

Особливості зміни випередження під час прокатки високих смуг

Олег Павлович Максименко

Кафедра металургії ім. проф. В.І. Логінова/металургійний факультет, Дніпровський державний технічний університет, Кам'янське, Україна
ORCID 0000-0003-0846-9869

Анна Борисівна Приймак

Кафедра металургії ім. проф. В.І. Логінова/металургійний факультет, Дніпровський державний технічний університет, Кам'янське, Україна
ORCID 0009-0009-9070-643X

Володимир Сергійович Ляшенко

Кафедра металургії ім. проф. В.І. Логінова/металургійний факультет, Дніпровський державний технічний університет, Кам'янське, Україна

Євгеній Віталійович Стасько

Кафедра металургії ім. проф. В.І. Логінова/металургійний факультет, Дніпровський державний технічний університет, Кам'янське, Україна

Євген Леонідович Терещенко

Кафедра металургії ім. проф. В.І. Логінова/металургійний факультет, Дніпровський державний технічний університет, Кам'янське, Україна

Для цитування цієї статті:

Максименко Олег Павлович, Приймак Анна Борисівна, Ляшенко Володимир Сергійович, Стасько Євгеній Віталійович, Терещенко Євген Леонідович. Особливості зміни випередження під час прокатки високих смуг. *International Science Journal of Engineering & Agriculture*. Vol. 4, No.1, 2025, pp. 60-65. doi: 10.46299/j.isjea.20250401.05.

Надійшла до редакції: 25 листопада 2024 р.; **Схвалено:** 29 грудня 2024 р.;

Опубліковано: 01 лютого 2025 р.

Анотація: У статті досліджується вплив різних умов прокатки на параметр випередження, що характеризує динамічні та кінематичні особливості процесу прокатки металу. Основною метою роботи є вивчення зміни випередження по довжині металу, що прокочується, та аналіз впливу різних чинників на його величину за умов деформації відносно високих смуг. Дослідження проведено на лабораторному стані дуо 180, де використовувались свинцеві клиноподібні зразки з різними кінцевими товщинами. Результати показують, що випередження змінюється залежно від кінцевої товщини металу, кута захоплення та коефіцієнта тертя. У процесі прокатки з негативним випередженням відбулося стабільне деформування без порушення рівноваги між втягувальними та виштовхувальними силами. Виявлено, що на величину випередження суттєво впливає наявність заднього жорсткого кінця металу. Результати досліджень доповнюють теорію надмірного стиснення і можуть бути використані для удосконалення процесів прокатки в умовах змінного тертя.

Ключові слова: випередження, умови деформації, поздовжня стійкість, осередок деформації, кут захвату, тертя.

1. Вступ

Випередження — це один з основних параметрів, який характеризує динамічні та кінематичні особливості процесу прокатки. Його дослідженню присвячено низку робіт [1,2 та ін], проте закономірності зміни цього параметра в різних умовах, зокрема під час деформації відносно високих смуг, залишаються недостатньо вивченими. Особливо мало досліджено взаємозв'язок між граничними умовами захвату та випередженням, хоча відомо, що у деяких випадках процес деформації може протікати стійко [3] навіть за відсутності зони випередження. Зокрема, зміна випередження по довжині смуги, що прокочується, в залежності від умов деформації, є важливим аспектом для оптимізації процесів прокатки. У зв'язку з цим метою цієї роботи є дослідження впливу різних чинників на величину випередження в умовах прокатки смуг високої товщини, а також аналіз зміни цього параметра залежно від кута захоплення та інших технологічних факторів.

2. Об'єкт і предмет дослідження

Об'єктом дослідження є процес прокатки металу на лабораторному прокатному стані дуо 180 з використанням свинцевих клиноподібних зразків.

Предметом дослідження є зміна випередження по довжині смуги, що прокочується, за різних умов деформації, а також вплив таких чинників, як кут захвату, кінцева товщина смуги та коефіцієнт тертя, на величину випередження в процесі прокатки.

