

**Міністерство освіти і науки України  
Інженерний навчально-науковий інститут  
Запорізького національного університету**

**Ю.В.Бондаренко**

**ТЕХНОЛОГІЯ ПРЕСУВАННЯ ТА ВОЛОЧІННЯ**

**Методичні вказівки до практичних занять  
для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавр  
спеціальності 136 "Металургія"  
освітньо-професійної програми "Обробка металів тиском"**

**Затверджено  
вченою радою ЗНУ  
протокол № 7 від 23.02.2021 р.**

**Запоріжжя  
2021**

УДК 621.771 (076)

П 845

**Бондаренко Ю.В. Технологія пресування та волочіння : методичні вказівки до практичних занять для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра спеціальності 136 "Металургія" освітньо-професійної програми "Обробка металів тиском". Запоріжжя : ЗНУ, 2021. 49 с.**

У методичних вказівках подано зміст практичних занять відповідно до робочої програми дисципліни «Технологія пресування та волочіння». Кожне практичне заняття включає теоретичну частину, яка базується на лекційному матеріалі і може бути пов'язана з іншими завданнями дисципліни, контрольні питання і список рекомендованої літератури. Практичні заняття дозволять активізувати пізнавальну діяльність студентів, проявити ініціативу і винахідливість та ґрунтовно засвоїти програмний матеріал.

Для здобувачів ступеня вищої освіти магістра спеціальності 136 "Металургія" освітньо-професійної програми "Обробка металів тиском".

Рецензент

*О. Г. Гречаний*, кандидат технічних наук, доцент кафедри металургійного обладнання

Відповідальний за випуск

*Ю. О. Белоконь*, кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри обробки металів тиском.

## ЗМІСТ

<b>Вступ</b> .....	4
<b>Практичне завдання №1.</b> Розрахунок опору деформації сталей і сплавів.....	5
<b>Практичне завдання №2.</b> Розрахунок зусилля пресування.....	19
<b>Практичне завдання №3.</b> Розрахунок температурних умов процесу пресування.....	26
<b>Практичне завдання №4</b> Оптимізація температурно- швидкісних параметрів процесу пресування для досягнення максимальної продуктивності і необхідного рівня якості прес-виробів.....	32
<b>Практичне завдання №5</b> Проектування пресс-матриць.....	36
<b>Практичне завдання №6</b> Визначення розмірів заготовки для пресування.....	44
<b>Рекомендована література</b> .....	49

## ВСТУП

«Технологія пресування та волочіння» – прикладна інженерна дисципліна, яка визначає загальні основи технології процесів виробництва гнутих профілів прокату.

Мета викладання дисципліни «Технологія пресування та волочіння» – навчити студентів знаходити оптимальні варіанти технологічного процесу виробництва гнутих профілів, проводити розрахунки параметрів прокатки та шляхи вдосконалення виробництва продукції із застосуванням сучасних комп'ютерних технологій.

Метою проведення практичних занять є оволодіння знаннями з технології виробництва гнутих профілів, методами розрахунку раціональних режимів прокатки, визначення оптимальних схем прокатування і калібрування валків. Програмою дисципліни передбачено 22 години практичних занять для денної форми навчання (6 годин для заочної форми навчання). Кожне практичне заняття включає теоретичну частину, яка базується на лекційному матеріалі і може бути пов'язана з іншими завданнями дисципліни, контрольні запитання і перелік рекомендованої літератури. **Практичні заняття дозволять активізувати пізнавальну діяльність студентів, проявити ініціативу і винахідливість та міцніше засвоїти програмний матеріал. Вони дають можливість ознайомитися з методиками розрахунку калібрувань валків, схем і режимів прокатування, принципами застосування комп'ютерних програм. Розподіл годин за заняттями наступний: 1 заняття – 4 години, 2 і 3 заняття – по 9 годин кожне.**

**У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен знати:**

- методики розрахунку деформаційних, кінематичних і енергосилових параметрів прокатки;
- технологію прокатування простих гнутих профілів;
- технологію і особливості прокатування складних гнутих профілів.

**уміти:**

- розраховувати різні технологічні процеси прокатного виробництва, деформаційні, кінематичні та енергосилові параметри прокатки;
- знаходити оптимальні варіанти вибору технологічного інструменту для процесів виробництва сортового прокату, зокрема гнутих профілів.

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми студенти повинні досягти таких компетентностей:

К 16. Здатність застосовувати системний підхід до вирішення проблем металургії;

**Методичні вказівки до практичних занять** продовжують професійну і практичну підготовку студента і базуються на знаннях, отриманих при вивченні дисципліни «Обробка металів тиском». Вивчення дисципліни «Технологія пресування та волочіння» розширює можливості студентів при виконанні випускної роботи бакалавра.

## Практичне завдання №1

### РОЗРАХУНОК ОПОРУ ДЕФОРМАЦІЇ СТАЛЕЙ І СПЛАВІВ

Визначення силових умов пресування необхідно для вибору обладнання, розрахунку інструменту, встановлення енергетичних витрат та інших показників. Розрахунок зусилля пресування дозволяє прогнозувати можливість виготовлення даного прес-виробу, є в подальшому одним з основних технологічних параметрів для оптимізації існуючої технології.

