

уширення знижується (см. рис. 2), що не суперечить існуючим положенням сучасної теорії прокатки. Деякий ріст коефіцієнта уширення при збільшенні напруження  $\left(1 - \frac{\sigma_1}{\sigma_s}\right)$  від 1 до 0,5 в першому і другому дослідах, пояснюється збільшенням обжаття.

**Висновки.** В роботі показано адекватність емпіричної формули, пропонуваної для інженерних розрахунків, і можливість використання математичної моделі на основі програмного комплексу QForm 2D/3D при теоретичних дослідженнях.

З результатів роботи видно, що з збільшенням напруження коефіцієнт уширення зменшується, це не суперечить існуючим положенням сучасної теорії прокатки.

Використання результатів роботи в автоматизованих системах проволочних прокатних станів дозволяє розробляти інноваційні ресурсозберігаючі технології виробництва катанки на існуючому обладнанні зі зменшеним витратним коефіцієнтом, порівняно з існуючими.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Дудник Ю. В., Чернявין С. О., Татарульєв А. В. Влияние натяжения раската в межклетьевых промежутках проволочного стана на геометрические размеры катанки. *Сталь*. 1988. № 12. С. 40-42
2. Грудев А. П. Теория прокатки. М. : Металлургия, 1988. 240 с.
3. Уширение при прокатке в калибрах вытяжной системы «овал – круг» / М. Н. Штода и др. *Вісник НТУ «ХП»*. Серія: *Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії*. Харків : НТУ «ХП», 2016. № 30(1202). С. 79–87.
4. Бахтинов Ю. Б., Тарасевич Ю. Ф., Пименов А. Ф. К учету влияния межклетьевых сил на величину уширения при непрерывной прокатке. *Производство проката*. 2007. № 10. С. 2–4.

Поступила в редакцию 27.08.2020.

УДК 621.774.35

DOI 10.31319/2519-2884.tm.2020.5

СОЛОВЬОВА І.А., к.т.н., доцент  
НИКОЛАЄНКО Ю.М., ст. викладач

Національна металургійна академія України, м. Дніпро

#### АНАЛІЗ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ТОЧНОСТІ ТРУБ ПРИ БЕЗОПРАВОЧНОМУ ВОЛОЧІННІ

**Вступ.** Дослідженню вдосконалення технології безоправочного волочіння присвячено багато наукових робіт сучасних вчених: Орлова Г.А, Каргіна Б.В., Окулова Р.А., Паршина С.В. та інших. Ці роботи спрямовані на вивчення: волочіння в блок волок; волочіння через волоку, що обертається; моделювання процесу волочіння.

У роботах вирішуються питання, що дозволяють збільшити ступінь деформації при волочінні, продуктивність, зв'язати зміни товщини стінки з енергосиловими параметрами процесів. У світі сучасних вимог до точності труб виникає інтерес до проблеми зміни різностінності труб після волочіння для прогнозування точності готових труб.

**Постановка задачі.** Метою даної роботи є дослідження впливу технологічних параметрів безправочного волочіння труб з різних марок сталей та визначення факторів, що впливають на зміну різностінності труб за допомогою кореляційно-регресійного аналізу.

**Результати роботи.** Безправочному волочіння піддають труби після короткоправочного волочіння або прокатки на станах ХПТ або ХПТР, тобто труби, які мають певну різностінність.

З метою оцінки точності труб після безправочного волочіння були спроектовані та досліджені технологічні маршрути виробництва труб з різних марок сталей. За розробленими маршрутами за технологією виробництва протягалися партії труб [1], від кожної партії відбиралися зразки і проводилися виміри товщини стінки в рівновіддалених точках поперечного перерізу труби.

Для кожного проходу волочіння розраховані: абсолютна  $\Delta t = t_{\max} - t_{\min}$  і відносна різностінність заготовки  $\delta_0 = \frac{\Delta t_0}{t_{0\text{с\acute{a}р}}}$  і готової труби  $\delta = \frac{\Delta t}{t_{\text{с\acute{a}р}}}$ ; коефіцієнт обтиснення по діаметру  $\frac{D_0}{D}$ ; ступінь тонкостінності  $\frac{t_0}{D_0}$ ; ступінь деформації  $\varepsilon$ ; коефіцієнт зміни різностінності  $k = \frac{\delta}{\delta_0}$ .

