

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ

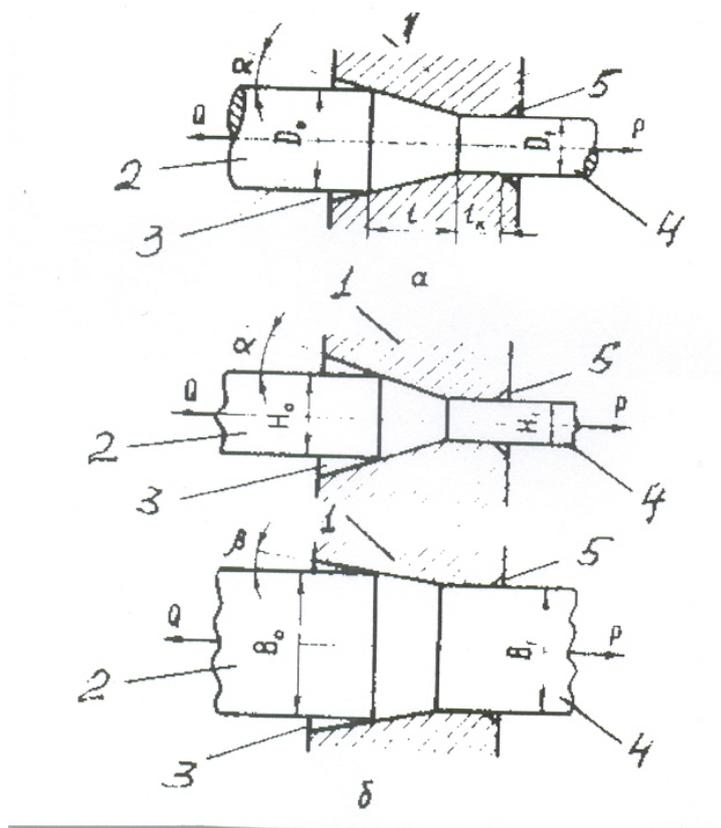
Визначення параметрів тертя та змащування при волочинні метала

1 Умови тертя під час волочиння метала з мастилом

Під час волочиння круглого або прямокутного профілю попередньо загострений передній кінець штаби проштовхується через робочий канал волоки, а потім протягується через волоку силою волочиння P (рис.1). В процесі волочиння діаметр круглого профілю зменшується з початкової величини D_0 до кінцевої – D_1 (а на рис.1). При волочинні прямокутних профілів (б на рис.3) товщина H_0 і ширина заготовки B_0 зменшуються відповідно до H_1 і B_1 . При цьому, завдяки зменшенню площі поперечного перерізу, збільшується довжина протягнутого профілю і швидкість металу на виході із робочого каналу волоки.

Під час протягування через волоку метал, деформується в холодному стані, зміцнюється внаслідок нагартування. Для зменшення сил тертя, виникаючих на контакті поверхонь профілю і каналу волоки, тобто в осередку деформації, застосовують технологічне мастило, Мастило подають у волоку зі сторони входу метала в канал. Затягування мастила в осередок деформації полегшується завдяки вхідній розпушці каналу волоки. За рахунок зниження сил контактного тертя, тобто завдяки технологічному мастилу, зменшують силу

волочиння P , отримують на протягнутих профілях гладеньку блискучу поверхню та зменшують зношування робочого каналу волоки. Окрім того, технологічне мастило дозволяє вести процес волочіння на підвищених швидкостях і з великими обтисками метала.



P – сила волочіння;
 Q – сила протитягу;
 l – довжина робочого конуса волоки;
 l_k – довжина калібруючого пояска.