Найважливішим показником, необхідним для розрахунку силових умов процесів пресування є опір деформації  $\sigma_s$ , яке по С.О. Губкіна є інтенсивністю напруг необхідних і достатніх для здійснення пластичної деформації матеріалу за заданих умов деформування. Питання визначення реального значення  $\sigma_s$  для конкретного режиму пресування є досить актуальним, так як навіть використання нових методів розрахунку із застосуванням потужних ЕОМ незначно підвищують точність визначення енергосилових параметрів процесу пресування, якщо найважливішу характеристику деформованого металу - його  $\sigma_s$  - задають зі значними погрішностями.

Відповідно до теорії максимальних дотичних напружень течія металу завжди починається під дією навантаження, що дорівнює найбільшому дотичному напруженні. Якщо позначити головні нормальні напруги  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ , то згідно цієї теорії:

$$\tau_{\max} = (\sigma_1 - \sigma_3) / 2 \quad (1.1)$$

або

$$2\tau_{\max} = \sigma_1 - \sigma_3 = \sigma_s \quad (1.2)$$

Різниця головних напружень, необхідна для початку пластичної течії, і є опором деформації  $\sigma_s$ . Відповідно гіпотезі максимальних дотичних напружень середня головна напруга  $\sigma_2$  не впливає на початок пластичної деформації. Однак, за дослідженнями В. Лоде, а також М. Роша і П. Айхінгера, вплив  $\sigma_2$  може все ж мати місце. При цьому течія матеріалу починається в тому випадку, коли робота пружного формозмінення перевищує певну межу. Умова пластичності записується в цьому випадку у вигляді:

$$\sigma_s = \sqrt{\frac{1}{2} [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2]} \quad (1.3)$$

Найбільші відхилення значень  $\sigma_s$ , що визначаються за гіпотезою формозмінення, від тих значень, які визначаються за гіпотезою максимальних

дотичних напружень, не перевищують 15%. Опір деформації  $\sigma_s$  - це не константа матеріалу, а змінна величина, залежна від властивостей матеріалу і параметрів процесу деформації.

При пресуванні на відміну від більшості інших методів обробки металів тиском деформований матеріал знаходиться під дією трьох стискаючих головних напружень. Найбільше - осьове напруження  $\sigma_1$ . Тангенціальне і радіальне напруження  $\sigma_2$  і  $\sigma_3$  для циліндричної заготовки є рівними величинами, сума яких менше величини осьової напруги. Отже, можна записати:

$$\sigma_1 > \sigma_2 = \sigma_3 \quad (1.4)$$

Для окремих випадків пресування характерно вісісиметричний або плоский напружено-деформований стан (що залежить від форми контейнера і пресованого профілю), при якому опір деформації дорівнюватиме різниці головних напружень:

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \beta \sigma_s \quad (1.5)$$

де  $\beta = 1,0 \div 1,15$  – коефіцієнт Лоде.

Ступінь деформації при пресуванні виражається натуральним логарифмом відношення площин поперечного перерізу розпресованої заготовки, яка дорівнює площі контейнера  $F_k$ , і прес-виробу  $F_{np}$ , тобто коефіцієнта витяжки:

$$\lambda = \frac{F_k}{F_{np}} \quad (1.6)$$

і визначається як

$$\varepsilon = \ln \lambda \quad (1.7)$$

Із загального визначення швидкості деформації можна записати:

$$\dot{\varepsilon} = \frac{\varepsilon}{\tau_D} \quad (1.8)$$

де  $\tau_D$  - тривалість деформації відповідно.

Для процесу пресування характерна значна нерівномірність швидкостей деформації в поперечному перерізі деформованої зони, тому частіше розраховують не істинні швидкості і їх розподіл, а середню швидкість деформації. Для розрахунку середніх швидкостей деформації профілю  $\varepsilon_{српр}$  і труби  $\varepsilon_{сртр}$  можуть бути рекомендовані наступні формули:

$$\varepsilon_{срнр} = \frac{2V_{нр} \operatorname{tga}_m}{D_{онкнр}} \quad (1.9)$$

$$\varepsilon_{сртр} = \frac{2V_{нр} \operatorname{tga}_m}{D_{тр} - d} \quad (1.10)$$

де  $V_{нр}$  - швидкість руху прес-шайби;  $\alpha_m$  - кут матриці;  $D_{онкнр}$ ,  $D_{тр}$  і  $d$  - діаметр описаного кола профілю, зовнішній і внутрішній діаметри труби відповідно.

Перебіг металу з контейнера відбувається під дією сили гідравлічного преса  $P$ , створюваної тиском рідини  $p$  на головний плунжер преса площею  $F$ . Тоді максимальне зусилля преса дорівнюватиме:

$$P = p \cdot F \quad (1.11)$$

Зусилля, необхідне для видавлювання металу з контейнера через робочий канал в матриці, називають зусиллям пресування. Для визначення фактичного зусилля пресування  $P_{нр}$  за показаннями манометра необхідно максимальне зусилля преса розділити на найбільший тиск рідини  $p$ , на який розрахований прес, і отриманий результат помножити на показання манометра  $p_{ман}$  в даний момент пресування:

$$P_{нр} = \frac{P \cdot p_{ман}}{p} \quad (1.12)$$

Зусилля пресування, віднесене до площі перетину контейнера  $F_k$ , називають питомим зусиллям витікання або тиском пресування:

$$p_{нр} = \frac{P_{нр}}{F_k} \quad (1.13)$$

У загальному вигляді тиск пресування лінійно залежить від опору деформації  $\sigma_s$ :

$$P_{нр} = K_{нр} \sigma_s \quad (1.14)$$

де  $K_{нр}$  - коефіцієнт, що залежить від способу пресування, параметрів деформації, тертя і т.д.

