

## SECTION 12.

### GENERAL MECHANICS AND MECHANICAL ENGINEERING

---

**Сиротенко Алла Леонідівна** 

Аспірантка

*Український державний університет науки і технологій, Україна*

**Балакін Валерій Федорович** 

д-р.техн.наук, проф.

*Український державний університет науки і технологій, Україна*

**Зінченко Світлана Михайлівна** 

ст. викладач, директор Нікопольського регіонального центру  
моніторингу освіти та соціального партнерства

*Український державний університет науки і технологій, Україна*

---

## **АНАЛІЗ ВИРОБНИЦТВА ХОЛОДНОДЕФОРМОВАНИХ ТРУБ З ПІДВИЩЕНИМИ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ (СПЛАВИ ТИТАНУ ТА НЕРЖАВІЮЧИХ СТАЛЕЙ)**

***Анотація** Проведено аналіз результатів досліджень проблеми виробництва презиційних труб з підвищеними фізико-механічними характеристиками (сплави титану та нержавіючих сталей) пільгерної прокатки на станах ХПТ з використання пластичної деформації. Приведені відомості о властивостях титану, сплавів титану та їх вплив на фізико-механічні характеристики холоднодеформованих труб.*

Відповідно до сучасних вимог трубної промисловості, з метою зниження виробничих витрат за рахунок мінімізації циклічності виробництва холоднодеформованих труб із сплавів титану та нержавіючих сталей, процес холодної пільгерної прокатки труб на станах ХПТ удосконалюється в напрямку збільшення ступені деформації металу з максимальним використанням його пластичності.

Для виробництва холоднодеформованих труб з підвищеними фізико-механічними характеристиками використовують холодну прокатку та волочіння. Також при виробництві холоднодеформованих труб використовують одночасно способи прокатки та волочіння.

Широке розповсюдження процесу холодної (періодичної) прокатки пояснюється рядом переваг, завдяки яким досягається:

- висока точність труб, які прокатуються (допуски на внутрішній та зовнішній діаметр можуть бути витримані у межах 4-9-го класів точності)
- низька поперечна різностінність, яка не перевищує  $\pm (5-10) \%$  від номінального розміру;
- висока чистота зовнішньої та внутрішньої поверхні (в межах 7-11-го класів);

- великі разові обтиски (від 80 до 85 %) за один прохід (витяжки з 2-ої по 7-ю);
- значне зміцнення металу за рахунок великих деформацій;
- можливість прокатки важко деформованих металів внаслідок сприятливої схеми напруженого стану;
- можливість прокатки труб тонкостінних та змінного перерізу за діаметром та товщиною стінки;
- невелика питома втрата металу.

Технологічні схеми холодної прокатки труб залежать від марок сплаву титану та нержавіючих сталей, з яких виготовляють труби, від розміру і призначення. Умовно виділяють три групи процесів холодної прокатки труб.

1. Процеси виготовлення труб за всіма діючими стандартами, які не передбачають особливих вимог до якості поверхні, точності геометричних розмірів, характеризуються малою циклічністю обробки і порівняно низьким витратним коефіцієнтом металу. До труб, виготовлених за цією схемою, відносять товстостінні діаметром більше 20 мм (з гарячедеформованої заготовки-труби), а також тонкостінні труби (з електрозварювальних заготовок-труб).

2. Процеси виробництва холоднодеформованих труб за діючими стандартами та окремими технічними вимогами, які передбачують певні вимоги до якості поверхні і точності геометричних розмірів, характеризуються значною циклічністю обробки (більше двох циклів) і підвищеним витратним коефіцієнтом металу.

3. Найскладніші процеси, які призначені для виробництва труб з підвищеними вимогами до якості і точності геометричних розмірів з різних металів і сплавів, у тому числі і важко деформовані, характеризуються великою циклічністю обробки на агрегатах різних типорозмірів, використанням спеціальних операцій для отримання необхідної якості труб і особливого контролю готової продукції. Для виконання усіх операцій потрібен цілий комплекс обладнання, на якому можливо отримання тонкостінних та особливотонкостінних труб необхідної якості.

