

УДК 539.37

Б.П. Серета, зав. кафедрой, д.т.н., професор

М.Г. Прищип, доцент, к.т.н.

В.М. Михайлін, професор, д.т.н.

А.С. Жагров, доцент, к.т.н.

Ю.О. Белоконь, доцент, к.т.н.

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ МАСТИЛ ЗА ФОРМОЗМІНОЮ ШТАБИ У ПРОЦЕСІ ХОЛОДНОЇ ПРОКАТКИ**

*Запорізька державна інженерна академія*

Представлено описание разработки модели определения эффективности технологических смазок с применением параметров формоизменения металла в процессе прокатки. Модель простая в применении, что демонстрируется результатами экспериментов, разработанных с использованием базовых положений теории прокатки.

Наведено опис розробки моделі визначення ефективності технологічних мастил з використанням параметрів формозміни металу в процесі прокатки. Модель є простою у застосуванні, що демонструється результатами експериментів. Експерименти розроблено з використанням базових положень теорії прокатки.

It is presented description of model development for determination efficiency of the technological lubricants with the use of parameters of forming metal in the process of rolling. This model is simple in application, that is demonstrated by the results of experiments, worked out with the use of base positions of theory of rolling.

*Вступ.* Всі способи холодної прокатки виконуються з використанням технологічних мастил. У більшості випадків мастильні матеріали є спеціально обробленими мінеральними маслами або органічними оліями та їх водними емульсіями. Мастило, що подають в осередок деформації, зменшує силу прокатки, витрати енергії на формозміну, дає можливість одержувати штаби необхідної якості за формою, поверхнею, розмірами, зменшує абразивне зношування поверхні бочок валків та запобігає корозії металу. В економічному аспекті мастило має бути дешевим але водночас ефективним. Ефективністю мастила рахують його здатність зменшувати до мінімуму сили тертя між поверхнями штаби та валків у процесі прокатки. При цьому необхідний мінімум сил тертя має забезпечувати сталість процесу, тобто прокатку без буксування штаби у валках.

За практичними даними витрати технологічного мастила складають від 1,3 до 3,6 кг на одну тонну холоднокатаної листової (штабової) сталі [1]. Зменшення витрати мастила на практиці майже неможливо тому, що мастильний розчин у більшості випадків одночасно є охолоджувачем валків. Такі розчини називають мастильно-охолоджуючими рідинами. Зменшення витрат та збільшення ефективності зазначених розчинів сягають в основному змінюванням складу технологічних мастил.

*Постановка завдання.* Знайти простий і надійний метод визначення ефективності технологічних мастил та критерії їх порівняння без застосування спеціальних приладів, установок і громіздких розрахунків.

В роботах [1,2] наводиться єдиний спосіб оцінки властивостей мастила за величиною витяжки ідентичних зразків, які прокатується з різними мастильно-охолоджуючими речовинами за постійного розхилу поміж валками. Мастило з кращою

ефективністю забезпечує більшу витяжку зразків. Метод є простим щодо виконання, не потребує використання силовимірювальної та тензометричної апаратури й дозволяє в деякій мірі класифікувати мастила. В подальшому цей метод вдосконалили з метою підвищення його чутливості, використовуючи обтиснення, які дають можливість прокатувати зразки до мінімальної товщини. При цьому вважають, що мінімальною товщиною є товщина, що є прямо пропорційною відносно ефективного коефіцієнта тертя в осередку деформації.

Проте розглянуті та інші подібні методи не дають кількісної оцінки ефективності дії мастила у процесі прокатки.

*Основна частина досліджень.* До основи запропонованого метода дослідження ефективності технологічних мастил було покладено загальноприйнятий у теорії обробки металів тиском закон постійності об'єму деформованого метала, тобто:

$$V_1 = V_0 = \text{const} , \quad (1)$$

де  $V_0, V_1$  - об'єми зразка відповідно до та після прокатки.