Опір деформації  $\sigma_s$  при пресуванні можна визначити проведенням натурних експериментів, експериментально і аналітично на основі математичної обробки експериментальних даних.

При визначенні  $\sigma_s$  шляхом натурних експериментів при пресуванні

використовують вираз (1.14) і отримують найбільш точні результати при коректному розрахунку коефіцієнта  $K_{np}$ . Однак такі експерименти в умовах виробництва трудомісткі, дорогі й зачасти, особливо для нових різновидів процесу, взагалі неможливі.

При проведенні лабораторних експериментів необхідно використовувати такий метод механічного випробування матеріалу, при якому забезпечувалась рівність співвідношень напруг і деформацій при випробуваннях і технологічному процесі. Дана умова, як правило, нездійсненна. Тому результати лабораторних досліджень можуть бути менш точними, а експеримент також залишається досить трудомістким, хоча і менш дорогим.

Аналітичні методи визначення  $\sigma_s$  менш точні, проте вони не вимагають великих витрат, а головне - дозволяють встановити вплив окремих параметрів процесу пресування на  $\sigma_s$  і дати їх кількісну оцінку.

Єдиним достовірним експериментальним способом визначення  $\sigma_s$ , при якому можливе досягнення тих ступенів деформації, порівнянних з реалізованими в процесах пресування, є метод випробування на гаряче скручування зразків різного діаметру, запропонований в роботах Д.І. Суярова, Р. Мура, К. Вебера, Шварцбарта, В.П. Степанова. Сутність цього методу зводиться до визначення різниці крутних моментів при скручуванні двох стандартних зразків з різними діаметрами в робочій частині, що зводить до мінімуму помилки, пов'язаної з нерівномірним розподілом швидкості і величини деформації в поперечному перерізі суцільного зразка.

У енергосилових розрахунках І.Л. Перлін застосовує кілька значень  $\sigma_s$ : середній опір деформації по обтискної частині пластичної зони (ОЧПЗ), опір деформації на початку і на виході з ОЧПЗ –  $\sigma_{sh}$  і  $\sigma_{sk}$  відповідно. При цьому  $\sigma_{sh}$  прирівнюється лінійній нарузі текучості при статичному розтягненні (табл. 1.1), а  $\sigma_{sk} = C_y \cdot \sigma_{sh}$ , де  $C_y$  – коефіцієнт шкідливого зміцнення, залежний від тривалості деформації  $\tau_d$  (часу перебування пресованого металу в ОЧПЗ) і витяжки  $\lambda$  (табл.1.2).

Л.А. Шофман бере значення опору деформації з урахуванням впливу на опір деформації температурно-швидкісних умов процесу пресування. Це враховується за допомогою додаткових коефіцієнтів:

$$\sigma_s = \sigma_{s0} \omega_m \varphi_v \quad (1.15)$$

Температурний коефіцієнт  $\omega_m$  визначається з виразу:

$$\omega_m = \exp(3,5 \cdot 10^{-3} (T_{nl} - T_{np})) \quad (1.16)$$

де  $T_{nl}$  і  $T_{np}$  - абсолютні температури плавлення і пресування, °К.



