

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ

Визначення коефіцієнта тертя в усталеній стадії гарячої прокатки

1 Загальні відомості

Для характеристики та оцінки тертя використовують відомі закони Г.Амонтона:

$$T = fP \quad (8)$$

або

$$\tau = f_n p \quad (9)$$

і Е.Зібеля:

$$\tau = f_n \sigma_\phi \quad (10)$$

де T - сила тертя;

P - нормальна сила;

τ - питома сила тертя;

f - коефіцієнт тертя;

f_n - показник тертя;

σ_ϕ - опір метала деформації;

p - нормальний питомий тиск в осередку деформації.

Думка більшості вчених в царині теорії ОМТ однозначна – закон Е.Зібеля більш точно відповідає фізичній сутності тертя. Пояснюється це тим, що поява самих сил тертя пов'язується

безпосередньо із пластичною деформацією поверхневих прошарків металу.

Розглянемо сукупно закони тертя Амонтона і Зібеля. Для цього, прирівнявши праві частини (9) і (10), (їх ліві частини однакові), отримаємо:

$$fp = f_n \sigma_\phi \quad (11)$$

Звідси маємо

$$f_n = f \frac{p}{\sigma_\phi} \quad (12)$$

Завдяки тому, що в процесах прокатки завжди $p > \sigma_\phi$, $f_n > f$.

Розрахунки коефіцієнтів тертя під час як гарячої так і холодної прокатки в усталеному процесі базується на використанні закону Е.Зібеля та взаємозв'язку коефіцієнта і показника тертя, яка відображається виразом (12).

2 Алгоритм розрахунку коефіцієнта тертя в процесі гарячої прокатки

Коефіцієнт тертя f визначається на базі лабораторних і промислових досліджень по емпіричним формулам, яка для гарячої прокатки має вигляд [2]:

$$f = f_0 K_T K_V K_B K_M K_\varepsilon K_{MC} \quad (13)$$

де f_0 - базовий коефіцієнт тертя, який визначається в залежності від температури металу під час прокатки t .

$$f_0 = 0,27 - 0,1(t/400 - 2)^2 \quad (14)$$

де t - температура металу під час прокатки.

$K_T K_V K_B K_M K_\varepsilon K_{MC}$ - поправні коефіцієнти, які враховують відповідно вплив твердості валків, швидкості валків або прокатки, стан поверхні бочок валків, матеріалу штаби, відносного обтиску і технологічного мастила.

$$K_T = 1 + 0,43(1 - HSD/65)^2 \quad (15)$$

де HSD - твердість валків по Шору.

за $v < 10$ м/с

$$K_v = 0,76 + 0,82(1,02 - 0,102v)^2 \quad (16)$$

за $v > 10$ м/с

$$K_v = 0,76$$

де v - швидкість прокатки, м/с.

Значення коефіцієнтів K_B , K_{MC} і K_M можна приймати по рекомендаціям [2] наступними:

<u>Характеристика поверхні бочок валків</u>	<u>- K_B</u>
Чавунні відбілені валки	- 0,75
Чавунні і сталеві валки після двох годин роботи	- 1,0
Сталеві валки з насіченими дробом бочками	- 1,20-1,40
<u>Тип технологічного мастила</u>	<u>- K_{MC}</u>
Без мастила	- 1,15

Вода	– 1,0
Емульсія мінерального масла	– 0,9
Емульсія полімеризованого бавовняного масла	– 0,8
<u>Матеріал штаби (марка сталі)</u>	<u>– K_M</u>
Ст.08, 08КП, 08ПС, 08ПСН, 08Ю, Ст.3, ШХ15	– 1,0
Ст.10, Ст.20, Х18Н9	– 0,95
Ст.45, ЭИ-94	– 0,90
30ХГСА, 25ХГСА, А12	– 0,85
У10, У12, А20	– 0,80
1Х18Н9Т, 12Х18Н10Т, 45Г17Ю3, ЭИ-654	– 1,08
1Х17Н2, Х17, Х20	– 1,15
Х25Т	– 1,25

Коефіцієнт впливу відносного обтиску K_ϵ приймається
 наступним:

$$K_\epsilon = 0,90 - 1,0 \text{ за } \epsilon \leq 30\%; K_\epsilon = 1,0 - 1,2 \text{ за } \epsilon > 30\%$$

Визначавши f по (13), показник тертя f_n визначається із
 співвідношення:

$$f_n = 1,6f - 0,033 \quad (17)$$

3 Вихідні дані (по варіантам) для розрахунку параметрів тертя під час гарячої прокатки

Визначити базовий коефіцієнт тертя f_0 , коефіцієнт тертя f і показник тертя f_n під час прокатки в семиклітьовій чистовій групі неперервного стана гарячої прокатки 2000 для умов:

- валки чавунні після двох годин роботи;
- технологічне мастило (охладжувач валків – вода);
- твердість бочок валків 70 одиниць *HSD*;
- швидкість прокатки $v > 10$ м/с;
- відносний обтиск $> 30\%$.

