінності при холодній прокатці на оправці, [7] – розвинув метод прогнозування різностінності при багатопрхідній холодній прокатці труб зі сплавів на основі титану, [8] – одержав залежності зміни різностінності на оправці та проаналізував механізм зміни різностінності на станах ХПТР, [9] – одержав додаткові відомості про механізм та кількісні параметри зміни поперечної різностінності при прокатці на оправці.

Апробація результатів дисертації. Матеріали дисертаційної роботи були представлені і обговорювалися на: XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC

CONFERENCE Ченстохова, (Польща, м. Ченстохова, 2013 р.); X Международная конференция «Стратегия качества в промышленности и образовании», 6-13 июня 2014г., Варна, Болгария; Придніпровському науковому семінарі "Обробка металів тиском" (м. Дніпропетровськ, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016 р.р.)

Публікації. Матеріали дисертаційної роботи відображено у дев'яти публікаціях, з яких: 6 статей опубліковано у спеціалізованих виданнях згідно переліку ДАК України, в тому числі, одну статтю видано у виданні, що включено до міжнародних науко-метричних баз; 1 стаття в додаткових виданнях; дві тези доповідей.

Структура дисертації. Дисертація складається із вступу, 5 розділів, висновків по роботі і списку використаних джерел 74 найменувань і 5 додатків. Матеріали роботи викладені на 138 сторінках тексту, містить 50 рисунків і 20 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі наведена характеристика виконаної роботи, обґрунтована актуальність вибраної теми, визначена мета і задачі дослідження, представлена наукова новизна та практичне значення одержаних результатів, описано особистий внесок здобувача та приведені назви конференцій, де була здійснена апробація результатів дисертації.

АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ ПО ПРОГНОЗУВАННЮ ОСТАТОЧНОЇ ПОПЕРЕЧНОЇ РІЗНОСТІННОСТІ ТРУБ ЗІ СПЛАВІВ НА ОСНОВІ ТИТАНУ ПРИ ХОЛОДНІЙ ПРОКАТЦІ НА СТАНАХ ХПТ ТА ХПТР

Заготовка, яка використовується на виробництві, є в основному, гарячекатаною трубою виробленою за AMS 4935 та ГОСТ 21945.

Більша частина заготовок, які надходять на підприємство, виготовляється на прошивних станах поперечно-гвинтової прокатки. Особливістю заготовок, що одержують з установок поперечно-гвинтової прокатки, є велика ексцентрична різностінність. Вона негативно впливає на точність готових труб, і для її зменшення здебільшого використовують операції обточки та розточки, які виконують на величину одного міліметра, як з внутрішньої, так і з зовнішньої поверхні. За рахунок цієї операції витратний коефіцієнт металу збільшується за одну операцію обточки та розточки. Але ця операція недостатньо впливає на зниження поперечної ексцентричної різностінності і лише за рахунок технології багатопрохідних прокаток на станах ХПТ та ХПТР одержують труби з необхідною поперечною різностінністю.

Одержання готових труб за такою технологією із заготовок з великою поперечною різностінністю є ресурсо-витратним з боку витрат металу та з боку витрат на переробку.

З аналізу робіт по механізму зміни поперечної ексцентричної різностінності відомо, що деякі науковці розробляли методи прогнозування зміни різностінності при

холодній прокатці труб. Один з таких методів, був запропонований Хаустовим Г.Й. та описується формулою:

$$R_{\Sigma} = R_0 \left(0,1 + 0,9 \frac{d}{d_0} \right) + R_n, \quad (1)$$

де R_0 та R_n – відповідно сумарна вхідна і наведена різностінність у відсотках; d_0 та d – початкове та фінальне значення діаметра у міліметрах.

До недоліків даного методу належить те, що він не враховує деформацію по товщині стінки, матеріал труби та інші важливі фактори. Тобто використання даного методу пов'язано з одержанням результату з великою похибкою. Вплив цих факторів враховується лише на інтуїтивному рівні технолога, який розраховує новий маршрут, та може значно відрізнятись від реального процесу.

Слід відмітити роботи Данченко В.М. та Чуса А.В, Кущинського Г.М., Скоромного С.А. та інших, що стосуються механізму зміни різностінності при гарячій прокатці труб на оправці. Механізми протікання процесу холодної та гарячої прокатки значно відрізняються, тому неможливо використовувати результати цих робіт для прогнозування зміни різностінності при холодній багатопрохідній прокатці труб на оправці зі сплавів на основі титану.

В своїх докторських дисертаціях Хаустов Г.Й. та Григоренко В,У. показують, як інтенсивність зміцнення металу впливає на зміну поперечної різностінності в зонах редукування при холодній прокатці труб. При цьому, дослідженню зони обтиснення стінки не було приділено достатньо уваги. Це важливо, оскільки сплави на основі титану деформують майже повністю на оправці.

Враховуючи вищенаведене, потрібно розвинути наукові основи процесу зміни різностінності які дозволять розробити метод прогнозування зміни поперечної різностінності при багатопрохідній холодній прокатці труб.

МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІНИ РІЗНОТОВЩИНОСТІ

Для розрахункового аналізу процесу деформації зразків близьких до розмірів труби на оправці та проведення експерименту в лабораторних умовах розроблено метод, який базується на процесі осадки двох зразків різної товщини між трьома, плитами, при якому верхня та нижня плита моделює валки, а середня оправку в зоні деформації по товщині стінки.

За основу планування геометрії осередку деформації та відповідно вибору зразків для експерименту взято процес холодної прокатки труби за маршрутом 63x8,5 мм → 38x4,5 мм. У перших перерізах зони обтиску стінки робочого конусу різниця між максимальною та мінімальною стінкою становить 1,0–1,5 мм, довжина миттєвого осередку деформації 5–15 мм, а ширина зони, яка знаходиться у вершинах

калібру і контактує одночасно з оправкою і валками складає близько 40 міліметрів (рис. 1). Відповідно до цих даних, для розрахункового аналізу та лабораторного експерименту прийняті зразки з розмірами 10x8,5x40 міліметрів та 10x7x40 міліметрів, які відповідають розмірам порції металу в миттєвому осередку деформації на перших перерізах зони обтиснення стінки для стану ХПТ.