**Таблиця 1.1 – Значення  $\sigma_{sh}$  кольорових металів і сплавів, Мпа**

Метал або сплав	Температура, ° С									
	500	550	600	650	700	750	800	850	900	950
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Мідь	60	55	50	44	38	32	26	20	18	15
Л68	-	-	45	40	35	30	25	20	-	-
Л63	80	60	35	30	27	24	20	15	-	-
ЛС59-1	-	-	20	17	15	13	11	09	-	-
ЛН65-5	160	120	90	80	50	30	20	-	-	-
БрАЖМц10-3-1,5	-	-	120	70	50	30	15	12	8	-
БрАЖН10-4-4	-	-	160	120	80	50	25	20	15	-
БрБ-2	-	-	-	-	100	60	40	35	-	-
БрКМц3-1	-	-	120	100	75	50	35	20	15	-
БрКН1-3	-	-	200	150	120	80	50	25	12	-
БрОФ6,5-0,4	-	-	200	180	160	140	120	-	-	-
БрХ0,5	-	-	160	140	120	70	60	40	20	16
БрОФ4-0,25	-	-	150	130	110	90	70	-	-	-
Л96	80	70	65	58	50	42	35	26	-	-
<b>Температура, ° С</b>	<b>750</b>	<b>800</b>	<b>850</b>	<b>900</b>	<b>950</b>	<b>1000</b>	<b>1050</b>	<b>1100</b>	<b>1150</b>	<b>1200</b>
Нікель	-	113	95	76	65	54	46	38	-	-
НМц5	-	160	140	110	90	60	50	40	30	25
НЖМц28-2,5-1,5	-	145	122	101	82	63	51	44	-	-
НМ19	104	81	59	43	28	17	-	-	-	-
МНЖМц30-0,8-1,0	80	60	48	37	-	-	-	-	-	-
МНЖ5-1	75	50	35	25	20	15	-	-	-	-
<b>Температура, ° С</b>	<b>200</b>	<b>250</b>	<b>300</b>	<b>350</b>	<b>400</b>	<b>450</b>	<b>500</b>	-	-	-
Алюміній	50	35	25	20	15	-	-	-	-	-
АВ	55	40	30	25	22	12	-	-	-	-
АМг7	-	-	80	60	40	35	23	-	-	-
Д1	-	-	55	45	35	30	25	-	-	-
Д16	-	-	70	50	40	35	28	-	-	-
В95	-	-	100	80	65	50	35	-	-	-
АМг5	-	-	-	42	32	27	20	-	-	-
Магній	40	25	20	16	12	10	-	-	-	-
МА1	-	-	40	34	30	25	-	-	-	-
МА2, МА8	-	-	70	55	40	28	-	-	-	-
МА3	-	-	60	50	35	28	-	-	-	-
МА5	-	-	52	45	40	35	-	-	-	-
<b>Температура, ° С</b>	<b>600</b>	<b>700</b>	<b>800</b>	<b>850</b>	<b>900</b>	<b>950</b>	<b>1000</b>	<b>1100</b>	-	-
ВТ1	260	120	50	40	30	25	20	-	-	-
ВТ5	430	250	160	135	110	70	36	17	-	-
<b>Температура, ° С</b>	<b>100</b>	<b>150</b>	<b>200</b>	<b>250</b>	<b>300</b>	<b>350</b>	<b>400</b>	-	-	-

Цинк	78	3,6	24	14	12	1,0	-	-	-	-
------	----	-----	----	----	----	-----	---	---	---	---

**Таблиця 1.2** - Значення швидкісного коефіцієнта  $C_v$

Витяжка $\lambda$	Тривалість деформації $\tau_0$ , с.				
	0,001	0,01	0,1	1,0	10
5	4,7	4,4	3,4	2,6	1,0
>10	5,0	4,8	3,6	2,8	1,0

Швидкісний коефіцієнт  $\varphi_v$  визначається з виразу:

$$\varphi_v = \varepsilon_{cp} \cdot n \quad (1.17)$$

де  $\varepsilon_{cp}$  - середня швидкість деформації в процесі встановленої течії і розраховується за формулами:

- для прутків

$$\varepsilon_{cp} = \frac{2V_{np} \ln \lambda}{b_{np} D_k} \quad (1.18)$$

- для труб

$$\varepsilon_{cp} = \frac{2V_{np} \ln \lambda}{b_{np} (D_k - d)} \quad (1.19)$$

При пресуванні труб, прутків методами прямого і зворотнього течіння  $b_{np}$  коефіцієнт відповідно дорівнює 0,7; 0,8; 0,3.

Коефіцієнт  $n$  визначається з виразу:

$$n = n_0 \left( \frac{T_{np}}{T_{пл}} \right)^2 \quad (1.20)$$

де  $n_0 = 0,18 \div 0,20$  для алюмінію і його сплавів;  $n_0 = 0,20 \div 0,25$  для міді та її сплавів.

Значення  $\sigma_{s0}$  для різних металів так само, як у І.Л. Перліна, прирівнюються лінійній напрузі текучості при статичному розтягуванні: мідь - 18 ÷ 20 МПа; алюміній - 16 ÷ 17 МПа; АМц - 25 МПа; Д1 - 35 МПа; Д16 - 38 МПа.

Слід зазначити, що при проведенні механічних випробувань на розтяг неможливо досягти таких ступенів деформації, які відповідають ступеням деформації, що реалізуються в виробничих умовах, а при крученні - дуже складно забезпечити швидкості деформації, особливо для швидкісних процесів пресування таких матеріалів, як сталь. Тому необхідно проводити перерахунок швидкостей деформації з використанням емпіричних коефіцієнтів (табл. 1.3).

**Таблиця 1.3 - Коефіцієнти перерахунку швидкостей деформації**

Тип сталі	Швидкість деформації $\varepsilon$ , $s^{-1}$						
	$10^{-3}$	$10^{-2}$	$10^{-1}$	1	10	$10^2$	$10^3$
Вуглецеві і низьковуглецеві	0,74	0,90	1,00	1,20	1,04	0,85	-
Аустенітні	0,62	0,86	1,00	1,08	1,05	0,99	0,93

Під час пресування даних заготовок визначають максимальні зусилля пресування, тоді опір деформації дорівнюватиме:

$$\sigma_s = \frac{P_{np1} - P_{np2}}{\pi \mu D_k \Delta L} \quad (1.21)$$

де  $P_{np1}$  и  $P_{np2}$  – максимальні зусилля пресування заготовок довжиною  $L_1$  и  $L_2$  відповідно, причому  $L_1 > L_2$ ;  $\Delta L = L_1 - L_2$ ;  $D_k$  – діаметр контейнера;  $\pi = 3,14$ ;  $\mu$  – коефіцієнт тертя пресованого металу об стінки контейнера.