1 – волока; 2 – заготовка; 3 – вхідна розпушка; 4 – протягнутий профіль; 5 – вихідна розпушка

Рисунок 1 - Схема волочіння круглого (а) і прямокутного (б) профілю

Тип технологічного мастила, в основному, залежить від діаметра і матеріала деформуемого дрота, вибирається дослідним шляхом. При дослідях ефективність мастила

визначають шляхом виміру зусиль та розрахунку напруг волочіння і коефіцієнтів тертя. Чим менші напруги волочіння і коефіцієнти тертя, тим більш ефективним є мастило. Однією із умов застосування того чи іншого типу мастила є схоплення мастила із поверхнею дроту. Для полегшення адсорбції мастила на поверхні дротів спочатку метал спеціально покривають підмастильним шаром шляхом оміднювання, фосфатування, а потім замочування у мильній емульсії.

Мастила для волочіння поділяють на типи [7]:

- тверді: вапнякові, фосфатні, висушена оліфа у вигляді масляної плівки та металеві покриття із свинцю або міді;
- порошкоподібні: порошки натрієвого мила і графіту;
- густі желеподібні: солі жирних кислот, тверді жири, мінеральні масла вапор і мазут; гідрогенізовані або полімерізовані рослинні масла і бджолиний віск для волочіння срібла, золота і платини;
- рідкі: легкі мінеральні масла (машинне, трансформаторне, індустриальне та ін.); емульсії на основі порошку натрієвого мила, мінерального масла або синтетичних жирних кислот.

Наведемо деякі приклади застосування мастила у найбільш поширених процесах волочіння.

При волочінні алюмінієвого дроту і труб, поверхня яких не утворює адсорбційного шару, застосовують високов'язкі мастила, такі як вапор Т, мазут і мастила, які складаються із

70-95% мінерального масла індустриальне та загусника полізобутілена.

Бунтове волочіння сталевих дротів діаметрами 1-14 мм виконують з технічним мастилом – порошок натрієвого мила. Дроти діаметром менше 1 мм (волочіння із ковзанням) протягують з рідкими технологічними мастилами.

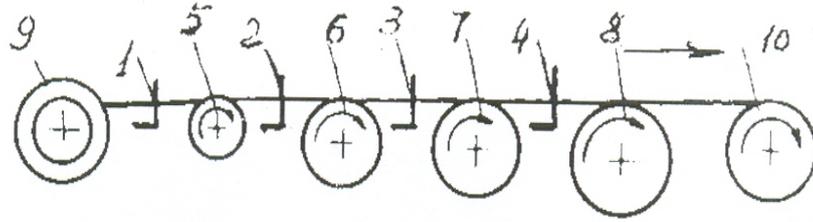
Таблиця 1 - Розрахункові значення коефіцієнта тертя, отримані зворотнім перерахунком по силі волочіння P при протягуванні дроту з мастилом – порошок натрієвого мила

Матеріал дроту	Коефіцієнт тертя, f	
	по формулі Перліна	по формулі Зібеля
Сталь маловуглецева	0,05-0,06	0,07-0,09
Сталь нержавіюча	0,07-0,08	0,095-0,115

Коефіцієнт тертя визначають методом зворотнього перерахунку напруги волочіння по теоретичним формулам. Для орієнтації при вирішенні задачі №4 в табл.1 наведені коефіцієнти тертя, визначені вищевказаним методом.

2 Алгоритм розрахунку коефіцієнта тертя при протягуванні дроту на багатократному волочильному стані

Схема процесу багатократного волочіння наведена на рис.2.



1,2,3 і 4 – порядкові номери волок; 5,6,7 і 8 – порядкові номери тягнучих барабанів; 9 і 10 – відповідно розмотувальна вхідна та змотувальна вихідна катушка; стрілка – напрямок волочіння

Рисунок 2 - Схема волочіння на чотирикратному стані

Позначимо діаметри дроту:

на вході відповідно у волокни 1,2,3 і 4:

$$d_0, d_1, d_2, d_3;$$

на виході із волок відповідно 1,2,3 і 4:

$$d_1, d_2, d_3, d_4.$$

Тоді коефіцієнти витяжки металу μ відповідно у волоках 1,2,3 і 4 будуть дорівнювати:

$$\mu_1 = F_0 / F_1$$

$$\mu_2 = F_1 / F_2$$

$$\mu_3 = F_2 / F_3 \tag{28}$$

$$\mu_4 = F_3 / F_4$$

де F_i – площа поперечного перерізу дроту на вході в i -ту волоку;

F_i – те ж саме на виході із відповідної волоки;

i – порядковий номер волоки.

