

---

## **Дослідження впливу висотної утяжки смуги в задній зовнішній зоні на товщину шару мастила**

**Олег Максименко**

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

**Анна Приймак**

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

**Карина Колесник**

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

**Євген Терещенко**

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

### **Для цитування цієї статті:**

Максименко Олег, Приймак Анна, Колесник Карина, Терещенко Євген. Дослідження впливу висотної утяжки смуги в задній зовнішній зоні на товщину шару мастила. International Science Journal of Engineering & Agriculture. Vol. 2, No. 6, 2023, pp. 47-52. doi: 10.46299/j.isjea.20230206.06

**Надійшла до редакції:** 20 жовтня 2023 р.; **Схвалено:** 24 листопада 2023 р.;

**Опубліковано:** 01 грудня 2023 р.

---

**Анотація:** Введення в сортамент прокатних станів полегшених тонкостінних профілів, посилення допусків на розміри гарячекатаних виробів, а також збільшення продукції з легованих і важкодеформівних марок сталей зажадало від фахівців розв'язання низки завдань, пов'язаних із підвищенням стійкості валків, поліпшенням якості поверхні прокату і зниженням енергосилових параметрів. Одним із радикальних шляхів розв'язання цих питань під час гарячої прокатки є застосування технологічного мастила. Широкі промислові випробування подачі технологічного мастила в осередок деформації під час гарячої прокатки проведені на тонколистових безперервних станах 1680 комбінату "Запоріжсталь" і 2000 Череповецького заводу.

**Ключові слова:** мастильна плівка, стійкість валків, мікрорельєф поверхні металу, режим тертя, коефіцієнт тертя, гідродинамічні параметри.

---

### **1. Вступ**

Докладний аналіз зарубіжних робіт у цьому напрямі опубліковано в дослідженнях [4, 5]. Такі особливості прокатки товстих листів, як зміщення максимуму контактних тисків до перерізу входу металу у валки, виникнення поздовжніх нормальних розтягувальних внутрішніх напружень у поверхневих шарах задньої зовнішньої зони, а також значні кути захоплення повинні вносити відмінні ознаки і в механізм формування мастильного шару в осередку деформації.

## 2. Об'єкт і предмет дослідження

Зауважимо, що зазначені особливості товстолистової прокатки багато в чому визначаються параметром форми осередку деформації в поздовжньому напрямку  $\frac{l_d}{h_{сеп}}$ . Оцінімо вплив цього фактора на товщину шару мастила в контактні валків і смуги. Під час прокатки товстих листів позаконтактна деформація металу, його висотна утяжка в задній зовнішній зоні може чинити істотний вплив на форму і геометрію гідродинамічного клина. Природно припустити, що характер позаконтактної деформації впливає на механізм залучення технологічного мастила в зону формозміни металу.

## 3. Мета та задачі дослідження

Розширення сфери застосування мастила на товстолистову прокатку [6, 7] вимагає подальшого вивчення механізму змащувальної дії і, зокрема, питання, пов'язаного із залученням його в осередок деформації.

## 4. Методи досліджень

Досліджуємо передбачувану залежність у лабораторних умовах стану дуо 180 під час прокатки зразків зі швидкістю  $v_B = 0,35 \frac{м}{с}$ . Дослідну прокатку проводили в полірованих валках діаметром 190 мм за температури навколишнього середовища, що дорівнює 25 °С. Зразками слугували свинцеві смуги, попередньо підкатані в цих же валках. Як технологічне мастило застосовували різні мінеральні оливи (вапор-Ц-52; віскозин-Ц-24; прокатне П28). Розміри зразків обирали такими, щоб за постійного обтиску  $\Delta h$ , забезпечити варіювання параметра форми в межах  $0,3 \div 2,5$ .

## 5. Результати досліджень

Результати експериментального дослідження представлено на рисунку 1.