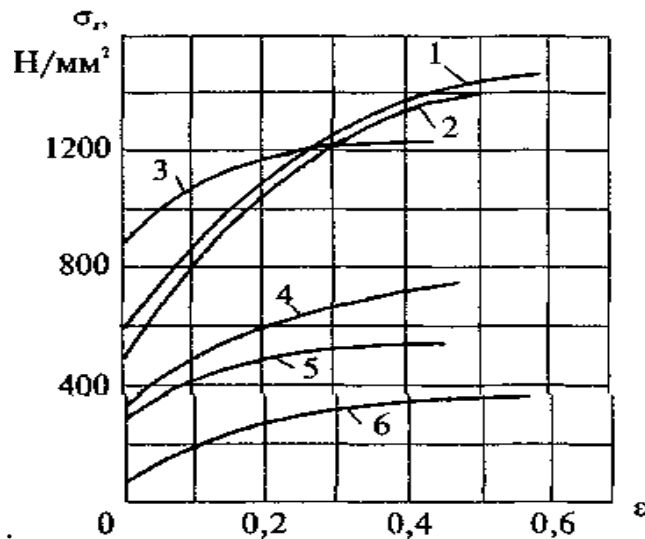
Даний метод позбавлений тих недоліків, які вказані вище для відомих методів визначення  $\sigma_s$ . Крім того, можливе застосування даного методу безпосередньо в виробничих умовах. Для цього на початку встановленої стадії необхідно знайти змінення зусилля пресування  $\Delta P_{np}$  в залежності від переміщення прес-штемпеля  $\Delta L$ . Тоді поточний опір деформації для пресованого металу дорівнюватиме:

$$\sigma_{sh} = \frac{\Delta P_{np}}{\pi \mu D_k \Delta L} \quad (1.22)$$

Даний метод дозволяє оперативно знаходити  $\sigma_s$  під час пресування, коригувати процес пресування для досягнення оптимальних умов виробництва.

Залежно від температури, деформація буває холодна та гаряча. Під час деформації в деформованому металі відбуваються два протилежні процеси: зміцнення і знеміцнення. Від співвідношення швидкостей протікання даних процесів залежить характер деформації.

При холодній деформації швидкість зміцнення значно більше швидкості знеміцнення, а температура не перевищує 0,3ТПЛ (ТПЛ - температура плавлення в кельвінах, °К). Зі збільшенням ступеня деформації зростають показники міцності, а пластичність знижується. Сукупність даних явищ, пов'язаних зі зміною властивостей металу в процесі холодної пластичної деформації, називається наклепом (рис. 1.1)



**Рисунок 1.1** – Криві наклепу металів і сплавів.

1 – сталь ЭИ69; 2 – сталь Х19Н9Т; 3 – сталь 40ХМА; 4 – латунь Л59; 5 – дюралюміній Д1; 6 – мідь

При холодній деформації зміна структури, механічних властивостей сильніше залежать від ступеня деформації  $\varepsilon$  і слабше від температури і швидкості деформації. Вплив ступені деформації на зміну механічних властивостей при холодній деформації різних металів найбільш повно представлено в роботах А.В. Трет'якова у вигляді наступних емпіричних формул:

- для  $\sigma_{0,2}$ ,  $\sigma_b$  и НВ

$$y = y_0 + ax^n \quad (1.23)$$

-для  $\delta$

$$\lg y = \lg y_0 - bx - cx^2 \quad (1.24)$$

де  $y$  – поточне значення механічної характеристики;  $y_0$  - постійна величина, що дорівнює початковому значенню даної механічної характеристики при нульовому ступені деформації;  $x$  - поточне значення величини ступеня деформації  $\varepsilon$ ;  $a, b, c$  - постійні коефіцієнти.

Застосувавши рівняння (1.23), (1.24) до двох чи трьох будь-яким відомим по механічним характеристикам і ступеня деформації експериментальним точкам, можна визначити постійні коефіцієнти і отримати відповідну емпіричну залежність.

У табл.1.4 наведені емпіричні формули для визначення значень тимчасового опору розриву деяких кольорових металів і сплавів.

**Таблиця 1.4** – Межа міцності кольорових металів і сплавів при холодній деформації

№ п/п	Кольоровий метал або сплав	Марка	Формула
1	Алюмінієвий	АД1, Д1, АМГ3, АМГ5	$\sigma_B = \sigma_{B0} + 1,6\varepsilon^{0,76}$
2	Титановий	ВТ1-1, ВТ1-2, ВТ4, ВТ6	$\sigma_B = \sigma_{B0} + 2,4\varepsilon^{0,63}$
3	Мідь	М1, М2	$\sigma_B = \sigma_{B0} + 0,68\varepsilon^{0,77}$
4	Бронзи	БрАЖН10-4-4, БрАЖМц10-3-1,5	$\sigma_B = \sigma_{B0} + 2,9\varepsilon^{0,70}$
5	Латуні	Л80, Л75, Л68, Л62, Л59, ЛС59-1	$\sigma_B = \sigma_{B0} + 0,77\varepsilon^{0,91}$
6	Нікелеві	МНМц3-12, НМц5, НМц2,5	$\sigma_B = \sigma_{B0} + 1,3\varepsilon^{0,83}$
7	Нікелеві	МН5, ТПМН0,6, МН19	$\sigma_B = \sigma_{B0} + 0,8\varepsilon^{0,72}$