Виразимо площі через діаметри:

$$\begin{aligned}F_0 &= \pi d_0^2 / 4; \\F_1 &= \pi d_1^2 / 4; \\F_2 &= \pi d_2^2 / 4; \\F_3 &= \pi d_3^2 / 4; \\F_4 &= \pi d_4^2 / 4.\end{aligned}\tag{29}$$

Скориставшись (29) із (28) отримаємо:

$$\begin{aligned}\mu_1 &= d_0^2 / d_1^2; \\ \mu_2 &= d_1^2 / d_2^2; \\ \mu_3 &= d_2^2 / d_3^2; \\ \mu_4 &= d_3^2 / d_4^2.\end{aligned}\tag{30}$$

або в загальному вигляді для стана і-кратного волочіння:

$$\begin{aligned}\mu_1 &= d_0^2 / d_1^2; \\ \mu_2 &= d_1^2 / d_2^2; \\ &\dots\dots\dots \\ \mu_i &= d_{i-1}^2 / d_i^2.\end{aligned}\tag{31}$$

Для синхронізації роботи тягучих барабанів волочильних барабанів, коефіцієнти витяжки і швидкості волочіння вибирають із умови постійності секундних об'ємів металу в кожен даний момент протягування дроту, тобто для стана, наведеного на мал.4:

$$F_1 v_1 = F_2 v_2 = F_3 v_3 = F_4 v_4\tag{32}$$

де F_1, F_2, F_3, F_4 - площі поперечних перерізів дроту на виході із волок 1,2,3,4;

v_1, v_2, v_3, v_4 - швидкості металу на виході відповідно із волок 1,2,3 і 4.

Вираз (32) для стана і-кратного волочіння записується у вигляді:

$$F_1 v_1 = F_2 v_2 = \dots = F_i v_i \quad (33)$$

перемноживши праві і ліві частини виразів (30), отримаємо:

$$\mu_1 \cdot \mu_2 \cdot \mu_3 \cdot \mu_4 = \frac{d_0^2}{d_1^2} \cdot \frac{d_1^2}{d_2^2} \cdot \frac{d_2^2}{d_3^2} \cdot \frac{d_3^2}{d_4^2} \quad (34)$$

де

$$\mu_1 \cdot \mu_2 \cdot \mu_3 \cdot \mu_4 = \mu_\Sigma \quad (35)$$

де μ_Σ - підсумкова загальна витяжка дроту при волочінні через усі волокни.

Провівши скорочення в правій частині (34), із (34) і (35) отримаємо:

$$\mu_\Sigma = \frac{d_0^2}{d_4^2} \quad (36)$$

або в загальному вигляді для і-кратного стана:

$$\mu_\Sigma = d_0^2 / d_i^2 \quad (37)$$

Коефіцієнти витяжки металу за перехід μ , кут волочіння α вибирається в залежності від діаметра дроту по практичним даним (табл.2).

Таблиця 2 - Параметри волочіння дроту із вуглецевих і нержавіючих сталей [8]

Сталь	Діаметр дроту на виході із волоки, мм	Коефіцієнт витяжки За перехід		Напівкут волочіння α , град	
		сталь вуглецева	сталь нержавіюча	сталь вуглецева	сталь нержавіюча
Мало- і середньо-вуглецева	0,2-0,5	1,14-1,32	1,12-1,22	3-4	2-4
	0,6-1,0	1,16-1,35	1,15-1,25	4-5	3-5
	1,2-2,0	1,19-1,37	1,18-1,30	5-6	4-6
	2,1-3,0	1,22-1,41	1,20-1,35	6-7	5-7
	3,1-5,0	1,25-1,43	1,22-1,38	7-8	6-8
	5,2-7,3	1,28-1,51	1,25-1,40	8-10	7-9