Розміри зразків відповідно до і після прокатки позначають як  $H_0$  і  $h_1$  (товщина),  $B_0$  і  $b_1$  (ширина),  $L_0$  і  $l_1$  (довжина). Із рівняння (1) можна записати

$$H_0 \cdot B_0 \cdot L_0 = h_1 \cdot b_1 \cdot l_1 . \quad (2)$$

Поділивши праву та ліву частини співвідношення (2) на його ліву частину отримують:

$$\frac{H_0 \cdot B_0 \cdot L_0}{H_0 \cdot B_0 \cdot L_0} = \frac{h_1}{H_0} \cdot \frac{b_1}{B_0} \cdot \frac{l_1}{L_0} \quad (3)$$

або

$$\frac{h_1}{H_0} \cdot \frac{b_1}{B_0} \cdot \frac{l_1}{L_0} = 1 . \quad (4)$$

Приймають, що

$$\frac{h_1}{H_0} = \eta ; \quad \frac{b_1}{B_0} = \beta ; \quad \frac{l_1}{L_0} = \mu \quad (5)$$

Із співвідношень (4) і (5) можна записати

$$\eta \cdot \beta \cdot \mu = 1 , \quad (6)$$

де  $\eta, \beta, \mu$  - відповідно коефіцієнти висотної, поперечної та поздовжньої деформації.

Прокатуючи зразки з різними мастилами спочатку для кожної МОР, з використанням співвідношень (5) визначають коефіцієнти деформації, адекватність дослідів і розрахунків контролюються за формулою (6).

Завдяки тому, що холодна прокатка є двомірною, коефіцієнт поперечної деформації  $\beta$  у всіх випадках дорівнює одиниці. Коефіцієнт ефективності мастил  $K_{ef}$  визначають методом порівняння, прийнявши за базовий варіант значення коефіцієнтів деформації під час прокатки на сухих валках.

Коефіцієнти ефективності по показникам:

- витяжки металу

$$K_{\mu 2} = \frac{\mu_2}{\mu_1} ; \quad K_{\mu 3} = \frac{\mu_3}{\mu_1} ; \quad K_{\mu 4} = \frac{\mu_4}{\mu_1} ; \quad (7)$$

- обтиснення метала

$$K_{\eta 2} = \frac{\eta_1}{\eta_2} ; K_{\eta 3} = \frac{\eta_1}{\eta_3} ; K_{\eta 4} = \frac{\eta_1}{\eta_4} . \quad (8)$$

Коефіцієнти ефективності мастила за показниками формозміни:

$$\left. \begin{aligned} K_{ef1} &= \eta_1 \cdot \mu_1 = 1 \\ K_{ef2} &= K_{\eta 2} \cdot K_{\mu 2} \\ K_{ef3} &= K_{\eta 3} \cdot K_{\mu 3} \\ \dots\dots\dots \\ K_{efi} &= K_{\eta i} \cdot K_{\mu i} \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Для апробації розробленої методики кількісної порівняльної ефективності технологічних мастил використовували зразки маловуглецевої сталі розмірами:  $H_0 = 0,8$  мм;  $B_0 = 30$  мм;  $L_0 = 350 \dots 400$  мм у нагартваному стані. Перед прокаткою зразки піддавали знежирюванню та ретельно сушили. Твердість зразків металу становила в межах  $HRB = 68 \dots 72$  (за Роквеллом).

Прокатку виконували на стані ДУО у валках з діаметром і довжиною бочки відповідно 50 і 100 мм. Валки виконано із сталі 9ХН, бочки шліфовано до 9-го класу чистоти поверхні. На бочку верхнього валка по колу нанесено кернові мітки з відстанню поміж ними 50 мм. Колова швидкість валків складала 3,10 м/хв. (0,05 м/с).