При температурах вище  $0,4T_{пл}$  на процеси зміцнення накладається потужний розміцнюючий процес - рекристалізація, яка характеризується появою нових зародків і зростанням нових рівновісних зерен за рахунок енергії старих деформованих зерен. Якщо швидкість зміцнення менше швидкості розміцнення, то дану деформацію вважають гарячою, і вона відбувається при температурах більше  $(0,7 \div 0,9) T_{пл}$ .

Під час гарячої деформації значно знижується опір деформації, підвищується пластичність металу (рис.1.2).

На основі аналізу численних досвідчених даних експериментального визначення опору деформації від основних параметрів деформування А.І.Целікова була запропонована наступна залежність

$$\sigma_s = K_t K_e K_v \sigma_{s0} \quad (1.25)$$

де  $K_t = A_t \exp(-mT)$ ,  $K_e = A_e \varepsilon^k$ ,  $K_v = A_v \varepsilon^n$  – термомеханічні коефіцієнти, залежні від властивостей деформованого металу.

На основі математичної обробки експериментальних даних дослідження опору деформації різними авторами були отримані такі формули для розрахунку опору деформації:

- М.Жидеком:

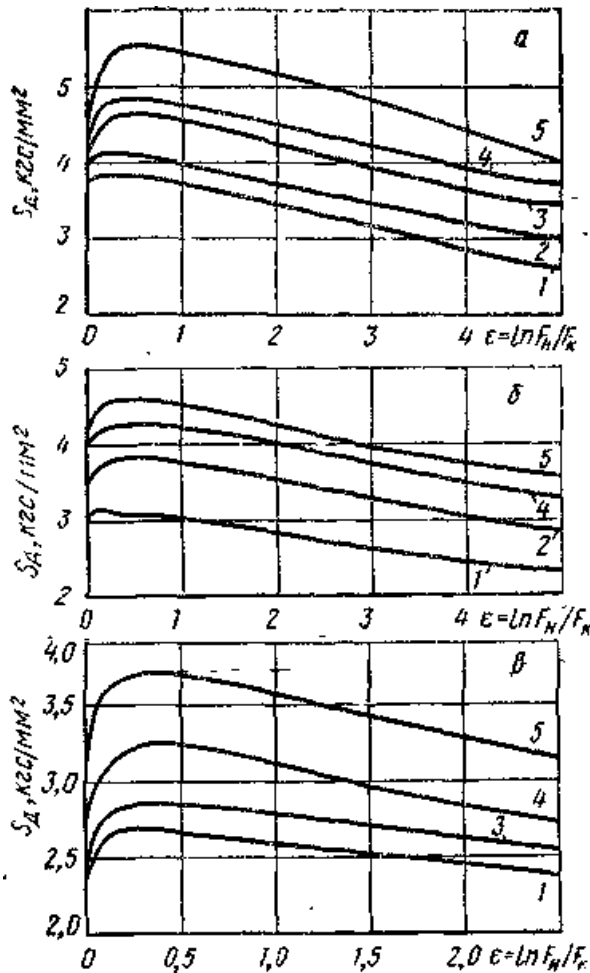
$$\sigma_s = A + BT + (C + DT)K \quad (1.26)$$

- В.Н.Видріним, А.В.Треть'яковим, В.И.Зюзіним:

$$\sigma_s = A\varepsilon^B \varepsilon^C \exp(-DT) \quad (1.27)$$

- М.Хайдуком:

$$\sigma_s = \sigma_{s0} A L B \varepsilon^n C \exp(-kT) \quad (1.28)$$



**Рисунок 1.2** – Залежність  $\sigma_s$  сплаву АВ від параметрів деформації, що отримані методом кручення: а – 450° С; б – 500° С; в – 550° С;  
 1 –  $\dot{\epsilon} = 0,74 \text{ c}^{-1}$ ; 2 –  $1,48 \text{ c}^{-1}$ ; 3 –  $2,96 \text{ c}^{-1}$ ; 4 –  $7,4 \text{ c}^{-1}$ ; 5 –  $10,3 \text{ c}^{-1}$

де А, В, С, D, К – реологічні коефіцієнти; Т – температура пресування;  $L = \ln \lambda$ .

Аналіз рівнянь (1.25) - (1.28) показує, що ця залежність може бути описана: поліномом (1.26); статичної або експоненційної функцією (1.25, 1.27, 1.28) і не дозволяє враховувати зміни значень  $\sigma_s$  в області фазових перетворень, при динамічних процесах розміцнення, при виділенні надлишкової фази і є правомірними лише для однофазних зон. Тому при використанні формул (1.25) - (1.28) слід враховувати хімічний склад матеріалу, ступінь деформації, швидкість деформації і температуру. При відсутності хоча б одного з цих параметрів область застосування рівняння відразу обмежується вузьким інтервалом коливання умов деформації. Для математичного уявлення функціональної залежності опору деформації матеріалу від умов деформації найбільш придатними слід визнати статичні і експоненціальні функції (1.25, 1.27, 1.28), які дають задовільне наближення розрахункових даних до експериментальних значень і є досить простими для практичного застосування. У табл. 1.5 представлені реологічні коефіцієнти для формули (1.27).