Вибравши витяжки для заданого профіля діаметром d_i та знаючи кількість барабанів (волок) стана, визначають μ_Σ по виразу (35) і діаметр гарячекатаного дроту (заготовки) із (36).

$$d_0 = \sqrt{\mu_\Sigma d_i^2} \quad (38)$$

Вимірявши сили волочіння в кожній із волок визначають напругу волочіння $\sigma_{вл.i}$:

$$\sigma_{вл.i} = P_i / F_{i1} = 4P_i / \pi d_i^2 \quad (39)$$

Користуючись теоретичними формулами Зібеля для визначення напруги волочіння, отримана формула для розрахунку коефіцієнта тертя f :

Формула Зібеля:

$$f = \left(\frac{\sigma_{вл} / \sigma_{Tcp} - 0,67\alpha}{\varepsilon} - 1 \right) \cdot \alpha \quad (40)$$

де $\sigma_{вл}$ - напруга волочіння, визначена по (38) Мпа (Н/мм²);

σ_{Tcp} - середня границя текучості метала в осередку деформації, Мпа (Н/мм²);

ε - відносний обтиск метала

α - напівкут робочого конуса (по табл.2).

Відносний обтиск при волочінні ε визначають по співвідношенню:

$$\varepsilon = \frac{F_{i-1} - F_i}{F_{i-1}} \quad (41)$$

де F_{i-1} і F_i – площа поперечного перерізу дроту відповідно на вході і на виході із волоки.

Підставивши значення площ відповідних перерізів ($F = \pi d^2 / 4$), скоротивши подібні члени і провівши почленне ділення, отримаємо:

$$\varepsilon = \frac{\pi d_{i-1}^2 / 4 - \pi d_i^2 / 4}{\pi d_{i-1}^2} = \left(1 - \frac{d_i^2}{d_{i-1}^2} \right) \quad (42)$$

Середню границю текучості σ_{Tcp} в осередку деформації

σ_{Tcp} під час волочіння визначають за формулою:

$$\sigma_{Tcp_i} = \sigma_{T_{i-1}} + 0,67 (\sigma_{T_{i-1}} - \sigma_{T_i}) \quad (43)$$

де $\sigma_{T_{i-1}}$ - границя текучості металу перед волокою

σ_{T_i} - границя текучості після протягування металу

через волоку.

Границі текучості можливо визначати доволі складним розрахунковим методом по хімічному складу метала. Доволі просто границя текучості визначається по графікам зміцнювання металу під час деформації. На рис.3 наведені дані автора [9], отримані для маловуглецевих (Ст.08, 08ПС, 08Ю, 08ПСН, Ст.0, Ст.1ПС) і нержавіючої сталі (12Х18Н10Т).