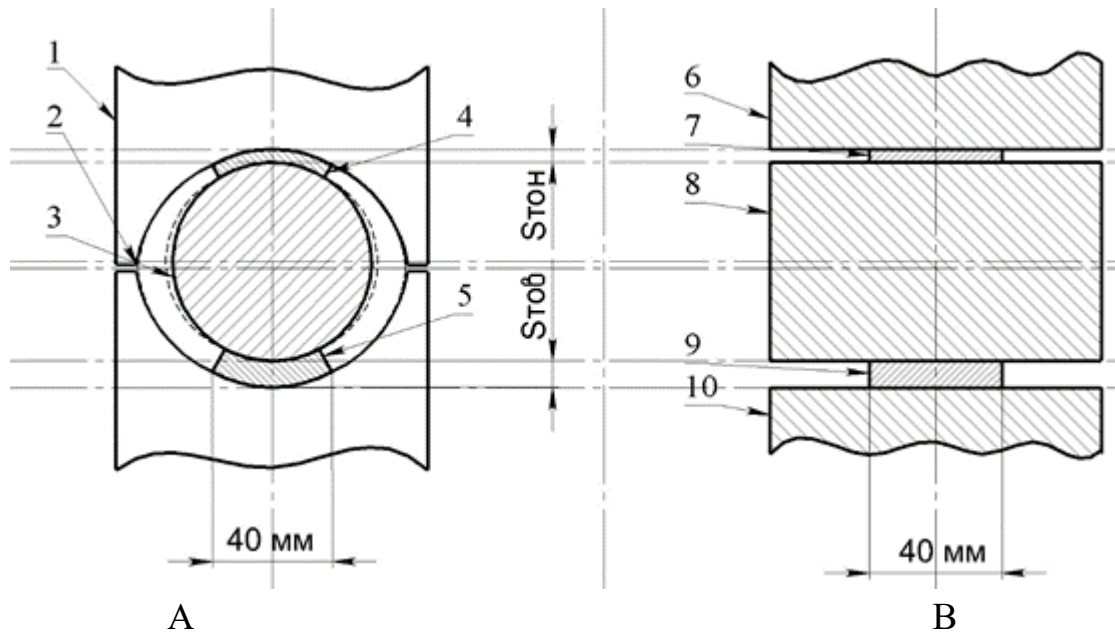


Рис.1 – Схема для вибору зразків:

де: А – поперечний переріз труби на оправці з виділеною зоною контакту металу труби та інструмента; В – зразки з розмірами для проведення експериментів та моделювань; $S_{тон}$ – тонка стінка; $S_{тов}$ – товста стінка; 1 – верхній калібр; 2 – контури труби; 3 – оправка; 4 – тонка частина труби (сегмент); 5 – товста частина труби (сегмент); 6 – верхня плита; 7 – тонкий плоский зразок; 8 – плита-оправка; 9 – товстий зразок; 10 – нижня плита.

Для виконання розрахункового аналізу була використана комп'ютерна модель деформації зразків між трьома плитами, для якої була застосована програма скінченно-елементного моделювання.

Було задано такі умови: реологічні параметри усіх матеріалів, що застосували у моделюваннях; коефіцієнт тертя, який задавався, згідно з умовами холодної прокатки труб; швидкість руху деформуючого інструмента була прийнята та задана до програми моделювання згідно з технічними характеристиками прес-установки, на якій проводилися лабораторні експерименти по деформації зразків між трьома плитами; розміри зразків, що використали в моделюваннях, були ідентичними з розмірами зразків, які були використані при лабораторних експериментах; розміри деформуючого інструмента також задавалися ідентично з розмірами інструмента, використаного при експерименті.

Лабораторний експеримент, що було проведено для апробації результатів розрахункового аналізу, виконали у повній відповідності до параметрів розрахункового аналізу. Точність розмірів зразків при виготовленні контролювалась за допомогою повіреного мікрометра.

При лабораторному експерименті в якості деформуючого інструменту було використано плити з розмірами 100x150x25 міліметра. Деформуючі поверхні кожної плити піддавали шліфовці до шорсткості по аналогії з деформуючим інструментом стана ХПТ ($\sqrt{Rz40}$) та виготовили з аналогічної марки сталі.

В промислових дослідженнях, для одержання характеристик зміни поперечної різностінності уздовж робочого конуса, відібрали конуси з титанового сплаву зі стана ХПТ-75 при прокатці труб за маршрутом 63x8,5 мм - > 38x4,5 мм. При цьому експеримент був проведений із застосуванням заготовок з великою початковою поперечною різностінністю. Робочий конус було розрізано на кільця через 15 мм довжини, і кожне одержане кільце виміряли у 8 точках рівномірно розподілених по його периметру.

На стані ХПТ подача виконувалась у передньому положенню кліті, а поворот у задньому.

Параметри прокатки становили: коефіцієнт витяжки $\mu=3,07$; абсолютна деформація по діаметру $\Delta D=25$ мм; абсолютна деформація по товщині стінки $\Delta S=4$ мм; відносна деформація по діаметру $\varepsilon_D=39,7\%$; відносна деформація по товщині стінки $\varepsilon_S=47,1\%$; подача $m=3$ мм; сумарна деформація по площі поперечного перерізу $\varepsilon_\Sigma=67,5\%$.

Для одержання кількісної картини зміни ексцентричної різностінності по довжині робочого конуса при прокатці труб зі сплаву на основі титану за маршрутом 28x3,2 мм → 25,4x2,65 мм на стані ХПТР 15-30 провели зупинку кліті та вийняли робочий конус зі стану.

Деформаційні параметри прокатки становили: коефіцієнт витяжки $\mu=1,32$, абсолютна деформація по діаметру $\Delta D=2,6$ мм, абсолютна деформація по товщині стінки $\Delta S=0,55$ мм, відносна деформація по діаметру $\varepsilon_D=9,3\%$, відносна деформація по товщині стінки $\varepsilon_S=17,2\%$, подача $m=2,1$ мм. Сумарна деформація по площі поперечного перерізу $\varepsilon_\Sigma=24\%$.

На стані ХПТР подача та поворот проводилися у крайніх положеннях кліті. Під час прокатки були відібрані конуси. Кожний конус було порізано на 27 рівних частин вздовж конусу, розміри кілець заміряно повіреним трубним мікрометром у 8-ти точках поперечного перерізу по периметру.

Одержані в результаті експериментів дані були оброблені та систематизовані. На основі цих даних були побудовані графіки зміни різностінності уздовж конуса

деформації в залежності від відносної деформації та виведені формули, які описують графіки.

Для формул, які описують характер і величину зміни різностінності за графіками, вибрано експонентний вигляд. Такий вибір формул, для опису кривих, обумовлений високим значенням коефіцієнта детермінації R^2 серед усіх інших варіантів.

РОЗВИТОК НАУКОВИХ ОСНОВ ВІДНОСНО ЗМІНИ ПОПЕРЕЧНОЇ РІЗНОСТІННОСТІ ТРУБ ПРИ ПРОКАТЦІ В КАЛІБРАХ НА ОПРАВЦІ ДЛЯ УМОВ ПРОКАТКИ НА СТАНАХ ХОЛОДНОЇ ПРОКАТКИ

Розглянемо механізм зміни ексцентричної різностінності у миттєвому осередку деформації з наступними прийнятими припущеннями:

1) Деформується труба, що має ексцентричну різностінність.