За результатами вимірювань виконаний кореляційно-регресійний аналіз, визначені фактори, що впливають на зміну різностінності і побудовані регресійні моделі [1, 3].

Інтервали варіювання вихідними даними наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 - Інтервали варіювання вихідних даних для аналізу

Параметр	Діапазон варіювання параметру	
	нержавіючі сталі	вуглецеві сталі
$\delta_0, \%$	0,80 ... 13,5	1,2 ... 16,5
$\frac{D_0}{D}$	1,12 ... 1,5	1,05 ... 1,6
$\frac{t_0}{D_0}$	0,05 ... 0,235	0,02 ... 0,21
$D_0$	10, 16, 25, 36	
$t_0$	0,97 ... 3,0	

Як впливає з визначення при  $k < 1$  різностінність зменшується, при  $k > 1$  різностінність готової труби більше різностінності заготовки.

Значимість коефіцієнтів отриманих рівнянь оцінювалася за критерієм Стюдента, а адекватність моделі за критерієм Фішера. Отримані моделі є адекватними і зі значимими коефіцієнтами [1-3]. Деякі моделі наведені в таблиці 2.

В результаті розрахунків отримані коефіцієнти множинної кореляції, коефіцієнти регресії для моделей лінійного, гіперболічного та параболічного типу. За результатами кореляційно-регресійного аналізу сформовані рівняння регресії аналізувалися і уточнювалися. З вивчених моделей обрані моделі типу А і В (таблиці 2, 3), які адекватно відображають досліджувану залежність.

Таблиця 2 – Коефіцієнти різностінності моделі типу А

Сталь	Коефіцієнти різностінності
08Х22Н6Т	$k = 1,681 + \frac{3,304}{\delta_0} - 0,522 \frac{D_0}{D} - 10,110 \frac{t_0}{D_0} + 29,128 \left( \frac{t_0}{D_0} \right)^2 - 0,003\varepsilon$
06ХН28МДТ	$k = 1,126 + \frac{3,015}{\delta_0} - 1,177 \frac{D_0}{D} + 8,097 \frac{t_0}{D_0} - 27,980 \left( \frac{t_0}{D_0} \right)^2 - 0,003\varepsilon$
ХН77ТЮР	$k = 1,678 + \frac{1,727}{\delta_0} - 0,246 \frac{D_0}{D} - 16,494 \frac{t_0}{D_0} + 69,167 \left( \frac{t_0}{D_0} \right)^2 - 0,003\varepsilon$
10	$k = 1,974 + \frac{2,324}{\delta_0} - 0,718 \frac{D_0}{D} - 8,442 \frac{t_0}{D_0} + 23,616 \left( \frac{t_0}{D_0} \right)^2 - 0,003\varepsilon$

Таблиця 3 – Коефіцієнти різностінності-моделі типу В

Сталь	Коефіцієнти різностінності
08Х22Н6Т	$k = 1,463 + \frac{3,374}{\delta_0} - 0,796 \frac{D_0}{D} - 1,862 \frac{t_0}{D_0}$
06ХН28МДТ	$k = 1,391 + \frac{3,068}{\delta_0} - 0,959 \frac{D_0}{D} - 0,197 \frac{t_0}{D_0}$
ХН77ТЮР	$k = 0,812 + \frac{1,709}{\delta_0} - 0,265 \frac{D_0}{D} + 0,557 \frac{t_0}{D_0}$
10	$k = 1,615 + \frac{2,216}{\delta_0} - 0,667 \frac{D_0}{D} - 1,994 \frac{t_0}{D_0} - 0,002\varepsilon$

Встановлено, що в моделях типу А всі коефіцієнти значимі, а в моделях типу В коефіцієнт при  $\frac{t_0}{D_0}$  не завжди опинявся значущим, тобто залежність від  $\frac{t_0}{D_0}$  не слід вважати лінійною, що підтверджує модель типу А.