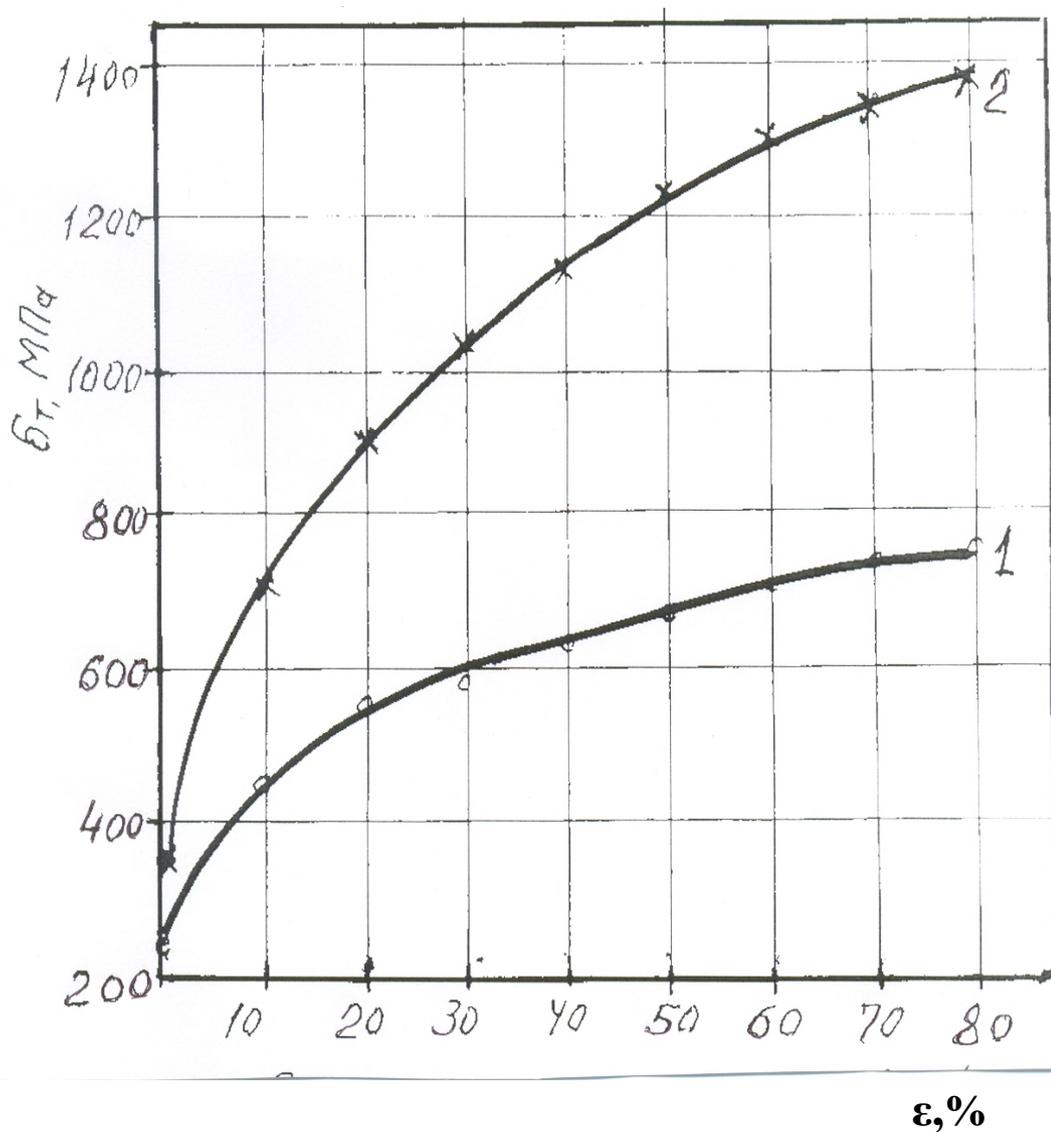


Рисунок 3 - Залежність границі текучості σ_T від відносного обтиску ϵ : 1-маловуглецева сталь, 2-нержавіюча сталь

Користування графіком рис.3 буде пояснено далі в прикладі вирішення задачі №4.

3 Варіанти завдань до задачі №4

Визначити коефіцієнт тертя по формулі Зібеля під час холодного волочіння дроту діаметром d_6 на п'ятикратному стані з твердим мастилом – порошок натрієвого мила за заданих сил волочіння $P_1 P_2 P_3 P_4 P_5$. Варіанти 1-15 сталь маловуглецева, варіанти 16-30 сталь нержавіюча.