**Таблиця 1.5 – Значення реологічних коефіцієнтів для формули (1.27)**

Матеріал	Температура, °С		Емпіричні коефіцієнти			
	Т		А	В	С	Д
1	2		3	4	5	6
<b>Чисті метали</b>						
Залізо	800-1200		1200	0,4	0,14	0,003
Нікель	900-1300		1850	0,5	0,11	0,0028
Мідь	450-1000		520	0,4	0,11	0,0023
Титан	200-750		1900	0,35	0,1	0,003
Алюміній	300-500		180	0,37	0,14	0,0017
Цинк литий	150-340		260	0,5	0,2	0,0057
Цинк прокат	20-100		420	0,15	0,13	0,0012
Ванадій	800-1200		2500	0,4	0,12	0,003
Цирконій	800-1100		3000	0,2	0,12	0,003
Ніобій	950-1200		2500	0,3	0,15	0,003
Молибден	950-1250		2900	0,25	0,15	0,003
Вольфрам	1600-2200		10000	0,3	0,12	0,0018
Свинець	20-300		46	0,35	0,12	0,0015
<b>Сплави алюмінію</b>						
АМЦ	300-500		250	0,32	0,10	0,001
АМГ 61	300-450		410	0,35	0,15	0,0012
АМГ 6	300-450		440	0,35	0,11	0,0012
Д 16	300-450		370	0,32	0,11	0,0017
АМГ 58	300-450		350	0,35	0,13	0,0013
<b>Сплави міді</b>						
Л 62	300-600		1000	0,5	0,11	0,004
Л 68	600-750		700	0,5	0,11	0,007
Л 70	750-950		850	0,5	0,11	0,004
Л 90	300-600		710	0,38	0,11	0,0028
Мельхіор	600-900		620	0,57	0,11	0,0028
Монель - метал	450-900		1220	0,57	0,11	0,0035
Нейзільбер	450-900		750	0,4	0,11	0,003
<b>Вуглецеві і низьколеговані сталі</b>						
Сталь 10	900-1300		1200	0,25	0,15	0,0025
Сталь 20	900-1300		1300	0,25	0,14	0,0025
Сталь 45	900-1300		1330	0,25	0,14	0,0025
Сталь 60	900-1300		1300	0,25	0,14	0,0025
Сталь 0	900-1300		1100	0,25	0,14	0,0025
Сталь 3	900-1300		1250	0,25	0,14	0,0025
Сталь 6	900-1200		1400	0,25	0,14	0,0025
У8 и У9	900-1200		1400	0,25	0,14	0,0027
У12	900-1200		1700	0,25	0,15	0,0025
15ХСАД	300-1300		1450	0,25	0,14	0,003
40Х	900-1200		1400	0,25	0,14	0,003
30ХГСАН	900-1200		1600	0,25	0,1	0,003
12ХН3А	900-1300		2300	0,25	0,14	0,003
6ХС2, 55С	900-1300		1750	0,25	0,14	0,003
18 ХНВА	900-1200		2300	0,25	0,2	0,003
ХВГ	900-1300		1850	0,25	0,1	0,0027
12ХН3А	900-1300		2300	0,25	0,14	0,003
6ХС2, 55С	900-1300		1750	0,25	0,14	0,003
<b>Високолеговані сталі і жароміцні сплави</b>						
1Х1	900-1300		4600	0,28	0,09	0,003
4Х13	900-1300		4300	0,28	0,09	0,003
Х17Н2	900-1300		7000	0,28	0,09	0,0037
Х18Н9Т	900-1300		3250	0,28	0,09	0,0028
Х110Н10Т	900-1300		3400	0,28	0,09	0,0028
Х18н12М2Т	900-1300		3800	0,28	0,09	0,0033

Слід зазначити, що у формулі (1.27) різниця в значеннях реологічних коефіцієнтів В, С і D для різних марок сталі, кольорових металів і сплавів невелика, а значення коефіцієнта А змінюються в широких межах: від 46 до 10000 МПа, що в значній мірі точність розрахунків буде залежати від достовірності значень даного коефіцієнта.

Незважаючи на наявність теоретичних формул за впливом ступеня і швидкості деформації на опір деформації, практичного значення опору деформації знаходять на основі відповідних експериментів.