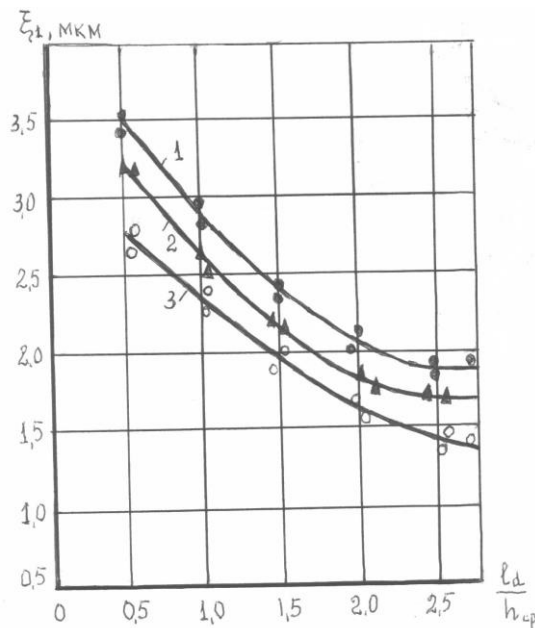


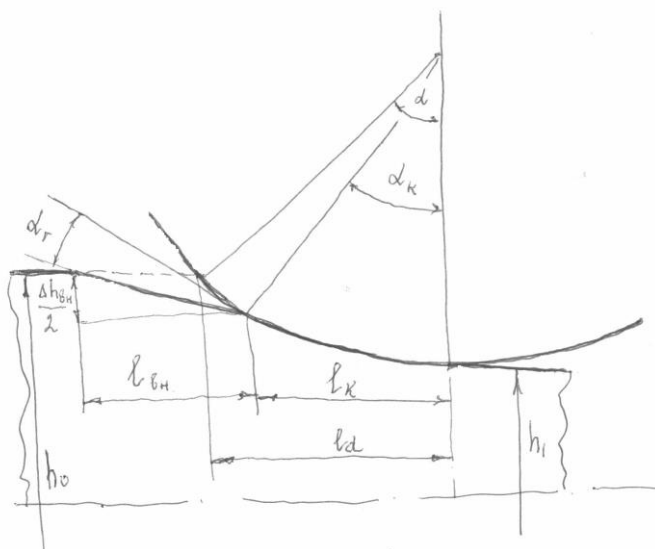
Рис 1. Залежність товщини шару мастила від параметра форми осередку деформації. (1 - масло Ц-52, 2 - Ц-24, 3 - П28)

Зауважимо, що товщину шару мастила визначали крапельним методом [8]. З наведених графіків випливає, що товщина шару мастила на виході металу з валків  $\xi_1$  суттєво залежить від параметра форми  $\frac{l_d}{h_{сеп}}$ . В області, де  $\frac{l_d}{h_{сеп}} < 1$  спостерігається інтенсивна зміна товщини мастильної плівки. При  $\frac{l_d}{h_{сеп}} > 2$  його вплив на формування мастильного шару істотно знижується. Слід зазначити, що дослідні значення товщини шару мастила дещо коригували, оскільки швидкість смуги під час входу в осередок деформації для різних значень  $\frac{l_d}{h_{сеп}}$  неоднакова. Коригування здійснювали використовуючи методику [2]. Аналізуючи наведені дані, можна зробити висновок, що вплив параметра форми на товщину  $\xi_1$  можна порівняти з впливом обтиснення або кута захоплення на останню. Аналогічна залежність проявляється і під час гарячої прокатки сталевих зразків (Ст. 08кп), що впливає з таблиці 1. Як мастило застосовували мінеральне масло П-28. Перед прокаткою смуги нагрівали в електропечі до температури 1000°C. З таблиці 1 видно, що під час деформації товстих зразків значення  $\xi_1$  приблизно в 1,42 раза більше, ніж під час прокатки середніх за товщиною смуг.

**Таблиця 1.** Залежність товщини шару мастила від параметра форми під час гарячої прокатки зразків

№ з/п	Товщина смуги	Обтиснення, $\Delta h$ , мм	$\frac{l_d}{h_{сеп}}$	Товщина шару мастила $\xi_1$ , мкм
1	5,1	1,4	2,55	0,35
2	5,15	1,45	2,58	0,38
3	5,05	1,35	2,52	0,36
4	28,5	1,4	0,4	0,49
5	28,45	1,35	0,4	0,53
6	28,5	1,4	0,4	0,51

Під час теоретичного визначення товщини шару мастила важливо знати як впливає задня зона позаконтактної деформації на кут гідродинамічного клина  $\alpha_r$  (рисунок 2).