Інші дані: $d_0, \mu_i, \varepsilon_i, \alpha_i, \alpha_{ni}, \sigma_{Ti}$ визначаються по методиці алгоритма розрахунку (див.п.2)

Таблиця 3 - Індивідуальні (по варіантам) вихідні дані до задачі №4

№ варіанта	Діаметр готового дроби d_6 , мм	Сила волочіння, кН				
		P_1	P_2	P_3	P_4	P_5
1/16	0,20/1,00	0,6/1,7	0,5/1,5	0,4/1,4	0,3/1,3	0,2/1,2
2/17	0,35/1,10	0,7/2,0	0,6/1,8	0,5/1,5	0,4/1,4	0,3/1,3
3/18	0,50/1,20	0,8/2,2	0,7/2,0	0,6/1,7	0,5/1,6	0,4/1,5
4/19	0,65/1,30	0,9/2,5	0,8/2,3	0,7/2,0	0,6/1,8	0,5/1,6
5/20	0,70/1,40	1,0/2,7	0,9/2,4	0,8/2,1	0,7/1,9	0,6/1,7
6/21	0,30/1,50	0,9/3,0	0,7/2,8	0,6/2,5	0,5/2,0	0,3/1,9
7/22	0,40/1,60	1,0/3,2	0,8/3,0	0,6/2,7	0,4/2,5	0,3/2,1
8/23	0,60/1,70	1,0/3,5	0,9/3,3	0,8/3,0	0,6/2,8	0,4/2,5
9/24	0,80/1,80	1,1/3,8	1,0/3,5	0,9/3,1	0,8/3,0	0,7/2,7
10/25	0,90/1,90	1,2/4,0	1,1/3,8	1,0/3,5	0,8/3,1	0,6/2,8

Продовження Таблиці 3

№ варіанта	Діаметр готового дроби d_6 , мм	Сила волочіння, кН				
		P_1	P_2	P_3	P_4	P_5
10/25	0,90/1,90	1,2/4,0	1,1/3,8	1,0/3,5	0,8/3,1	0,6/2,8
11/26	1,00/2,00	1,3/5,0	1,0/4,5	0,9/2,2	0,8/4,0	0,7/3,5
12/27	1,10/1,55	1,4/3,1	1,2/2,9	1,0/2,7	0,8/2,5	0,7/2,0
13/28	1,20/1,85	1,6/4,0	1,4/3,7	1,2/3,5	1,0/3,3	0,8/3,0
14/29	1,30/1,65	1,8/3,5	1,5/3,2	1,3/3,0	1,1/2,7	0,9/2,5
15/30	1,40/1,75	2,0/3,8	1,7/3,5	1,5/3,0	1,2/2,5	1,0/2,0

4 Приклад розрахунку до задачі №4

Визначити коефіцієнт тертя по формулі Зібеля під час холодного волочіння дроту діаметром $d_5=1,45$ мм із нержавіючої сталі на мастилi – порошок натрієвого мила при силах волочіння: $P_1=3,0$ кН; $P_2=2,8$ кН; $P_3=2,6$ кН; $P_4=2,4$ кН; $P_5=2,1$ кН.

1. Визначаємо розмірні і геометричні параметри волочіння:

Попередньо по табл.2 вибираємо коефіцієнти витяжки по переходам: $\mu_5 = 1,20$; $\mu_4 = 1,25$; $\mu_3 = 1,30$; $\mu_2 = 1,35$; $\mu_1 = 1,40$;

По формулі (35) визначаємо сумарний коефіцієнт витяжки μ_Σ :

$$\mu_\Sigma = \mu_1 \cdot \mu_2 \cdot \mu_3 \cdot \mu_4 \cdot \mu_5 = 1,40 \cdot 1,35 \cdot 1,30 \cdot 1,25 \cdot 1,20 = 3,6855$$

По формулі (37) визначаємо діаметр заготовки d_0 :

$$d_0 = \sqrt{\mu_{\Sigma} \cdot d_5^2} = \sqrt{3,6855 \cdot 1,45^2} = 2,78 \text{ мм}$$