Механічні властивості металу готових труб наведено у табл. 1.

Таблиця 1

**Механічні властивості металу готових холоднодеформованих труб зі сплавів титану**

Марка сплаву	Тимчасовий опір розриву, Н/мм <sup>2</sup> , при t°C			Границя текучості, Н/мм <sup>2</sup> , при t°C		Відносне подовження, %
	+ 20°C	+ 150°C	+ 350°C	+ 20°C	+ 150°C	
BT1-0	350 – 580	220	--	250	150	24
ПТ-1М	35 – 580	230	--	220	160	27
ПТ-7М	480 – 680	--	240	380	--	20
ОТ-4	700 – 850	--	--	--	--	10

Одним з головних процесом ОМТ у виробництві холоднодеформованих з підвищеними фізико-механічними характеристиками безшовних труб є спосіб пільгерної прокатки труб. За час свого існування він став основним для виробництва труб з титанових сплавів і нержавіючої сталі.

Головною перевагою цього способу, який реалізований на валкових станах ХПТ, є значні обтискання металу (75-85%) як за діаметром (40-60%), так і за товщиною стінки (45-65%), що неможливо різними способами волочіння і роликовою прокаткою на станах ХПТ.

Сортамент заготовки зі сплавів титану та готової продукції, що отримується з неї в умовах трубних підприємств м. Нікополь, наведені у таблиці 2.

Сортамент заготовки і готової продукції зі сплавів титану

Готова труба, мм	Заготовка, мм	Марка сталі
75 x 3,0	100 x 5,5	ПТ-1М
75 x 6,5	95 x 12	ОТ-4
89 x 5,0	100 x 10	ПТ-1М
100 x 5,5	114 x 10	ВТ1-0
100 x 10	102 x 15	ПТ-7М
108 x 4,5	125 x 7,0	ВТ1-0
108 x 7,0	114 x 9,0	ПТ-7М
108 x 18	114 x 22	ПТ-7М
114 x 4,0	125 x 7,0	ПТ-3В
114 x 10	138 x 14	ВТ1-0
125 x 4,0	138 x 7,0	ВТ1-0
125 x 7,0	138 x 14	ВТ1-0

Проблемі виробництва холоднодеформованих титанових та нержавіючих труб та визначенню залежності параметрів деформації на їх точність присвячено багато наукових робіт українських металургів Попова М.В., Хаустова Г.Й., Воронька В.Г., Атанасова С.В., Кекуха С.М., Белікова Ю.М. та ін.

Розвиток передових галузей техніки значно підняв вимоги до точності розмірів холоднодеформованих труб. Відносна різностінність вихідних труб досягає 20-30%, а за вимогами стандартів на прецизійні труби за товщиною стінки – припускаються відхилення  $\pm 5\%$ , це значно ускладнює технології виробництва – збільшує циклічність і зменшує продуктивність прокатних станів.

У науковій роботі Попова М.В. показано, що функцію зміни товщини стінки за периметром труби можна представити у вигляді гармонійного ряду з трьох складових, які характеризуються: ексцентричністю різностінності, що обумовлена зміщенням твірних поверхонь оправки та зовнішнього деформуєчого інструмента; специфікою технологічного процесу; сукупною дією усіх параметрів процесу (зміна коефіцієнта тертя, механічних властивостей та інше). При цьому різностінність труб, які пройшли не більш двох прокаток на станах ХПТ, на 70-80% визначається першою ексцентричною складовою [1].

У наукових роботах Кузнецова Є.Д. і Хаустова Г.Й. показано, що вільне редукування труб за діаметром є ефективним засобом зменшення ексцентричної різностінності та доведено, що питома інтенсивність зменшення вказаної різностінності збільшується при редукуванні зміцненого металу труб при використанні східчастих оправок – з однією або двома додатковими зонами редукування за діаметром при прокатці на станах ХПТ [2, 3]. При цьому інтенсивність зниження ексцентричної різностінності додатково збільшується при наявності осевих стискаючих зусиль.