3. Мета та задачі дослідження

Метою цієї роботи є дослідження динаміки зміни випередження вздовж довжини смуг, що прокочуються, за різних умов деформації, а також вивчення впливу низки чинників на його величину.

4. Методи досліджень

Досліди проводили на лабораторному стані дуо 180 у гладких валках діаметром 195 мм при швидкості прокатки, що дорівнює 0,35 м/с. Як зразки слугували свинцеві, клиноподібні смуги зі ступенями шириною 60 мм. Основні розміри зразків наведені в таблиці 1.

Таблиця 1. Розміри клиноподібних зразків

Найменша висота клина, мм	Найбільша висота клина, мм	Довжина ступені, мм	Довжина зразка, мм	Початковий кут захвату, рад	Максимальний кут захвату, рад	Кінцева товщина h_1 , мм
Зразки, які загальмували						
8,0	19,0	10,0	82,0	0,25	0,35	1,0
9,0	23,0	10,0	110,0	0,29	0,42	4,0
37,0	60,0	26,0	360,0	0,26	0,53	30,0
Зразки, які проскочили осередок деформації						
17,0	33,0	14,0	200,0	0,33	0,46	14,0
34,0	58,0	25,0	278,0	0,32	0,57	27,0
41,0	60,0	23,0	350,0	0,31	0,51	36,0

Зауважимо, що висота кожної ступені була на 1,5 мм меншою за попередню. Перед проведенням прокатки кожен зразок промивали розчинником і насухо протирали ганчіркою. Аналогічно готували до дослідів і поверхню робочих валків.

Для визначення поточного випередження (за довжиною смуги, що прокатується, n – це число кернів) на поверхні валків через кожні 10 мм були нанесені керни за допомогою ділильної головки.

На графіках рисунка 1 наведені результати дослідження зміни випередження S по довжині металу, що деформується, у разі збільшення поточного кута захвату.

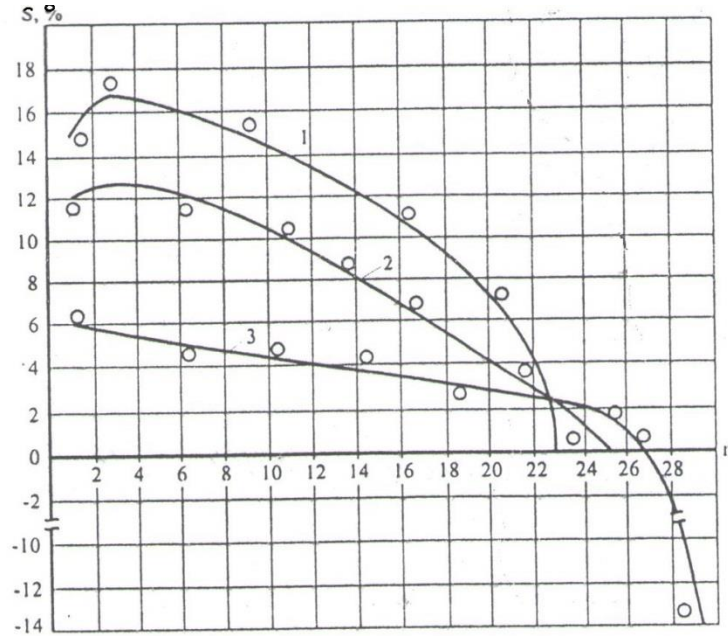


Рисунок 1. Зміна випередження для зразків, що забуксували:
1 — $h_1 = 1$ мм; 2 — 4 мм; 3 — 30 мм.

Під час прокатки клиноподібних зразків до кінцевої товщини 1 і 4 мм зміна випередження відповідає положенням, прийнятим у теорії прокатки. Зокрема, зі збільшенням кінцевої товщини випередження зменшується, а крива його зміни стає більш витягнутою в напрямку осі абсцис. Крім того, в граничних умовах прокатки, перед буксуванням металу у валках, S набуває нульового значення, що свідчить про повне використання резерву сил тертя.