**Рис 2.** Задня позаконтактна зона та кут гідродинамічного клину.

При аналізі цього питання скористаємося дослідними даними роботи [9, 10], в яких вивчали геометрію зовнішньої зони шляхом проміру зразків-недокатів. Використовуючи, як вихідні, дані щодо обтиснення металу в задній позаконтактній зоні  $\Delta h_{ноз}$  і її довжини  $l_{ноз}$

розрахуємо кут  $\alpha_r$ . Як впливає з рисунка 2 цей кут можна в першому наближенні визначити, розглядаючи геометрію задньої зовнішньої зони.

$$\alpha_r \approx \alpha_k - \frac{\Delta h_{noz}}{2l_{noz}} \approx \sqrt{\frac{\Delta h - \Delta h_{noz}}{R}} - \frac{\Delta h_{noz}}{2l_{noz}}$$

або остаточно

$$\alpha_r = \sqrt{\alpha^2 \left(1 - \frac{\Delta h_{noz}}{\Delta h}\right) - \frac{\Delta h}{2l_{noz}} \frac{\Delta h_{noz}}{\Delta h}} \quad (1)$$

Залежність показника висотної утяжки смуги  $\nu = \frac{\Delta h_{noz}}{\Delta h}$  від параметра  $\frac{l_d}{h_{cep}}$  наведено в роботі [10]. У ній також є експериментальні дані щодо залежності від  $\frac{l_{noz}}{l_d} = \varphi\left(\frac{l_d}{h_{cep}}\right)$ . Результати обчислень наведено в таблиці 2, аналізуючи яку видно, що зі зменшенням параметра форми  $\frac{l_d}{h_{cep}}$ , збільшується висотна утяжка смуги, зростає задня зона позаконтактної деформації.

**Таблиця 2.** Параметри позаконтактної деформації металу і кут гідродинамічного клина

№ з/п	$h_0$	$\frac{l_d}{h_{cep}}$	$\frac{\Delta h_{noz}}{\Delta h}$	$\alpha_k$ , рад	$\alpha$ , рад	$\frac{l_{noz}}{l_d}$	$\alpha_r$ , рад
1	60	0,3	0,47	0,246	0,337	1,25	0,185
2		0,4	0,38	0,332	0,423	1,00	0,269
3		0,5	0,2	0,446	0,496	0,87	0,35
4	45	0,4	0,36	0,260	0,328	1,0	0,210
5		0,5	0,27	0,331	0,388	0,87	0,285
6		0,75	0,16	0,457	0,5	0,62	0,396
7	30	0,5	0,25	0,230	0,272	0,87	0,203
8		0,75	0,19	0,328	0,364	0,62	0,286
9		1,0	0,12	0,405	0,432	0,5	0,354
10		1,5	0,08	0,500	0,521	0,4	0,448
11	10	0,75	0,18	0,127	0,140	0,62	0,110
12		1,00	0,12	0,164	0,175	0,50	0,143
13		1,50	0,08	0,220	0,230	0,40	0,197
14		2,0	0,06	0,260	0,268	0,37	0,238
15		2,5	0,05	0,288	0,296	0,32	0,265

При цьому зменшується кут гідродинамічного клина, а товщина мастильної плівки в зоні деформації зростає. Зауважимо, що підставляючи замість  $\alpha$  значення (1) у відомі формули для визначення товщини змащувальної плівки [11-13] можна теоретично оцінити вплив висотної утяжки смуги в передосередковій на надходження мастила в осередок деформації.

## 6. Висновки

Позаконтактна деформація металу в задній зовнішній зоні впливає на формування масляного шару в контактні валків і смуги, отже, під час товстолистового прокатування є додаткові резерви, які сприятимуть залученню технологічного мастила в осередок деформації.