Користуючись виразом (31) визначаємо діаметри дроту по переходам:

$$d_1 = \sqrt{\frac{d_0^2}{\mu_1}} = \sqrt{\frac{2,78^2}{1,4}} = 2,35 \text{ мм}$$

$$d_2 = \sqrt{\frac{d_1^2}{\mu_2}} = \sqrt{\frac{2,35^2}{1,35}} = 2,62 \text{ мм}$$

$$d_3 = \sqrt{\frac{d_2^2}{\mu_3}} = \sqrt{\frac{2,02^2}{1,3}} = 1,77 \text{ мм}$$

$$d_4 = \sqrt{\frac{d_3^2}{\mu_4}} = \sqrt{\frac{1,77^2}{1,25}} = 1,59 \text{ мм}$$

$$d_5 = \sqrt{\frac{d_4^2}{\mu_5}} = \sqrt{\frac{1,59^2}{1,2}} = 1,45 \text{ мм}$$

2. Відповідно розрахованим діаметром із табл.2 для нержавіючої сталі вибираємо напівкут робочого каналу волок $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \alpha_4 = \alpha_5 = 5^\circ$ або 0,0436 радіан.

3. Визначаємо відносні обтиски по переходам 1-5 по формулі (42):

$$\varepsilon_1 = \left(1 - \frac{d_1^2}{d_0^2}\right) = \left(1 - \frac{2,35^2}{2,78^2}\right) = 0,29$$

$$\varepsilon_2 = \left(1 - \frac{2,02^2}{2,35^2}\right) = 0,26$$

$$\varepsilon_3 = \left(1 - \frac{1,77^2}{2,02^2}\right) = 0,23$$

$$\varepsilon_4 = \left(1 - \frac{1,59^2}{1,77^2} \right) = 0,20$$

$$\varepsilon_5 = \left(1 - \frac{1,45^2}{1,59^2} \right) = 0,17$$

4. Визначаємо напруження волочіння $\sigma_{вл}$ по формулі (43):

$$\sigma_{вл_1} = 4P_1 / \pi d_1^2 = 4 \cdot 3 \cdot 10^3 / 3,14 \cdot 2,35^2 = 692,3 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{вл_2} = 4 \cdot 2,8 \cdot 10^3 / 3,14 \cdot 2,02^2 = 874,2 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{вл_3} = 4 \cdot 2,6 \cdot 10^3 / 3,14 \cdot 1,77^2 = 1058,2 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{вл_4} = 4 \cdot 2,4 \cdot 10^3 / 3,14 \cdot 1,59^2 = 1208,4 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{вл_5} = 4 \cdot 2,1 \cdot 10^3 / 3,14 \cdot 1,45^2 = 1273,9 \text{ МПа}$$

5. Визначаємо середню границю плинності $\sigma_{T_{cp}}$, користуючись графіком для нержавіючої сталі на рис.2 і формулою (43):

$$\sigma_{T_{cp1}} = \sigma_{T_0} + 0,67(\sigma_{T_1} - \sigma_{T_0}) = 350 + 0,67(1010 - 350) = 792 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{T_2} = 1010 + 0,67(1198 - 1010) = 1136 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{T_{cp3}} = 1198 + 0,67(1298 - 1198) = 1265 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{T_{cp4}} = 1298 + 0,67(1338 - 1298) = 1325 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{T_{cp5}} = 1398 + 0,67(1360 - 1388) = 1353 \text{ МПа}$$

6. Визначаємо коефіцієнти тертя по формулі Зібеля:

$$f_1 = \left(\frac{\sigma_{\varepsilon_1} / \sigma_{T_{cp1}} - 0,67\alpha}{\varepsilon_1} - 1 \right) \cdot \alpha = \left(\frac{692,3/792 - 0,67 \cdot 0,0436}{0,29} - 1 \right) \cdot \alpha = 0,083$$

$$f_2 = \left(\frac{974,2/1136 - 0,67 \cdot 0,0486}{0,26} - 1 \right) \cdot 0,0436 = 0,076$$

$$f_3 = \left(\frac{1058,2/1265 - 0,67 \cdot 0,0486}{0,23} - 1 \right) \cdot 0,0436 = 0,109$$

$$f_4 = \left(\frac{1208,4/1325 - 0,67 \cdot 0,0486}{0,20} - 1 \right) \cdot 0,0436 = 0,149$$

$$f_5 = \left(\frac{1273,9/1353 - 0,67 \cdot 0,0486}{0,17} - 1 \right) \cdot 0,0436 = 0,190$$