5. Результати досліджень

Відмінною рисою прокатки відносно високих смуг (крива 3) є те, що процес протікав стійко, коли швидкість виходу смуги з осередку деформації була меншою за лінійну швидкість обертання валків. Параметр форми осередку деформації під час прокатки металу з кінцевою товщиною $h_1 = 36$ мм змінювався в межах $0,75 \leq l_d/h_{\text{сер}} \leq 1,0$. Необхідно підкреслити, що під час деформації металу з від'ємним випередженням 5...7% рівновага в осередку деформації між втягувальними та виштовхувальними силами не порушувалася, хоча резерв сил тертя, здавалося б, давно використаний. Перші ознаки пробуксовки смуги спостерігалися за негативного випередження $S = -13\%$. Таким чином, під час деформації відносно товстих смуг, умова $S = 0$ не є граничною умовою захвату.

У другій серії дослідів проводили прокатку клиноподібних зразків для отримання відносно високих смуг за жорсткіших умов тертя в осередку деформації. Збільшення коефіцієнта тертя досягалося попереднім грубішим шліфуванням поверхні робочих валків порівняно з вищеописаними дослідями. У цій серії дослідів деформація металу в зоні контакту смуги з валками відбувалася без порушення балансу між втягувальними і виштовхувальними силами.

Результати експерименту наведено на рисунку 2.

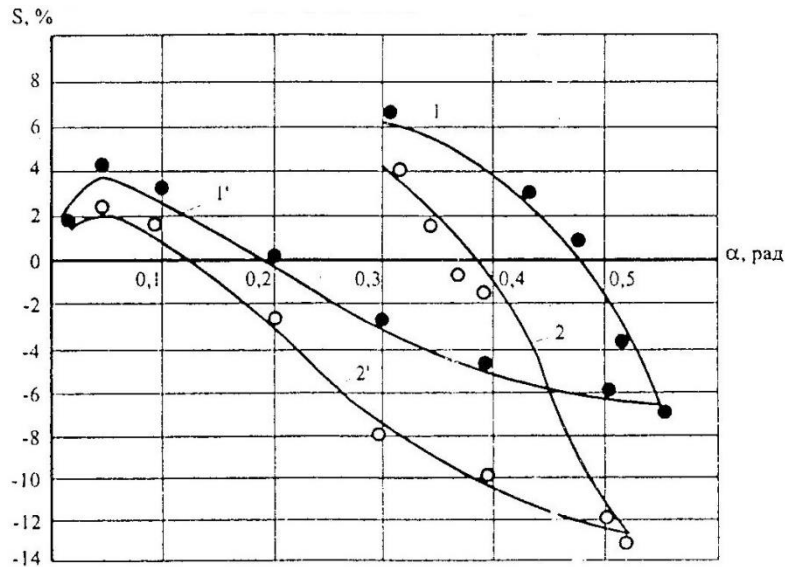


Рисунок 2. Зміна випередження зразків, що проскочили осередок деформації:

1 — $h_1 = 14$ мм; 2 — 27 мм; 3 — 36 мм.

1; 2 — випередження при збільшенні кута захвату;

1'; 2' — випередження при спаданні кута захвату.

Як видно, на відміну від першої серії дослідів, у цій серії криві зміни випередження не є рівномірними. По довжині прокатуваних зразків випередження двічі приймає нульове значення. На кривих є велика ділянка, де швидкість руху смуги на виході з осередку деформації менша за лінійну швидкість обертання валків. Довжина цієї ділянки залежить від кінцевої товщини прокатуваного металу. Зі збільшенням кінцевої товщини зростає довжина ділянки з негативним випередженням. У правій частині графіків рисунка 2 випередження починає збільшуватися, набуває нульового значення, стає позитивним і досягає екстремального значення. Наведені на рисунку 2 графіки зміни випередження за довжиною прокатуваних клиноподібних зразків можна пояснити, якщо побудувати залежність S у функції поточного кута захвату α_x (рисунок 3).