Різностінність труб складається з ексцентричної та симетричної складової. Заготовки мають значно більшу ексцентричну складову, ніж симетричну. Для ексцентричної різностінності стінка з максимальним значенням товщини знаходиться навпроти стінки з мінімальним значенням товщини.

2) Беремо прокатку в системі 2-х калібрів.

3) Розглядаємо деформацію товстої та тонкої протилежних стінок.

Ексцентрична різностінність характерна розташуванням товстої стінки навпроти тонкої через особливості процесу виробництва. Зменшення ексцентричної різностінності може також відбуватися, коли товста і тонка стінка знаходиться в положеннях близьких до вершини калібру, оскільки калібр в цих зонах на дві третини складається з замкнутого концентричного перерізу, де є контакт металу між валком та оправкою.

4) Не беремо до уваги течію металу у випусках і замінюємо вигнуту форму поперечного перерізу на прямокутну у тривимірному просторі.

Деформація у випусках має складний характер і не є основною при холодній прокатці труб. Тому до уваги взято тільки деформацію по вершині калібру.

Проаналізуємо процес прокатки у початковий момент, при захваті труби валками (калібрами) на оправці. Зробимо припущення, що ми будемо мати рівність абсолютних обтисків як товстої, так і тонкої стінки. Це приведе до такого положення, що при рівних обтисках та різних товщинах стінки відносна деформація буде більшою на тонкій стінці.

При цьому, тонка стінка буде піддаватися більшій відносній деформації, і наклеп металу у тонкій стінці буде більшим. Тоді сила прокатки на тонкій стінці також буде більшою, ніж на товстій стінці. Але це неможливо, сили повинні бути рівними (за законом рівноваги сил). Тому сили прокатки, що діють з боку верхнього та нижнього валка, мають бути урівноважені.

Для забезпечення рівноваги сил система труба-оправка повинна переміститися. Це можливо, коли система труба-оправка переміститься відносно валків у бік товстої стінки.

При цьому виникає збільшення обтиску на товстій стінці та зменшення обтиску на тонкій стінці, що дає різні довжини горизонтальних проекцій дуг контакту та урівноважує сили з боку валків. За такими умовами ми одержуємо зменшення поперечної різностінності, що відповідає реальному процесу прокатки труб на станах. На основі цього, розроблено аналітичний опис механізму зменшення різностінності.

Для розуміння процесу зміни ексцентричної різностінності та прогнозування остаточної поперечної різностінності при холодній прокатці на оправці необхідні якісні і чисельні дані протікання процесу. Для цього був проведений розрахунковий аналіз із застосуванням програми скінченно-елементного моделювання «Forge3D®» (рис. 2.) та експериментальний лабораторний експеримент для одержання даних, які доводять адекватність використаної моделі.

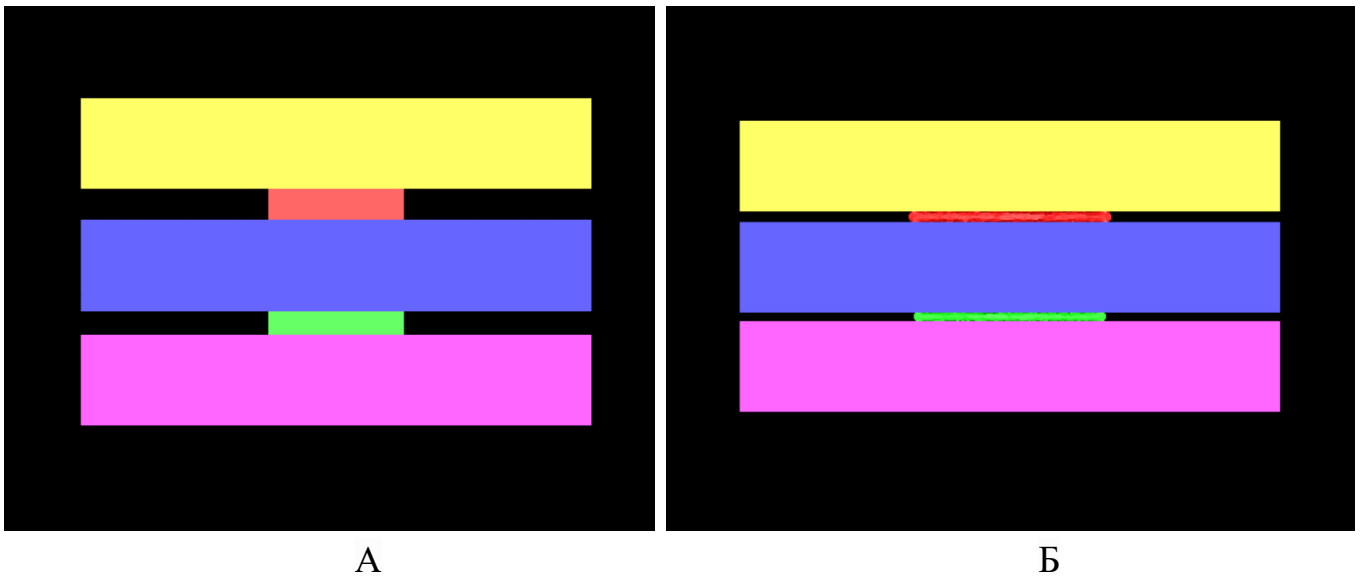


Рис. 2 – Різниця різнотовщинності зразків між трьома плитами при розрахунковому аналізі в програмі скінченно-елементного моделювання: А - початкова стадія моделювання. Б - фінальна стадія моделювання

Розрахунковий аналіз та експериментальні дослідження були проведені для одного з найпоширеніших сплавів на основі титану – ПТ-1М, який використовується у сучасному виробництві. Розрахунковий аналіз та деформацію зразків виконали згідно з приведеної у другому розділі дисертації методикою. На основі одержаних даних про зменшення різностінності під час моделювання та експериментальних даних побудовано графіки залежності зменшення різностінності від значення відносної деформації, яку отримують зразки (рис. 3.).