У кожному з чотирьох варіантів (див. табл. 1) прокатували три зразки, розміри яких вимірювали до та після прокатки. Деформація була двомірною, тобто без розширення метала. Коефіцієнт тертя визначили на базі цих же прокаток за випередженням металу  $S$ , яке, в свою чергу, обчислюють за керновим методом [3] як

$$S = \frac{L_{me} - L_e}{l_e} , \quad (10)$$

де  $L_{me}, L_e$  – відстань поміж керновими мітками відповідно на валку ( $l = 50$  мм) і поверхні зразка.

Для холодної прокатки за відсутності розширення металу випередження визначають за формулою Фінка-Дрездена:

$$S = \frac{R \cdot \gamma^2}{h_1} . \quad (11)$$

Звідки кут критичного перерізу  $\gamma$ :

$$\gamma = \left( \frac{S \cdot h_1}{R} \right)^{0,5} , \quad (12)$$

де  $h_1$  – товщина зразка після прокатки;  $R$  – радіус бочки валка.

Визначивши значення  $S$  за співвідношенням (10), кута  $\gamma$  за формулою (12) та користуючись формулою Екелунда-Павлова, розраховували коефіцієнт тертя  $f$ :

$$f = \frac{\psi \cdot \alpha}{1 - (2\gamma / \alpha)} , \quad (13)$$

де  $\alpha = (\Delta h / R)^{0,5}$ .

Коефіцієнт положення рівнодійної сил в осередку деформації (коефіцієнт плеча моменту) за даними М.М. Саф'яна [4, стор. 273] під час холодної прокатки штаб із

маловуглецевої сталі складає в середньому 0,19...0,24, причому його значення збільшується за зменшенням співвідношення  $l/h_{сер}$ .

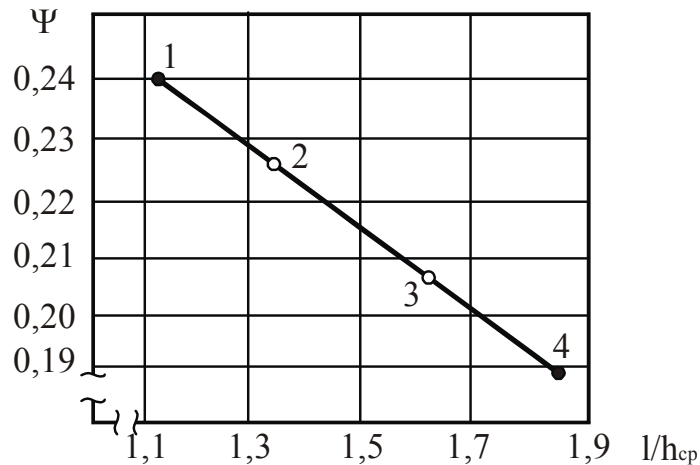
Визначили довжину осередку деформації  $l$ :

$$l = (\Delta h \cdot R)^{0,5}, \quad (14)$$

середню товщину зразка в процесі прокатки:

$$h_{сер} = 0,5 (H_0 + h_1), \quad (15)$$

а також співвідношення  $l_0/h_{сер}$  та побудували за одержаними даними екстраполяційний графік (рис. 1), відповідно до якого  $\psi_1 = 0,24$ ;  $\psi_2 = 0,227$ ;  $\psi_3 = 0,206$ ;  $\psi_4 = 0,19$ .



**Рисунок 1** – Залежність коефіцієнта плеча моменту  $\psi$  від параметра форми осередку деформації  $l/h_{сер}$

Результати експериментів та розрахунків наведені в табл. 1 і 2. Із табл. 2 видно, що значення коефіцієнтів тертя, які отримано у приведених експериментах майже співпадають із даними О.П. Грудєва [2], тобто відповідають загальноприйнятим у теорії прокатки значенням коефіцієнта тертя. Порівняння значень коефіцієнтів тертя  $f$  (табл. 2) і коефіцієнтів ефективності мастила  $K_{эф}$  (табл. 1) свідчить про те, що чим менше коефіцієнт тертя, тим більше коефіцієнт ефективності мастила.