Інтенсивність виправлення ( $k < 1$ ) залежить від коефіцієнта обтиснення по діаметру  $\frac{D_0}{D}$ : чим більше значення  $\frac{D_0}{D}$ , тим інтенсивніше виправлення різностінності. Тобто з метою виправлення різностінності ( $\delta_0 > 4\%$ ) при безправочному волочінні необхідно збільшувати коефіцієнт витяжки.

Проаналізовано залежність коефіцієнта зміни різностінності від різностінності заготовки (таблиця 4).

Характер залежності ідентичний. При малій різностінності заготовки (менше 3%) різностінність готових труб зростає, при різностінності заготовки 3...4% різностінність готових труб змінюється мало і при  $\delta_0 > 4\%$  різностінність готових труб зменшується.

Таким чином, прогнозуючи очікувану поперечну різностінність готової труби після безправочного волочіння можна використовувати регресивну залежність наведену в таблиці 5.

При аналізі отриманих залежностей [1-3] можна зробити деякі висновки: чим пластичніше метал, тим менше зміна різностінності. Менш пластичні сталі мають більшу тенденцію до зміни різностінності. При малих значеннях  $\delta_0$  коефіцієнт  $k$  досягає

величини 3,5, тобто різностінність збільшується в 3,5 рази, а при великих значеннях  $\delta_0$  інтенсивніше її виправлення. Інтенсивність виправлення ( $k < 1$ ) залежить від коефіцієнта обчислення по діаметру  $\frac{D_0}{D}$ : чим більше значення  $\frac{D_0}{D}$ , тим інтенсивніше виправлення різностінності. Тобто з метою виправлення різностінності ( $\delta_0 > 4\%$ ) при безоправочному волочінні необхідно збільшувати коефіцієнт витяжки.

Таблиця 4 – Залежність коефіцієнту зміни різностінності від різностінності заготовки

Сталь	Коефіцієнти зміни різностінності від різностінності заготовки
08X22H6T	$k = 0,1866 + \frac{3,3038}{\delta_0}$
06XH28MДТ	$k = 0,2366 + \frac{3,0149}{\delta_0}$
XH77TЮР	$k = 0,4113 + \frac{1,7271}{\delta_0}$
10	$k = 0,3584 + \frac{2,3235}{\delta_0}$

Таблиця 5 – Прогнозування різностінності

Сталь	Прогнозування різностінності
08X22H6T	$\delta_{s1} = 3,304 + \delta_{s0} \left( 1,681 - 0,522 \frac{D_0}{D} - 10,110 \frac{t_0}{D_0} + 29,128 \left( \frac{t_0}{D_0} \right)^2 - 0,003\varepsilon \right)$
XH77TЮР	$\delta_{s1} = 1,727 + \delta_{s0} \left( 1,678 - 0,246 \frac{D_0}{D} - 16,494 \frac{t_0}{D_0} + 69,167 \left( \frac{t_0}{D_0} \right)^2 - 0,003\varepsilon \right)$
10	$\delta_{s1} = 2,324 + \delta_{s0} \left( 1,974 - 0,718 \frac{D_0}{D} - 8,442 \frac{t_0}{D_0} + 23,616 \left( \frac{t_0}{D_0} \right)^2 - 0,003\varepsilon \right)$

де  $\delta_{s0}$  – поперечна різностінність вихідної заготовки;  $\delta_{s1}$  – поперечна різностінність готової труби.

**Висновок.** Результати досліджень впроваджені в розрахунки маршрутів та технологічних карт виробництва [2] з метою прогнозування різностінності готових труб при волочінні та запровадженню скорочення витрат металу на виробництві.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Соловьева И. А. Разработка многовариантной технологии, исследование и внедрение рациональных режимов производства холоднодеформированных труб : дис. канд. техн. наук : 05.16.05. Днепропетровск, 1987. 200 с.
2. Соловйова І. А., Балакін В. Ф., Николаєнко Ю. М., Білан К. С. Проектування комбінованих маршрутів виробництва холоднодеформованих труб. *Системні технології*. 2017. № 4. С. 56–62.
3. Соловйова І. А., Николаєнко Ю. М. Прогнозування точності труб при безоправочному волочінні. *Системні технології*. 2020. № 5. С. 30–36.

Надійшла до редколегії 01.09.2020.