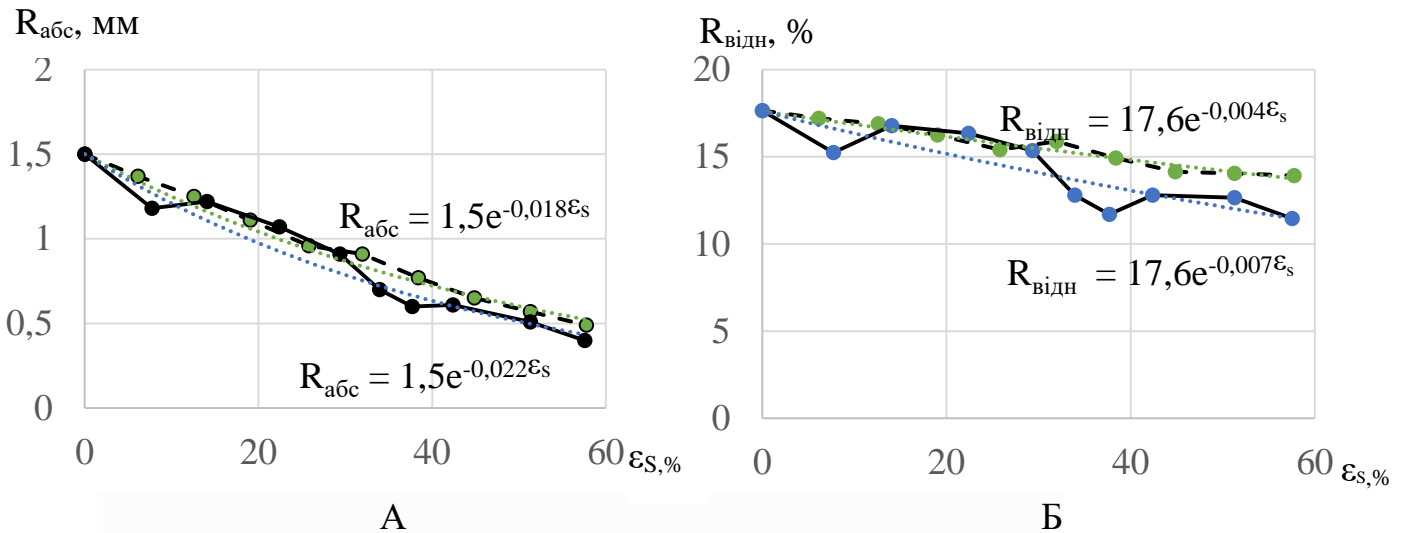


Рис. 3 – Порівняння результатів розрахункового аналізу, виконаного за допомогою програми скінченно-елементного моделювання та лабораторного експерименту при осадці різновтовщинних зразків зі сплаву ПТ-1М: А – графіки абсолютної різностінності, Б – графіки відносної різностінності, R_{abc} – абсолютна різностінність зразків, $R_{відн}$ – відносна різностінність зразків, ϵ_s – відносна деформація по товщині стінки, ΔS – абсолютна різновтовщинність зразків, $-\bullet-$ – результати моделювання, $-\bullet-$ – результати експерименту, \cdots – лінія тренда

На основі формули, яка описує апроксимаційні криву графіків (рис. 3.), одержано вирази, за допомогою яких можливо прогнозувати поперечну абсолютну (2) та відносну (3) різностінності в зоні обтиску стінки для одного проходу:

$$\Delta R_{abc.пр} = \Delta R_{abc.поч} e^{-\alpha \epsilon_s}, \quad (2)$$

$$\Delta R_{відн.пр} = \Delta R_{відн.поч} e^{-\beta \epsilon_s}, \quad (3)$$

де $\Delta S_{abc.поч}$ – початкова абсолютна різностінність заготовки; $\Delta R_{відн.поч}$ – початкова відносна різностінність заготовки; α – коефіцієнт інтенсивності зміни абсолютної поперечної різностінності; β – коефіцієнт інтенсивності зміни абсолютної поперечної різностінності; ϵ_s – сумарна відносна деформація по стінці труби.

Значення на графіках, що описують результати розрахункового аналізу та лабораторного експерименту для апробації близькі. Таким чином, прийняті припущення є такими, що істотно не впливають на результати дослідження і можна вважати, що застосована комп'ютерна модель є адекватною.

Також був виконаний розрахунковий аналіз за допомогою програми скінченно-елементного моделювання по зміні різностінності в залежності від деформації для

зразків з початковою різностінністю у 20%, 15%, 10% та 5% (рис. 4) зі сплаву на основі титану.

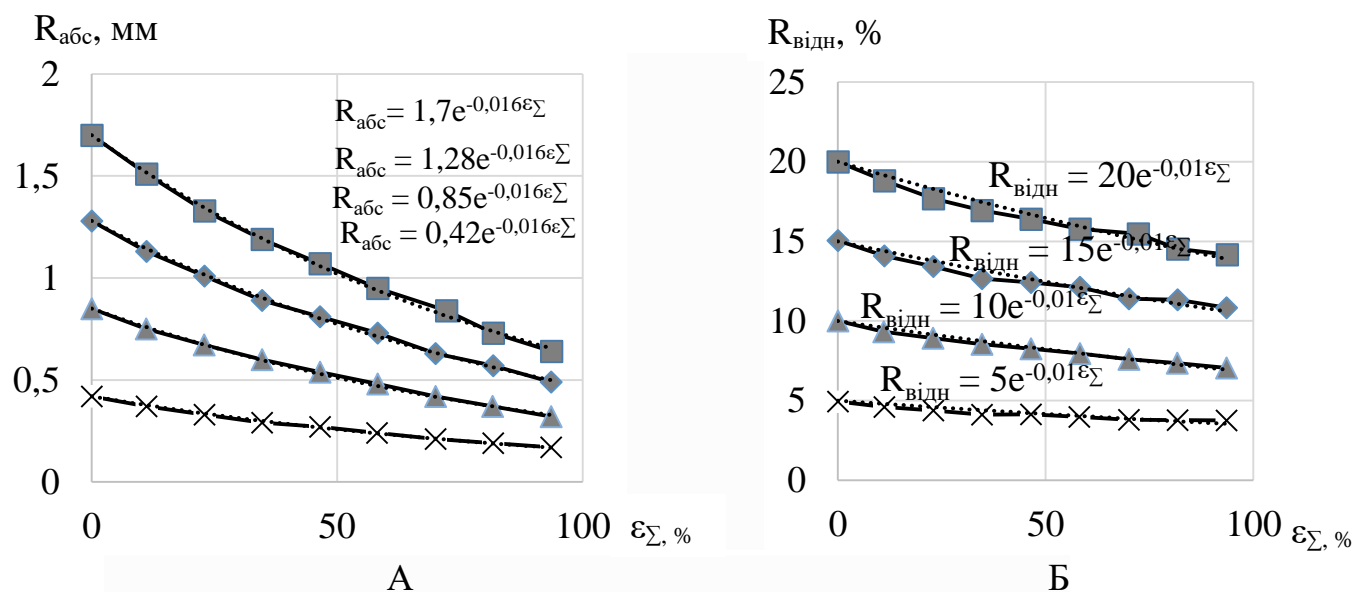


Рис. 4 – Результати розрахункового аналізу, виконаного за допомогою програми скінченно-елементного моделювання по зменшенню різнотовщинності для зразків з початковою різнотовщинністю у 20%, 15% 10%, та 5%: А – графіки абсолютної різностінності, Б – графіки відносної різностінності, ϵ_{Σ} – відносна деформація по висоті зразків, $R_{абс}$ – абсолютна різностінність зразків, $R_{відн}$ – відносна різностінність зразків, ■ – для різностінності у 20%; ◆ – для різностінності у 15%; ▲ – для різностінності у 10%; x – для різностінності у 5%; – лінія тренду

У чотирьох формулах, що описують апроксимаційну криву для значень (20%, 15%, 10%, 5%) початкової поперечної абсолютної різностінності (рис. 4), значення коефіцієнта інтенсивності зменшення різностінності однакове ($\alpha=0,016$), для відносної різностінності значення коефіцієнта теж однакове ($\beta=0,01$). Це показує, що інтенсивність зменшення різностінності однакова та не залежить від рівня початкової різностінності. Але чим більшою є початкова величина абсолютної різностінності, тим більше значення зменшення абсолютної різностінності. Це дає змогу застосовуючи коефіцієнти інтенсивності зміни різностінності розраховувати остаточні показання різностінності труб.