**Таблиця 1** – Параметри прокатки зразків з різними мастилами і коефіцієнти ефективності мастил

| Мастило  | Розміри зразків, мм |       |                |       | Коефіцієнти деформації |       | Коефіцієнти ефективності мастил |          |          |
|----------|---------------------|-------|----------------|-------|------------------------|-------|---------------------------------|----------|----------|
|          | до прокатки         |       | після прокатки |       | $\eta$                 | $\mu$ | $K_\mu$                         | $K_\eta$ | $K_{эф}$ |
|          | $H_0$               | $L_0$ | $h_1$          | $l_1$ |                        |       |                                 |          |          |
| СВ       | 0,78                | 100   | 0,75           | 103,9 | 0,962                  | 1,04  | 1,0000                          | 1,0000   | 1,000    |
| М-І23    | 0,78                | 100   | 0,74           | 104,8 | 0,949                  | 1,05  | 1,0096                          | 1,0137   | 1,023    |
| Емульсія | 0,79                | 100   | 0,73           | 107,9 | 0,924                  | 1,08  | 1,0385                          | 1,0411   | 1,081    |
| БП       | 0,78                | 100   | 0,72           | 111,0 | 0,900                  | 1,11  | 1,0673                          | 1,0689   | 1,141    |

Примітка: СВ - сухі валки; МІ23 - масло мінеральне індустріальне І23;  
Емульсія - емульсола Е-2Б концентрацією 10 %;  
БП - бавовняне полімеризоване масло

**Таблиця 2** – Параметри осередку деформації, кінематики прокатки та коефіцієнти деформації

| Мас-тило | Випередження $S$ | Параметри осередку деформації |                |             |          |          |        | Коефіцієнт тертя $f^*$ |
|----------|------------------|-------------------------------|----------------|-------------|----------|----------|--------|------------------------|
|          |                  | $l$ , мм                      | $h_{сер}$ , мм | $l/h_{сер}$ | $\alpha$ | $\gamma$ | $\psi$ |                        |
| СВ       | 0,009            | 0,87                          | 0,765          | 1,137       | 0,035    | 0,016    | 0,240  | 0,098 / 0,104          |
| М-123    | 0,012            | 1,00                          | 0,760          | 1,316       | 0,043    | 0,019    | 0,227  | 0,089 / 0,086          |
| Емульсія | 0,014            | 1,22                          | 0,76           | 1,605       | 0,049    | 0,020    | 0,206  | 0,055 / 0,050          |
| БП       | 0,016            | 1,41                          | 0,76           | 1,855       | 0,057    | 0,023    | 0,190  | 0,036 / 0,034          |

Примітка: \* у чисельнику - значення коефіцієнта  $f$  за даними О.П. Грудєва; у знаменнику - значення коефіцієнта  $f$ , що одержано авторами

*Висновки.* Розроблено та експериментально апробовано просту модель визначення ефективності технологічного мастила за показниками формозміни. Адекватність моделі доводить кореляцією значень коефіцієнтів тертя та коефіцієнтів ефективності мастила. Розроблена модель використовується в учбовому процесі та за простотою виконання може застосуватися безпосередньо на промислових станах прокатки листів і штаб.

#### ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРИ

1. Робертс, В. Холодная прокатка стали [Текст] / В. Робертс. – М. : Металлургия, 1982. – 544 с. – Библиогр. : с. 540-543.
2. Грудєв, А. П. Технологические смазки в прокатном производстве [Текст] / А. П. Грудєв, В. Т. Тилик. – М. : Металлургия, 1975. – 368 с. – Библиогр. : с. 362-367.
3. Серєда, Б. П. Теорія прокатного та трубного виробництва [Текст] : методичні вказівки до лабораторного практикуму / Б. П. Серєда, М. Г. Прицип. – Запоріжжя : ЗДІА, 2004. – 42 с. – Библиогр. : с. 40-41.
4. Теорія прокатки [Текст] : справочник / А. И. Целиков, А. Д. Томленова, В. И. Зюзин и др. – М. : Металлургия, 1982. – 335 с. – Библиогр. : с. 332-334.