Від точності геометричних параметрів холоднодеформованих труб залежать питома витрата металу, собівартість, міцність, надійність устаткування та інше.

На думку Хаустова Г.Й., для якісної оцінки величини поперечної різностінності використовується формула [3]:

$$\Delta S_T = \Delta S_z \left( 0,1 + 0,9 \frac{D_z}{D_T} \right) + \Delta S_n, \quad (1)$$

де  $\Delta S_n$  – наведена в стані різностінність (2-5% у залежності від конструкції і стана обладнання);  $\Delta S_T$  – різностінність заготовки у %.

За методиками Орра П. І., Хаустова Г.Й. теоретично та практично перевірено вплив подачі, витяжки, відносної різностінності заготовки на різностінність готової труби у вигляді рівняння

$$\delta_t = a + b\delta_0 + c\mu. \quad (2)$$

Експериментально доведено загальне рівняння залежності відносної різностінності від параметрів процесу має вигляд [3]:

$$\delta_t = (-35,35tm + 337,97) + (1,365m - 12,838)\delta_0 + (5,016m - 47,026)\mu, \quad (3)$$

де  $\delta_0$  – відносна різностінність заготовки;  $\mu$  – коефіцієнт витяжки;  $m$  – подача.

У сучасному виробництві титанових та нержавіючих труб потрібної точності найбільш перспективною схемою періодичної прокатки на станах ХПТ є схема дворядної прокатки, яка використовується різними способами удосконалення технології:

1. збільшення овальності рівчака калібрів у калібрувальній ділянці для збільшення продуктивності стана ХПТ;
  2. зменшення жорсткості деталей і вузлів робочої кліти стана ХПТ.
  3. зміна дрібності деформації при прокатці труб: зменшення величини подачі.
- Факторами, які необхідні для виробництва холоднодеформованих труб високої точності при двохрядній прокатці є:

1. збільшення до двох разів загальної довжини робочої зони стана, що сприяє усуненню поздовжньої різностінності;
2. збільшення точності у поперечному та поздовжньому перерізі труб за діаметром, за рахунок здовженого у 1,5 рази калібрувальної ділянки вихідного ряду валків;
3. інтенсифікація зниження ексцентричної різностінності у зоні редукуванні вихідного ряду валків у зв'язку з деформацією зміцненого металу.

Висока технологічна пластичність металів при дворядної прокатки пояснюється збільшеною довжиною сумарного осередку деформації, меншим розвалюванням рівчака калібру, кінематичною взаємодією двох миттєвих осередків деформації, які приводять до меншого зміцнення металу, збереження більш високих пластичних властивостей. Порівняльне значення коефіцієнтів витяжки при однорядній і дворядній прокатці надається в таблиці 3.

Таблиця 3

**Порівняльні значення коефіцієнтів витяжки при однорядній і дворядній прокатці на стані ХПТ**

№	Марки сталі	Коефіцієнт витяжки	
		Однорядна прокатка	Дворядна прокатка
1	Нержавіюча сталь	до 5,5	до 10
2	Сплави титану	до 8	до 12

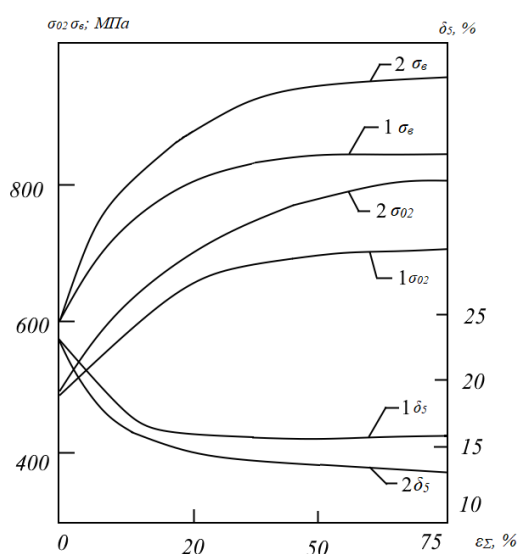
На ПрАТ «СЕНТРАВІС ПРОДАКШН ЮКРЕЙН» була проведена порівняльна прокатка холоднодеформованих труб. Порівняльну прокатку труб сплаву титану ВТ1 здійснювали на стані ХПТ з використанням однорядної або дворядної схеми деформації. Прокатку труб зі сплаву титану виконували холодним способом. Механічні властивості труб розміром 42×4 мм, які прокатані у однорядному стані за два проходи і за один прохід у двох рядах валків, наведені в таблиці 4 .