В діапазоні 0–90% зменшення відносної різностінності для труб-заготовок з початковою різностінністю 20% становить 6%, для труб-заготовок з початковою різностінністю у 15% становить 4%, а для труб-заготовок з початковою різностінністю у 5% становить лише 2%. В діапазоні деформацій 0–55% відповідно – 5,5%, 3,5% та 1,5%. В діапазоні деформацій 0–35% відповідно – 3%, 2% та 1,7%.

Для прогнозування значення ексцентричної різностінності при багатопрохідній прокатці труб прогнозованої точності, потрібно мати метод розрахунку, який інтегровано до загального комплексу розрахунку режимів деформації. Такий метод розрахунку дозволить інженеру на етапі розробки маршруту аналізувати різностінність заготовки та приймати рішення про застосування заготовки з певною різностінністю для виробництва труб.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ПРОМИСЛОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІНИ ЕКСЦЕНТРИЧНОЇ ПОПЕРЕЧНОЇ РІЗНОСТІННОСТІ ПРИ ДЕФОРМУВАННІ ТРУБИ НА ОПРАВЦІ

Проведено промисловий експеримент на стані ХПТ-75 в умовах заводу по виробництву труб зі сплавів на основі титану (методика представлена у розділі 2). За результатами одержаних даних побудовано графіки залежності абсолютної та відносної різностінності по довжині робочого конуса для зони обтиснення стінки, тобто від відносної деформації, яку одержує стінка труби (рис. 5) та графіки з результатами одержаними під час розрахункового аналізу з аналогічними деформаціями.

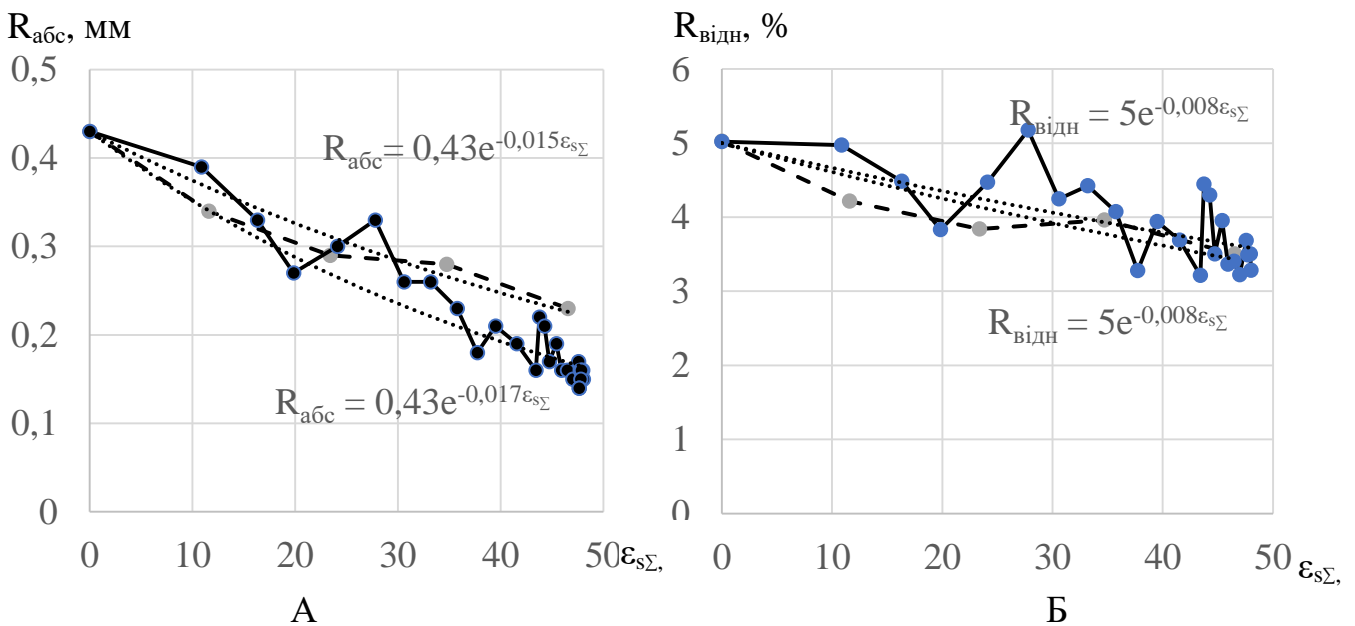


Рис. 5 – Співставлення значень поперечної різностінності уздовж робочого конуса для зони обтиснення стінки при прокатці труби зі сплаву на основі титану на стані ХПТ-75 за маршрутом 63x8.5→38x4.5 мм в зоні обтиснення стінки та розрахункового аналізу, виконаного за допомогою програми скінченно-елементного моделювання: А – значення абсолютної різностінності, Б – значення відносної різностінності, —●— дані промислового експерименту, -●- дані розрахункового аналізу, – лінії тренда, ϵ_s – відносна деформація по стінці труби та зразків, R_{abc} – абсолютна різностінність труби та зразків, $R_{відн}$ – відносна різностінність труби та зразків

Для співставлення результатів розрахункового аналізу із застосуванням програми кінцево-елементного моделювання та проведених промислових експериментів по зменшенню поперечної різностінності порівнюємо коефіцієнти інтенсивності зменшення абсолютної поперечної різностінності « α » та відносної поперечної різностінності « β » для умов прокатки труби зі сплаву на основі титану на стані ХПТ та при розрахунковому аналізі в програмі кінцево-елементного моделювання для рівних величин початкової різностінності. (таблиця 1).