7. Визначаємо сумарний обтиск під час волочіння від першого до п'ятого переходу по формулі (42):

$$\varepsilon_{1\Sigma} = \varepsilon_1 = \left(1 - \frac{d_1^2}{d_0^2} \right) = \left(1 - \frac{2,35^2}{2,78^2} \right) = 0,29$$

$$\varepsilon_{2\Sigma} = \left(1 - \frac{d_2^2}{d_0^2} \right) = \left(1 - \frac{2,02^2}{2,78^2} \right) = 0,47$$

$$\varepsilon_{3\Sigma} = \left(1 - \frac{d_3^2}{d_0^2} \right) = \left(1 - \frac{1,77^2}{2,78^2} \right) = 0,60$$

$$\varepsilon_{4\Sigma} = \left(1 - \frac{d_4^2}{d_0^2} \right) = \left(1 - \frac{1,59^2}{2,78^2} \right) = 0,67$$

$$\varepsilon_{5\Sigma} = \left(1 - \frac{d_5^2}{d_0^2} \right) = \left(1 - \frac{1,45^2}{2,78^2} \right) = 0,73$$

Будуємо графік f =функція ε_{Σ} і d_i .

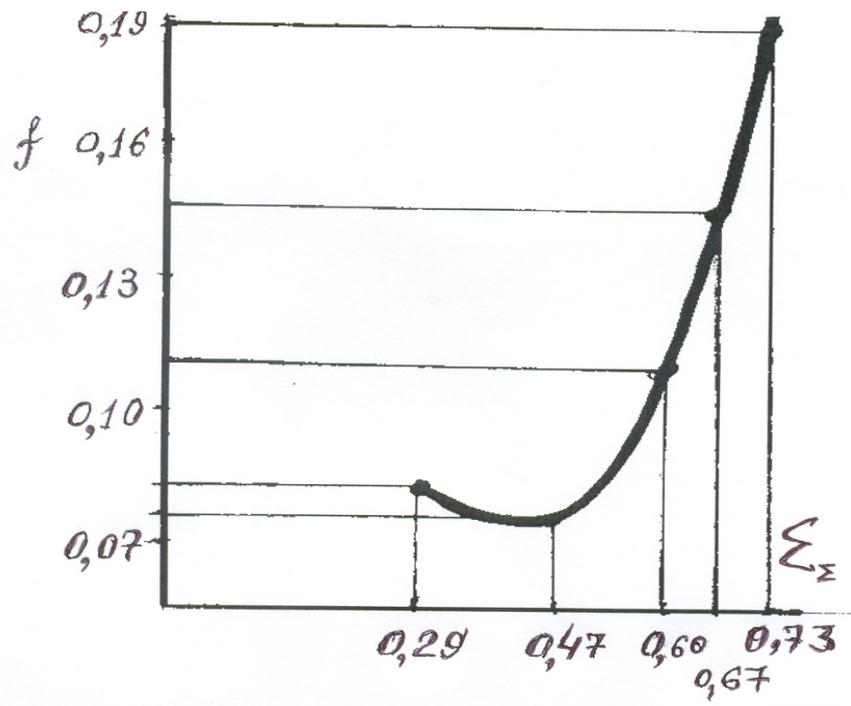


Рисунок 3 - Залежність коефіцієнта тертя f від сумарного відносного обтиску під час волочіння дроту із нержавіючої сталі

Висновок зробити самостійно і пояснити отримані результати.