### Список літератури:

- 1) Додока В.Г., Грудев А.П., Максименко О.П. и др. (1992) Применение технологической смазки на непрерывном тонколистовом стане горячей прокатки. Сталь, №1.

- 2) Грудев А.П., Тилик В.Т. (1975) Технологические смазки в прокатном производстве. москва: Металлургия.
- 3) Тубольцев Л.Г., Килиевич А.Ф., Адальский С.Д., Нетесов Н.П. Под редакцией Мелешко В.И. (1982) Горячая прокатка листовой стали с технологическими смазками. москва: Металлургия.
- 4) Edmundson M. Robert (1970) High temperature rolling oils aid hot rolling. Iron and steel eng.№10.
- 5) Neport E. (1971) Application of a working lubrication on a wide hot strip rolling mill. Iron and steel eng.№4.
- 6) Долженков Ф.Е., Носов В.Г., Коновалов Ю.В. и др. (1985) Пути совершенствования технологии производства толстолистовой стали. Сталь, № 12
- 7) Грудев А.П., Подберезный Н.П., Максименко О.П. (1998) Применение технологической смазки при горячей прокатке. Труды второго конгресса прокатчиков (Череповец 23-30 октября 1997 г.). москва: Черметинформация.
- 8) Грудев А.П., Зильберг Ю.В., Тилик В.Т. (1982) Трение и смазка при обработке металлов давлением. Справочник. москва: Металлургия.
- 9) Грудев А.П., Полещук В.М. (1965) Внеконтактная деформация заднего конуса полосы при прокатке в гладких валках. Прокатное производство: Тр. Ин-та черной металлургии МЧМ СССР. Выпуск 21.
- 10) Грудев А.П. (1988) Теория прокатки. Учебник для ВУЗов. москва: Металлургия.
- 11) Максименко О.П. (1991) Элементы контактной гидродинамики в исследовании толщины смазочной пленки при прокатке. Известия вузов Черная металлургия № 2.
- 12) Максименко О.П., Подберезный Н.П. (1994) Исследование контактно-гидродинамической смазки при прокатке. Известия вузов Черная металлургия № 8.
- 13) Грудев А.П., Максименко О.П. (1971) Элементы гидродинамической теории смазки при прокатке. Известия вузов Черная металлургия № 7.
- 14) Максименко О. П., Лейко О.Є. (2001) Удосконалення процесів та обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні. Зб. наук. пр. Краматорськ: ДДМА.
- 15) Грудев А.П. (1973) Внешнее трение при прокатке. москва: Металлургия.

---

## **Study of the effect of the height of the strip in the rear outer zone on the thickness of the lubricant layer**

### **Oleg Maksimenko**

Department of metallurgy named after prof. V.I. Loginov/ Metallurgical Faculty,  
Dniprovsky State Technical University, Kamianske, Ukraine  
ORCID 0000-0003-0846-9869

### **Anna Pryimak**

Department of metallurgy named after prof. V.I. Loginov/ Metallurgical Faculty,  
Dniprovsky State Technical University, Kamianske, Ukraine  
ORCID 0009-0009-9070-643X

### **Karyna Kolesnyk**

Department of metallurgy named after prof. V.I. Loginov/ Metallurgical Faculty,  
Dniprovsky State Technical University, Kamianske, Ukraine

### **Yevhen Tereshchenko**

Department of metallurgy named after prof. V.I. Loginov/ Metallurgical Faculty,  
Dniprovsky State Technical University, Kamianske, Ukraine

---

**Abstract:** The introduction of lightweight thin-walled profiles into the rolling mill product mix, tighter tolerances on the dimensions of hot-rolled products, and an increase in the production of alloyed and hard-to-deform steel grades required specialists to solve a number of problems related to increasing roll stability, improving the quality of the rolled surface, and reducing power and force parameters. One of the radical ways to address these issues during hot rolling is to use process lubricant. Extensive industrial tests of the supply of process lubricant to the deformation zone during hot rolling were conducted at the 1680 continuous plate mill of Zaporizhstal and 2000 continuous mill of Cherepovets Steel Works.

**Keywords:** lubricating film, roll stability, metal surface microrelief, friction mode, friction coefficient, hydrodynamic parameters.

---