Таблиця 1

Порівняння коефіцієнтів інтенсивності зменшення поперечної різностінності одержаних при розрахунковому аналізі та промислового експерименті

| | α | | β | |
|----------|--|-----------------------------|--|-----------------------------|
| | Для абсолютних величин поперечної різностінності | | Для відносних величин поперечної різностінності | |
| Процес | Розрахунковий аналіз для умов прокатки на стані ХПТ-75 | Експеримент на стані ХПТ-75 | Розрахунковий аналіз для умов прокатки на стані ХПТ-75 | Експеримент на стані ХПТ-75 |
| Значення | 0,015 | 0,017 | 0,008 | 0,008 |

Коефіцієнти « α » та « β » для випадку прокатки труб зі сплавів на основі титану близький до коефіцієнтів « α » та « β », одержаних при розрахунковому аналізі в програмі скінченно-елементного моделювання. Це дозволяє додатково стверджувати, що результати розрахункового аналізу в програмі скінченно-елементного моделювання адекватні, а також підтверджує правильність вибору граничних умов та допущень при розрахунковому аналізі в програмі скінченно-елементного моделювання. Розбіжності пояснюються спрощенням моделі та незначно впливають на результат.

Для оцінки одержаної залежності із прогнозування зниження абсолютної поперечної різностінності проведено порівняльний аналіз результатів по зменшенню поперечної різностінності труб, одержаних при багатопрхідній прокатці за заводським маршрутом та даних, одержаних з розрахункового аналізу в програмі скінченно-елементного моделювання (таблиця 2).

Маршрут прокатки:

- 1) 63x8,5мм → 38x4,5мм прокатка на стані ХПТ-75
- 2) 38x4,5мм → 25,4x2,25мм прокатка на стані ХПТ-55
- 3) 25,4x2,25мм → 19,8x1,65мм прокатка на стані ХПТР-32

Порівняння зменшення абсолютної різностінності при багатопрхідній прокатці на станах ХПТ та розрахункових даних

| Стан | Абсолютна різностінність згідно з замірами, мм | Розрахована абсолютна різностінність, мм |
|--------------------------|--|--|
| Початкова різностінність | 0,55 | 0,55 |
| ХПТ-75(90) | 0,2 | 0,22 |
| ХПТ-55 | 0,08 | 0,09 |
| ХПТ-32 | 0,05 | 0,05 |

З порівнянням даних експериментальних та розрахункових даних по остаточній поперечній різностінності для кожного зі станів видно, що застосована залежність дає результати, адекватні промисловим даним.

РОЗВИТОК МЕТОДУ ПРОГНОЗУВАННЯ ЗМЕНШЕННЯ ПОПЕРЕЧНОЇ РІЗНОСТІННОСТІ ТРУБ ПРИ БАГАТОПРОХІДНІЙ ХОЛОДНІЙ ПРОКАТЦІ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ ПО ВПРОВАДЖЕННЮ РЕЗУЛЬТАТІВ РОБОТИ

Розроблена формула для розрахунку прогнозування зміни абсолютної ($R_{абс.n}$) та відносної різностінності ($R_{відн.n}$) при багатопрхідній прокатці від заготовки до готової труби при n проходах має наступний вигляд:

$$R_{абс.n} = R_{абс.поч.} \cdot e^{(-\alpha_1 \varepsilon_{\Sigma 1} \dots + (-\alpha_n \varepsilon_{\Sigma n}))} + R_{абс.сим.n.}, \quad (4)$$

$$R_{відн.n} = R_{відн.поч.} \cdot e^{(-\beta_1 \varepsilon_{\Sigma 1} \dots + (-\beta_n \varepsilon_{\Sigma n}))} + R_{відн.сим.n.}, \quad (5)$$

де $R_{абс.}$ – початкова абсолютна різностінність заготовки; $R_{відн.}$ – початкова відносна різностінність заготовки; $e^{-\alpha \varepsilon_{\Sigma n}}$ та $e^{-\beta \varepsilon_{\Sigma n}}$ – зменшення різностінності при n -ній прокатці; $R_{сим.n}$ – наведена різностінність, яка виникає в стані у n прокатці.

На базі одержаних результатів роботи розроблено програмний продукт «ХПТ, ХПТР – прогноз різностінності».

Застосування програмного продукту «ХПТ, ХПТР – прогноз різностінності», дозволяє на базі даних по деформаційним параметрам на кожному стані та при застосуванні математичного виразу прогнозування поперечної різностінності розрахувати остаточне значення поперечної різностінності труб на кожному стані і порівняти його з регламентованими значеннями. Що, в свою чергу, дозволяє оцінювати спроектовані та діючі технології та у разі потреби вносити до них корективи.

Впровадження запропонованого методу дозволяє зменшувати час на налаштування всієї технологічного процесу прокатки на декількох станах та підвищити вихід годної продукції за високими вимогами сучасних стандартів, при необхідності використовувати для прокатки заготовку з більш великою початковою різностінністю та зменшувати кількість проходів (циклів) у процесі виробництва за рахунок перерозподілу деформацій. Ці впровадження дозволять одержати значну економію у багатьох статтях бюджету виробництва у порівнянні з існуючою технологією.

Таким чином поставлена науково-технічна задача вирішується на стадії розробки режимів прокатки. Розрахунки виконуються за допомогою розробленого програмного продукту «ХПТ, ХПТР - прогноз різностінності».

ВИСНОВКИ

У дисертації наведені теоретичні узагальнення та нове вирішення науково-прикладної задачі, що полягає у розвитку наукових основ методу прогнозування зміни поперечної ексцентричної різностінності при холодній прокатці труб на оправці зі сплавів на основі титану. Задача вирішена із застосуванням розрахункового аналізу на базі кінцево-елементного моделювання та результатів лабораторного та промислового експериментального дослідження зміни поперечної різностінності труб при прокатці в станах холодної прокатки труб. Це дало можливість створити та застосовувати розвинений метод прогнозування поперечної різностінності для проектування технології прокатки труб з регламентованою поперечною різностінністю.

Аналіз літературних даних показав:

1.1 Вимоги сучасних стандартів та норм (ASTM 4946E) з допусками у межах 5% на поперечну різностінність труб зі сплавів на основі титану значно звужились по зрівнянню зі стандартами ASTM 338 та ГОСТ 22897-86, які були найбільш затребуваними останні 30 років та мають поле допуску $\pm 10-15\%$. Це поставило науково-практичну задачу по розвитку методу прогнозування для забезпечення регламентованої поперечної різностінності труб.

1.2 Не існує аналітичного методу прогнозування поперечної різностінності труб для холодної багатопрхідної прокатки труб зі сплавів на основі титану з урахуванням

особливостей прокатки сплавів. В сучасних методиках розрахунку маршрутів прокатки прогнозуванню зміни початкової різностінності труб не приділено належної уваги. Це приводить до неможливості точного прогнозування остаточної поперечної різностінності труб, яку можна одержати наприкінці всіх циклів прокатки. Це також веде до підвищення втрати металу та додаткових витрат на виробництві.