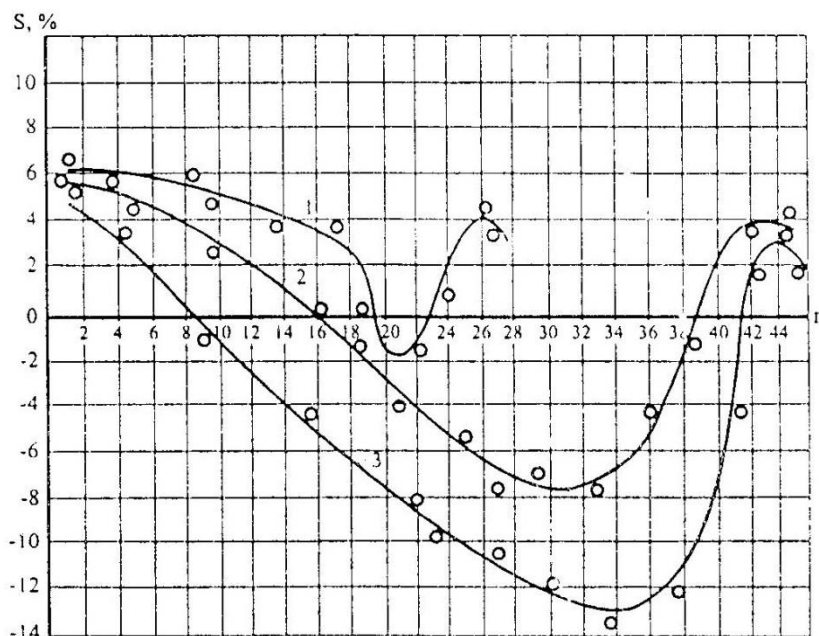


Рисунок 3. Залежність випередження від поточного кута захвату:

1 — $h_1 = 27$ мм; 2 — 36 мм.

Ця залежність характеризується двома гілками кривих. Права гілка відображає зменшення випередження при наростанні поточного кута захвату від початкового значення до максимального, що відповідає лівій ділянці кривих малюнка 2. Ліва гілка кривих малюнка 3 відноситься до руху задньої площини останньої ступені зразка по осередку деформації. При цьому кут α_x змінюється від максимального значення до нуля, що відповідає правій ділянці кривих рисунка 2.

Підкреслимо, що під час проведення другої серії дослідів візуально не спостерігали навіть початкових ознак загальмовування смуги у валках. Процес протікав стійко, рівновагу в осередку деформації не порушували і в разі подальшого збільшення поточного кута захвату, хоча прокатку вже вели з негативним випередженням. Стійкість прокатки відносно високих смуг з негативним випередженням, мабуть, пояснюється впливом швидкості ковзання в контактні валків і смуги на питомі сили тертя. Як видно, в даному випадку граничні умови прокатки не обмежуються нульовим випередженням, і в цьому відношенні описувані досліди очевидно доповнюють теорію надмірного стиснення. Необхідно зазначити, що подібні умови деформації спостерігалися при періодичній прокатці зі збільшенням або зменшенням обтиску [4].

Аналізуючи графіки рисунка 3, звернемо увагу на те, що ліві та праві гілки кривих розподілу випередження побудовані для різних умов прокатки. Права гілка відображає умови деформації зразків за наявності заднього жорсткого кінця металу, ліва — за його відсутності. Порівнюючи значення випередження для рівних кутів α , можна зробити висновок, що прокатка смуги з наявністю задньої зовнішньої зони сприяє деякому збільшенню випередження. Водночас зауважимо, що під час прокатки заднього кінця смуги дещо зростає розширення металу, останнє позначається на випередженні.

6. Висновки

У результаті дослідної прокатки відносно високих смуг встановлено, що баланс між втягувальними і виштовхувальними силами не порушується під час здійснення процесу з негативним випередженням. Значення негативного випередження залежить як від поточного кута захвату, так і від кінцевої товщини смуги. Встановлено вплив заднього жорсткого кінця металу, що деформується, на значення випередження.