Таблиця 2 - Індивідуальні вихідні дані відповідно варіанта

№ варіанта	Температура метала, °C		Марка сталі
	На початку прокатки t_{nn}	В кінці прокатки t_{kn}	
1/16	1020/1000	900/880	ЭИ-94/Ст.10
2/17	1010/995	890/870	Ст.08/X17
3/18	1050/1045	940/935	08ПС/У10
4/19	1040/1035	938/930	08ПСН/У12
5/20	1030/1020	930/890	08Ю/А12
6/21	1000/990	886/840	Ст.3/Ст.45
7/22	985/1015	820/860	30ХГСА/А20
8/23	1005/1012	870/830	У12/ЭИ-654
9/24	1035/1018	825/845	Х25Т/1Х18Н10Т
10/25	1025/1028	850/856	Ст.10/Х17
11/26	1038/1042	862/874	Ст.20/Х20
12/27	1055/1060	878/882	У10/25ХГСА
13/28	1063/1068	893/840	45Г17Ю3/Ст.3
14/29	1053/1070	820/840	12Х18Н10Т/Ст.08
15/30	1065/1080	850/860	ШХ15/25ХГСА

4 Приклад розрахунку до задачі №2

Вихідні дані:

- кількість клітей неперервної чистової групи стана гарячої прокатки – 7;
- валки чавунні після двох годин роботи, тому $K_B=1$;
- мастило – охолоджувальна рідина – вода, для якої коефіцієнт (вода) мастила $K_{MC}=1,0$;
- твердість бочок валків 70 HSD, тому по (15)
 $K_T = 1 + 0,43(1 - HSD/65)^2 = 1,0 + 0,43(1 - 70/65)^2 = 1,0$;
- швидкість прокатки $v > 10$ м/с, тому коефіцієнт $K_v=0,76$;
- відносний обтиск $> 30\%$, тому $K_\epsilon=1,2$;
- температура початку прокатки $T_{пп}=1150^\circ\text{C}$;
- температура кінця прокатки $T_{кп}=910^\circ\text{C}$;
- марка сталі 1X17H2, тому $K_M=1,15$.

Визначаємо зменшення температури поміж клітями Δt_i внаслідок охолодження металу за виразом (7):

$$\Delta t_i = \frac{t_{nn} - t_{кп}}{i - 1}$$

де i – кількість клітей

$$\Delta t_i = \frac{1150 - 910}{7 - 1} = 40^\circ\text{C}$$

Температура метала по клітям:

$$t_1 = t_{mn} = 1150 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_2 = t_1 - \Delta t = 1150 - 40 = 1110 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_3 = t_2 - \Delta t = 1110 - 40 = 1070 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_4 = t_3 - \Delta t = 1070 - 40 = 1030 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_5 = t_4 - \Delta t = 1030 - 40 = 990 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_6 = t_5 - \Delta t = 990 - 40 = 950 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_7 = t_{kn} = t_6 - \Delta t = 950 - 40 = 910 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Визначаємо базовий коефіцієнт тертя по формулі (14):

$$f_{01} = 0,27 - 0,1\left(\frac{t_1}{400} - 2\right)^2 = 0,27 - 0,1\left(\frac{1150}{400} - 2\right)^2 = 0,193$$

$$f_{02} = 0,27 - 0,1\left(\frac{1110}{400} - 2\right)^2 = 0,21$$

$$f_{03} = 0,27 - 0,1\left(\frac{1070}{400} - 2\right)^2 = 0,22$$

$$f_{04} = 0,27 - 0,1\left(\frac{1030}{400} - 2\right)^2 = 0,24$$

$$f_{05} = 0,27 - 0,1\left(\frac{990}{400} - 2\right)^2 = 0,25$$

$$f_{06} = 0,27 - 0,1\left(\frac{950}{400} - 2\right)^2 = 0,26$$

$$f_{07} = 0,27 - 0,1\left(\frac{910}{400} - 2\right)^2 = 0,27$$

По формулі (13) визначаємо коефіцієнт тертя:

$$f = f_0 K_T K_V K_B K_M K_\varepsilon K_{MC}$$

$$f_1 = 0,193 \cdot 1,0 \cdot 0,76 \cdot 1,2 \cdot 1,15 \cdot 1,2 \cdot 1,0 \approx 0,24$$

$$f_2 = 0,21 \cdot 1,0 \cdot 0,76 \cdot 1,2 \cdot 1,15 \cdot 1,2 \cdot 1,0 \approx 0,26$$

$$f_3 = 0,22 \cdot 1,0 \cdot 0,76 \cdot 1,2 \cdot 1,15 \cdot 1,2 \cdot 1,0 \approx 0,28$$

$$f_4 = 0,24 \cdot 1,0 \cdot 0,76 \cdot 1,2 \cdot 1,15 \cdot 1,2 \cdot 1,0 \approx 0,30$$

$$f_5 = 0,25 \cdot 1,0 \cdot 0,76 \cdot 1,2 \cdot 1,15 \cdot 1,2 \cdot 1,0 \approx 0,32$$

$$f_6 = 0,26 \cdot 1,0 \cdot 0,76 \cdot 1,2 \cdot 1,15 \cdot 1,2 \cdot 1,0 \approx 0,33$$

$$f_7 = 0,27 \cdot 1,0 \cdot 0,76 \cdot 1,2 \cdot 1,15 \cdot 1,2 \cdot 1,0 \approx 0,34$$