2. Обґрунтовано і розроблено методику дослідження зміни поперечної ексцентричної різностінності для умов прокатки в станах холодної прокатки труб. Вона складається з:

- аналітичного опису механізму зменшення ексцентричної різностінності;
- розрахункового аналізу деформування різнотовщинних зразків між трьома плитами за допомогою програми скінченно-елементного моделювання з параметрами близькими до параметрів деформування поперечного перетинів труби на оправці в стані ХПТ при прокатці труб зі сплавів на основі титану;
- розрахункового аналізу впливу рівня різної початкової різностінності (20%, 15%, 10% та 5%) на остаточно.
- лабораторного експерименту по обтисненню двох зразків різної товщини (різнотовщинність 18%) між трьома плитами з розмірами та параметрами деформування ідентичними розрахунковому аналізу для підтвердження адаптивності розрахункового аналізу;
- прямих експериментальних дослідженнях зміни поперечної різностінності по довжині зони обтиску стінки робочого конуса промислових станів ХПТ-75 (маршрут прокатки 63x8.5 мм→38x4.5 мм), ХПТ-55 (маршрут прокатки 38x4.5 мм→25,4x2,25 мм) та ХПТР 15-30 (маршрут прокатки 28x3,2 мм→25,4x2,65 мм)
- розвитку методу прогнозування остаточної поперечної різностінності при холодній багатопрохідній прокатці труб зі сплавів на основі титану на базі використання результатів виконаних досліджень.

3. На основі літературних та експериментальних даних автора показано, що при холодній прокатці труб зі сплавів на основі титану у разі застосування заготовки отриманої після стану поперечно-гвинтової прокатки поперечна різностінність має виражений ексцентричний характер.

4. Розвинуто наукові основи методу прогнозування остаточної поперечної різностінності труб зі сплавів на основі титану при багатопрохідній холодній прокатці.

4.1 З теоретичного аналізу показано, що під час обтисків товстої і тонкої стінок у вершинах калібрів станів холодної прокатки по причині більшого наклепу тонкої стінки товста стінка підвергається більшому обтиску, що приводить до зменшення поперечної різностінності труб.

4.2 При застосуванні розрахункового аналізу на базі скінченно-елементного моделювання одержали математичний вираз, який описує зміну ексцентричної різностінності коли товста і тонка стінка труби деформується у зонах вершин калібрів станів холодної прокатки. Цей вираз покладено в основу для розрахунку поперечної різностінності після деформування в станах холодної прокатки труб. В математичному виразі присутні коефіцієнти α та β , які характеризують інтенсивність зміни поперечної різностінності. Коефіцієнт α використовується для розрахунку абсолютної різностінності, а коефіцієнт β для відносної різностінності.

4.3 Проведений лабораторний експеримент при ідентичних параметрах деформування з розрахунковим аналізом показав його адекватність (різниця результатів між розрахунковим аналізом та експериментом склала до 7%).

5. Одержані експериментальні промислові дані по проходженню процесу зміни ексцентричної різностінності уздовж зони обтиску стінки робочого конуса деформації на станах холодної прокатки (ХПТ-75 та ХПТР 15-30) зі сплаву на основі титану. Ці дані подібні тим, що були одержані при розрахунковому аналізі та при лабораторному експерименті (різниця результатів між розрахунковим аналізом та експериментом склала 10-15%). З аналізу одержаних даних показано, що висунуті теоретичні положення і результати розрахункового аналізу по зменшенню ексцентричної різностінності достовірні.

6. Розвинуто на базі результатів розрахункового аналізу та експериментальних досліджень метод прогнозування остаточної поперечної різностінності при холодній багатопродній прокатці труб зі сплавів на основі титану.

7. Розроблений на базі результатів роботи програмний продукт «ХПТ, ХПТР прогноз різностінності», що дозволяє визначати значення остаточної поперечної різностінності після кожного проходу на станах ХПТ, ХПТР. Як наслідок, можливо проектувати та корегувати деформаційні параметри при холодній прокатці труб зі сплавів на основі титану і одержувати труби з регламентованою поперечною різностінністю.

8. Результати проведених наукових досліджень, що стосуються прогнозування зміни поперечної різностінності при холодній прокатці на оправці труб зі сплавів на основі титану впроваджені та застосовуються додатково при проектуванні технологій прокатки на станах ХПТ та ХПТР підприємством ТОВ «ВСМПО ТИТАН УКРАЇНА» в існуючій технології розробки маршрутів виробництва труб (акт від 12.04.2015 р.) та використовуються викладачами кафедри теорії, технології і автоматизації металургійних процесів при підготовці та викладанні навчальних курсів лекцій з дисциплін: «Теоретичні дослідження процесів обробки металів тиском»; «Технологічні процеси трубного виробництва» для студентів напряму 6.050401 та спеціальності 7.05040104 «Обробка металів тиском», а також при виконанні

студентами дипломних проектів, випускних робіт бакалаврів і курсових науково-дослідних робіт (довідка від 10.04.2016 р.).

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЇ ВИКЛАДЕНО У ПУБЛІКАЦІЯХ:

1. Міщенко О.В. Дослідження зміни різностінності при прокатці тонкостінних труб на станах ХПТР / О.В. Міщенко, С.В. Пилипенко, В.У. Григоренко // Системні технології. – Дніпропетровськ. НМетАУ, 2010. – 5(70) . – С. 37-46.
2. Міщенко О.В. До пояснення механізму зменшення поперечної різностінності труб при холодній прокатці на оправці / О.В. Міщенко, В.У. Григоренко // Обработка материалов давлением. Сборник научных трудов. – Краматорск. ДГМА, 2011. – №3(28). – С.216-219.
3. Мищенко А.В. Экспериментальное исследование закономерностей снижения поперечной разностенности труб при холодной деформации на оправке / А.В. Мищенко, В.У. Григоренко // Обработка материалов давлением. Сборник научных трудов. – Краматорск. ДГМА, 2013. – №4(37) . – С.172-176.
4. Мищенко А.В. Результаты данных компьютерного моделирования и эксперимента по изменению эксцентричной разнотолщинности при холодной деформации на оправке / А.В.Мищенко, В.У. Григоренко, А. Стефанек // Пластическая деформация металлов: сб. научн. трудов в 2-х томах. Днепропетровск : Акцепт ПП. – 2014. – Т. 2. – С. 295-299.
5. Міщенко О.В. Порівняльний аналіз режимів деформування при холодній прокатці труб зі сплаву титана ВТ1 та сталі 20 і Х18Н9Т / О.В. Міщенко, І.В. Маркевич, Г.Г. Кожухар, В.У. Григоренко // Теорія і практика металургії. – Дніпропетровськ, 2014.
6. Міщенко О.В. Развитие метода прогнозирования изменения поперечной разностенности при многопроходной прокатке труб из сплавов на основе титана на станах холодной прокатки / О.В. Міщенко, В.У. Григоренко // Обработка материалов давлением: Сборник научных трудов. – Краматорск. ДГМА, 2016. – №1(42). – С.199-202.
7. Henryk Duja Development of forecasting method of change of transverse variation in wall thickness in case of cold rolling of pipes made of titanium alloys / Henryk Duja, Vladimir Grigorenko, Oleksii Mishchenko // Metallurgical and Mining Industry. – Dnipro, 2017 – No.1 – P.80-83.
8. Мищенко А.В. Исследования изменения разностенности по длине рабочего конуса на станах холодной прокатки труб роликами / А.В. Мищенко В.У. Григоренко, Х.Дья и др. // XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE. New technologies and achievements in metallurgy, material engineering and production engineering. – 2013. – Volume 1. – 401-404 pp.