Список літератури:

- 1) Чекмарев А.П., Павлов В.Л., Мелешко В.И., Токарев А.В. (1968) Теория прокатки крупных слитков. М: Металлургия.
- 2) Смирнов В.С. (1967) Теория прокатки. М: Металлургия.
- 3) Леванов А.Н., Колмогоров В.Л., Буркин С.П. и др. (1976) Контактное трение в процессах обработки металлов давлением. М: Металлургия.
- 4) Чекмарев А.П., Смольянинов А.Ф., Лихорадов А.П. и др. (1970) Исследование кинематических и силовых параметров при продольной прокатке периодических профилей. Обработка металлов давлением. М.Тр. ДметИ; Вып. 54, с. 110—127
- 5) Максименко О.П., Романюк Р.Я., Лобойко Д.И. (2013) Анализ силового взаимодействия в очаге деформации при прокатке. Металлургическая и горнорудная промышленность. № 6, с. 47—49.
- 6) Василев Я. Д., Мінаєв О.А. (2009) Теорія поздовжньої прокатки. Донецьк : УНІТЕХ.
- 7) Данченко В.М., Гринкевич В.О., Головка О.М. (2008) Теорія процесів обробки металів тиском: Підручник. — Дніпропетровськ: Пороги.
- 8) Максименко О. П., Лейко О.Є. (2001) Удосконалення процесів та обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні. Зб. наук. пр. Краматорськ: ДДМА.

9) Максименко О.П., Нікулін О.В., Самохвал В.М., Лобойко Д.І. (2021) Системний підхід, методи досліджень процесів прокатування з аналізом поздовжньої сталості: навчальний посібник. Кам'янське: ДДТУ.

10) Ніколаєв В. О., Мазур В. Л. (2010) Виробництво плоского прокату : підр. Для студ. Вищ. Навч. Заклад. Запоріжжя : ЗДІА.

11) Mizuno T. (1966) An experimental research on cold rolling. 1. Report: Estimating the mechanism of the lubrication / T. Mizuno // Japan Society of Technology of Plasticity. — № 7.

12) Коновалов Ю. В., Мінаєв А. А. (2012) Металургія :навчальний посібник в 3 кн. Книга 2. Металознавство та основи термічної обробки металів. Теоретичні основи обробки металів тиском. Сортамент прокатної продукції. Виготовлення заготовок, листопрокатне виробництво. Донецьк: ДВНЗ «ДонНТУ».

Peculiarities of changing the advance during rolling of high strips

Oleh Maksymenko

Prof. V.I. Loginov Chair of Metallurgy / Faculty of Metallurgy, Dnipro State Technical University, Kamianske, Ukraine
ORCID 0000-0003-0846-9869

Anna Pryimak

Prof. V.I. Loginov Chair of Metallurgy / Faculty of Metallurgy, Dnipro State Technical University, Kamianske, Ukraine
ORCID 0009-0009-9070-643X

Volodymyr Liashenko

Prof. V.I. Loginov Chair of Metallurgy / Faculty of Metallurgy, Dnipro State Technical University, Kamianske, Ukraine

Yevhenii Stasko

Prof. V.I. Loginov Chair of Metallurgy / Faculty of Metallurgy, Dnipro State Technical University, Kamianske, Ukraine

Yevhen Tereshchenko

Prof. V.I. Loginov Chair of Metallurgy / Faculty of Metallurgy, Dnipro State Technical University, Kamianske, Ukraine

Abstract: This paper investigates the effect of various rolling conditions on the runout parameter, which characterizes the dynamic and kinematic features of the metal rolling process. The main purpose of the work is to study the change in the runout along the length of the rolled metal and to analyze the influence of various factors on its value under conditions of deformation of relatively high strips. The study was conducted on the duo 180 laboratory mill, where lead wedge-shaped specimens with different final thicknesses were used. The results show that the advance varies depending on the final metal thickness, the gripping angle and the friction coefficient. In the process of rolling with negative overrun, stable deformation occurred without disturbing the equilibrium between the pulling and pushing forces. It was found that the amount of advance is significantly affected by the presence of the rear rigid end of the metal. The research results complement the theory of excessive compression and can be used to improve rolling processes under variable friction.

Keywords: overrun, deformation conditions, longitudinal stability, deformation center, gripping angle, friction.