Показники тертя визначаємо за виразом (17):

$$f_n = 1,6 f - 0,033$$

$$f_{n1} = 1,6 \cdot 0,24 - 0,033 = 0,35$$

$$f_{n2} = 1,6 \cdot 0,26 - 0,033 = 0,38$$

$$f_{n3} = 1,6 \cdot 0,28 - 0,033 = 0,42$$

$$f_{n4} = 1,6 \cdot 0,30 - 0,033 = 0,45$$

$$f_{n5} = 1,6 \cdot 0,32 - 0,033 = 0,49$$

$$f_{n6} = 1,6 \cdot 0,33 - 0,033 = 0,52$$

$$f_{n7} = 1,6 \cdot 0,34 - 0,033 = 0,54$$

Результати розрахунків зводимо в табл. 1.

Таблиця 1 - Результати визначення параметрів тертя під час гарячої прокатки сталі 1X17H2

№ кліті	Температура металу t , °C	Параметри тертя		
		f_0	f	f_n
1	1150	0,19	0,24	0,35
2	1110	0,21	0,26	0,38
3	1070	0,22	0,28	0,42
4	1030	0,24	0,30	0,45
5	990	0,25	0,32	0,49
6	950	0,26	0,33	0,52
7	910	0,27	0,34	0,54

По результатам розрахунків будуюмо графіки $f_0, f_1, f_n = \text{функція}(t)$:

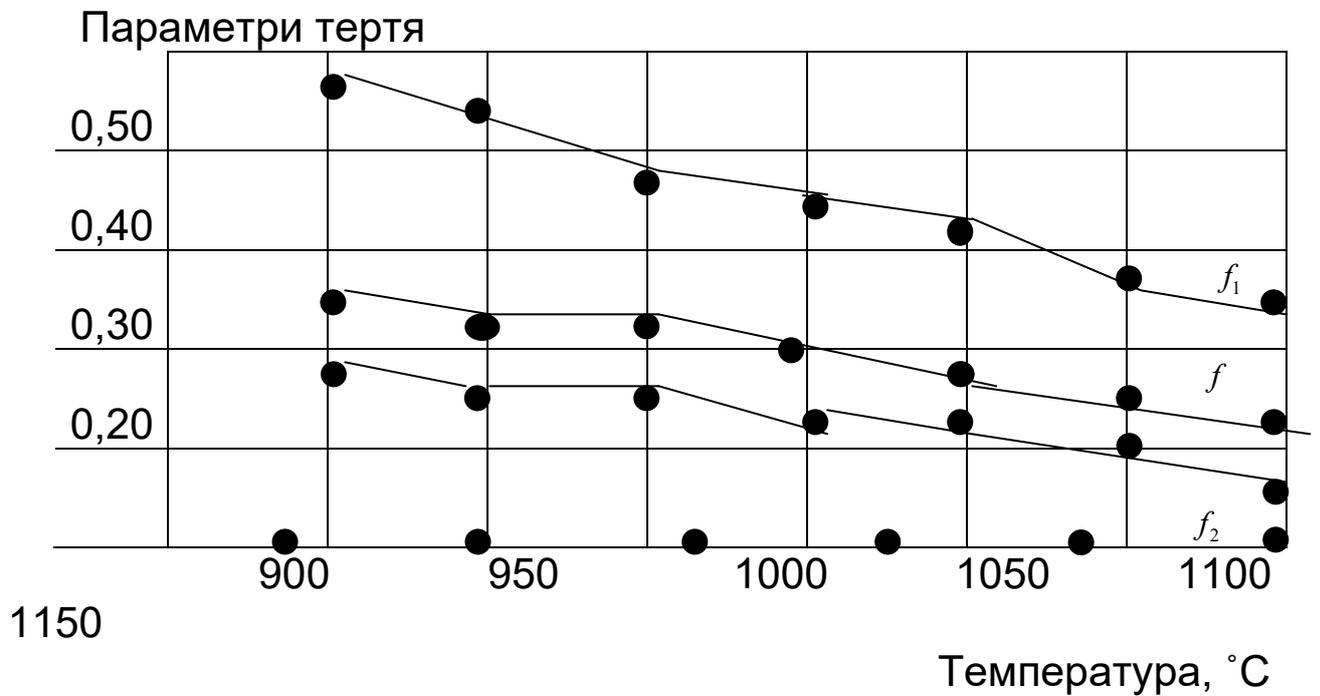


Рисунок 1 - Залежність параметрів тертя від температури металу під час прокатки

По результатам розрахунків зробити висновки і пояснити отримані результати.