Таблиця 4

**Механічні властивості холоднодеформованих труб при однорядній і дворядній прокатці ( $\mu_{\Sigma x} = 4,5$ )**

№	Прокатка труб	$\sigma_B$ , МПа	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\delta$ , %
1	сплав ВТ-1	412	245	22
	однорядна	735	608	11
	дворядна	617	490	15

Отримані дані показують, що досліджуваний сплав титану після прокатки у двох рядах валків має більш високу пластичність (відносне подовження у 1,4-1,7 разів більше, а тимчасовий опір і границя текучості приблизно у 1,1 разів менше, ніж у труб прокатаних в одному ряду валків з рівною ступеню деформації). Зміна механічних властивостей труб зі сплаву ВТ-1 у залежності від деформації представлено на рис. 1.



**Рис. 1. Зміна механічних властивостей сплаву ВТ1 у залежності від ступеня деформації холоднодеформованих труб у дворядному і однорядному стані ХПТ90:**

1 – дворядна прокатка, 89×7,5 → 42×3,0 мм;

2 – двопродна однорядна прокатка, 89×7,5 → 60×4,7 → 42×3,0 мм  
(без проміжної термообробки)

Звідси випливає, що коефіцієнт витяжки при дворядній прокатці у 1,5 – 1,74 разів більше, ніж при однорядній прокатці; у два рази збільшується довжина робочої зони.

При високих швидкостях виробництва холоднодеформованих труб спостерігається деяке зниження опору деформації. Враховуються фактори, які зі збільшенням швидкості деформації можуть викликати не тільки збільшення зусилля прокатки, але й зменшення. Зі збільшенням швидкості холодної прокатки зменшується віддача тепла, яка виділяється внаслідок пластичної деформації, валкам. Швидкість деформації при холодній прокатці труб не надає суттєвого впливу на зміну фізико-механічних характеристик сплавів титану та нержавіючих сталей [Ошибка! Источник ссылки не найден.].

**Висновок.** У статті був проведений аналіз проблеми виробництва холоднодеформованих труб з підвищеними фізико-механічними характеристиками (сплави титану та нержавіючих труб). З метою удосконалення технологічного процесу був показаний вплив окремих елементів технологій на формування текстури, фізико-механічні властивості та структуру титанових та нержавіючих труб.

**Список використаних джерел:**

1. Попов, М. В. (1978) Исследование и создание новых процессов и оборудования холодной прокатки труб. (дис. ... д-ра. техн. наук) М.
2. Кузнецов, Е. Д. (1968) Исследование и обоснование параметров технологического процесса, обеспечивающего повышение точности холодно-деформированных труб (дис. ... канд. техн. наук) ВНИТИ, Днепропетровск.
3. Хаустов, Г. И. (1971) Исследование точности холоднодеформированных труб (дис. ... канд. техн. наук). ДМетИ, Днепропетровск.
4. Орро, П.И., Беликов, Ю.М. (1965) Определение естественного катающего радиуса при холодной прокатке труб. Технический прогресс в трубном производстве. Москва: Металлургиздат, 122-126
5. Атанасов, С. В. (1996) Разработка интенсивной технологии изготовления особотонкостенных труб для атомной промышленности на основе исследования пластичности стали ЭИ 844 (дис. ... канд. техн. наук.). ВНИТИ. Днепропетровск.
6. Данченко, В.Н., Фролов, Я. В. , Фролов, В.Ф. (2005) *Холодная пильгерная прокатка труб*. Днепропетровск: Пороги.