9. Пилипенко С.В. До питання холодної прокатки труб з підвищеними вимогами до точності геометричних розмірів / С.В. Пилипенко, О.В. Міщенко // X Международная конференция «Стратегия качества в промышленности и образовании», 6-13 июня 2014г., Варна, Болгария С. 125-129.

АНОТАЦІЯ

Міщенко О.В. Розвиток наукових основ методу прогнозування кінцевої поперечної різностінності труб зі сплавів на основі титану при багатопрохідній холодній прокатці для забезпечення регламентованої точності. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.03.05 – «Процеси та машини обробки тиском». – Національна металургійна академія України, Дніпро, 2018

Розвинуто наукові основи прогнозування зміни ексцентричної поперечної різностінності труб при холодній прокатці на оправці труб зі сплавів на основі титану. Одержано експериментальні відомості про закономірності зменшення початкової поперечної ексцентричної різностінності труб. Вперше на основі розрахункового аналізу та промислового експерименту одержані дані по інтенсивності зменшення початкової поперечної ексцентричної різностінності труб із титанового сплаву в залежності від сумарної деформації та інтенсивності наклепу для умов обтиснення стінки на оправці при холодній прокатці труб із застосуванням станів ХПТ та ХПТР. Розвинуто метод прогнозування остаточної поперечної різностінності труб при холодній багатопрохідній прокатці на станах ХПТ та ХПТР для деформування сплавів на основі титану. Результати роботи дозволяють на етапі проектування маршрутів багатопрохідної прокатки прогнозувати рівень різностінності і корегуванням деформаційних параметрів одержувати регламентований рівень різностінності. Результати роботи впроваджені в ТОВ «ВСМПО ТИТАН УКРАЇНА» де застосовуються додатково при проектуванні технологій прокатки виробництва труб зі сплавів на основі титану та на кафедрі теорії, технології і автоматизації металургійних процесів НМетАУ при підготовці та викладанні навчальних курсів лекцій з дисциплін: «Теоретичні дослідження процесів обробки металів тиском»; «Технологічні процеси трубного виробництва», а також при виконанні студентами дипломних проектів, випускних робіт бакалаврів і курсових науково-дослідних робіт.

Ключові слова: холодна прокатка труб, ХПТ, ХПТР, ексцентрична різностінність, конус прокатки, експеримент, деформація.

АННОТАЦИЯ

Мищенко О.В. Развитие научных основ метода прогнозирования конечной поперечной разностенности труб из сплавов на основе титана при

многопроходной холодной прокатке для обеспечения регламентированной точности. - Рукопись.

Диссертация на получение научной степени кандидата технических наук по специальности 05.03.05 – «Процессы и машины обработки давлением». - Национальная металлургическая академия Украины, Днепр 2018

Развиты научные основы прогнозирования изменения эксцентричной поперечной разностенности труб при холодной прокатке на оправке труб из сплавов на основе титана. Получены экспериментальные сведения о закономерностях уменьшения начальной поперечной эксцентричной разностенности труб. Впервые на основе расчетного анализа и промышленного эксперимента получены данные по интенсивности уменьшения начальной поперечной эксцентричной разностенности труб из сплава на основе титана в зависимости от суммарной деформации и интенсивности наклепа для условий обжима стенки на оправке при холодной прокатке труб с применением станов ХПТ и ХПТР. Развита метод прогнозирования конечной поперечной разностенности труб при холодной многопроходной прокатке на станах ХПТ и ХПТР для деформирования сплавов на основе титана. Результаты работы позволяют на этапе проектирования маршрутов многопроходной прокатки прогнозировать уровень разностенности и корректированием деформационных параметров получить регламентированный уровень разностенности. Результаты работы внедрены в ООО «ВСМПО ТИТАН УКРАЇНА», где используются дополнительно при проектировании технологий прокатки труб из сплавов на основе титана и на кафедре теории, технологии и автоматизации металлургических процессов НМетАУ при подготовке и преподавании учебных курсов лекций по дисциплинам: «Теоретические исследования процессов обработки металлов давлением»; «Технологические процессы трубного производства», а также при выполнении студентами дипломных проектов, выпускных работ бакалавров и курсовых научно-исследовательских работ.

Ключевые слова: холодная прокатка труб, стан ХПТ, стан ХПТР, эксцентрическая разностенность, конус прокатки, эксперимент, деформация.

ABSTRACT

Mishchenko O. V. Development of scientific bases of the method for predicting ultimate wall thickness variation of pipes from titanium alloys in multi-pass cold rolling to obtained regulated accuracy. - The manuscript.

Thesis for the candidate degree in engineering sciences on special 05.03.05 – Processes and machines of metal forming. National metallurgical Academy of Ukraine (, Dnipro, 2018

The scientific bases of prediction the change in eccentric traverse wall thickness tubes deviation at the cold rolling tubes on the mandrel of the alloys on the base of titanium was

developed. The experimental data had been obtained on the mechanism of decreasing the initial transverse eccentric wall thickness tubes deviations. For the first time on the base of calculated analysis and industrial experiment the data was obtained as to intensity of decreasing the initial traverse eccentric wall thickness deviation of tubes of the titanium alloy depending on the summary deformation and intensity of hardness for conditions of the wall breaking down on the mandrel at the cold tube rolling using CTR and CTRR mills. The method had been developed for predicting the final transverse wall thickness tube deviation at the cold multi-pass rolling on the CTR and CTRR mills for deforming titanium alloys. Result of the works allow predicting on the stage of designing routes of the multi-pass rolling. Results of the work were given an opportunity for forecasting the level of the wall thickness tubes deviation and by correction of deformation parameters obtaining the regulated level of the wall thickness tube deviation. Results of the work have been implemented by the “VSMPO TITAN UKRAINE” for introduction into existing technology of developing the routes of tube manufacturing of alloys on the base of titanium and in the department of “Theory, Technology and Automation of Metallurgical Processes” NMAU at preparing and teaching the educational courses of pipe and tube production, and in the accomplishment by the students of diploma designs, graduating works of bachelors and scientific research courses works.

The key words: cold tube rolling, CTR mill, CTRR mill, eccentric wall thickness deviation, cone of rolling, experiment, deformation.