В інтервалі ступеня деформації 10 ÷ 50% при гарячій деформації А.І. Целіков пропонує величину  $\sigma_s$  визначати методом термомеханічних коефіцієнтів, застосувавши рівняння (1.25) до двох відомих по механічним характеристикам і параметрам деформації експериментальним значенням  $\sigma_s$  :

$$\sigma_s(\varepsilon, \varepsilon', T) = \sigma_s(\varepsilon, \varepsilon', T_1) \exp\left(\frac{T - T_1}{T_2 - T_1} * \ln \frac{\sigma_s(\varepsilon, \varepsilon', T_2)}{\sigma_s(\varepsilon, \varepsilon', T_1)}\right) \quad (1.29)$$

де  $\sigma_s(\varepsilon_1, \dot{\varepsilon}_1, T_1)$  і  $\sigma_s(\varepsilon_1, \dot{\varepsilon}_2, T_2)$  – опір деформації при постійній деформації  $\varepsilon$  і різних швидкостях  $\dot{\varepsilon}_1$  і  $\dot{\varepsilon}_2$  і температурах  $T_1$  і  $T_2$ .

В роботі Я.М. Охріменко отримані реологічні рівняння  $\sigma_s$  для найбільш поширених алюмінієвих сплавів, використовуваних в пресовому виробництві:

- для АД31

$$\sigma_s = 713,6\varepsilon^{(0,1374-0,00047)} \varepsilon'^{(0,0369+0,00017)} \exp(-0,0076t) \quad (1.30)$$

- для АК6

$$\sigma_s = 713,6\varepsilon^{(0,1102-0,00049)} \varepsilon'^{(0,0438+0,00013)} \exp(-0,0054t) \quad (1.31)$$

- для Д16

$$\sigma_s = 713,6\varepsilon^{(0,0281-0,00022)} \varepsilon'^{(0,0238+0,00012)} \exp(-0,00522t) \quad (1.32)$$

- для Амгб

$$\sigma_s = 713,6\varepsilon^{(0,113-0,00048)} \varepsilon'^{(0,0003+0,00027)} \exp(-0,0513t) \quad (1.33)$$

де  $\sigma_s$  – МПа,  $t$  – °С.

Використання даних формул в розрахунках дає похибку не більше 5%, Що є цілком задовільним для інженерних розрахунків.

Таким чином, існуючі залежності опору деформації матеріалу від умов деформування дозволяють знайти  $\sigma_s$  в першому наближенні, а для конкретного випадку необхідно враховувати фізико-хімічні властивості матеріалу



безпосередньо під час деформування і проводити коригування реологічних коефіцієнтів.

### Варіанти завдань до розділу 1

Знайти опір деформації для температурно-швидкісних режимів пресування кольорових металів і сплавів (табл. 1.6). При виборі діапазону витяжки використовувати зв'язок швидкості течіння  $V_m$  і пресування  $V_m$

$$V_m = \lambda V_{np}$$

**Таблиця 1.6** – Температурно-швидкісні режими пресування кольорових металів і сплавів

№ п/п	Сплав	Температура, °С	Вист, м/мин	Впр, мм/с
1	2	3	4	5
1	ЛС59-1	670-700	до 300	50-100
2	ЛС58-2	650 - 670	до 300	50-100
3	ЛС60-2	650 - 670	до 300	50-100
4	Л63	700 - 730	150-180	50-60
5	Л68	680 - 710	75,0	25
6	Мідь М1, М2, МЗР	750 - 850	до 300	50-100
7	БрОФ6,5-0,15	730 - 750	6,0 - 8,0	10-15
8	БрОФ7-0,2	710 - 730	2-3	3-5
9	Мельхіор	930 - 960	75,0-100	25-35
10	МНЖ5-1	880 - 930	75,0 - 100	25-35
11	Хромисті бронзи	850 - 910	75,0 - 90,0	25-30
12	МН95-5	880 - 900	60-80	30-35
13	Л96	820 - 850	150-200	50-70
14	ЛО70-1	650 - 670	30-45	10-15
15	ЛОМ-70-1-0,05	650 - 670	30-45	10-15
16	ЛС62-1	670 - 700	30-45	10-15
17	ЛЖМц59-1-1	710 - 750	60-90	20-30
18	ЛМц58-2	710 - 750	60-90	20-30
19	Алюмінієві бронзи	800 - 850	70-80	25-35
20	Нікель і його сплави	1100 - 1200	до 350	150-250
21	Алюміній	250 - 500	50 и более	15-20
22	АВ	250 - 500	18-50	5-15
23	Д1,Д16,В65,ВД17,Д18, Д19	350 - 480	2,5-3,5	1-2
24	АД31,АД33,АД35	480 - 500	12-30	5-10
25	АК2, АК4,АК4 -1, АК6, АК8	400 - 450	4-6	2-4
26	В92, В93, В94, В95, В96	360 - 430	2-3	1-2
27	АМг2	450 - 520	6,5-9,5	4-8
28	АМг3	450 - 500	3-6	3-4
29	АМг5, АМг6	400 - 450	2,0-2,5	1-2
30	ОТ4, ВТ8, ВТ9, ВТ6, ВТ20 (прутки)	900 - 950	24-36	50 - 300
31	ВТ5, ВТ6, ВТ14, ВТ20 (профілі тонкостінні)	1100 - 1150	до 120-150	20-30
32	Сталь вуглецева, низьколегована	1100-1300	24-36	50 - 300

### Питання для самоконтролю

1. Що називається опором деформації?
2. Яке практичне і теоретичне значення має вивчення опору металів пластичної деформації?
3. Які відомі методи визначення опору деформації?
4. Від яких параметрів залежить ця величина і в яких одиницях вона вимірюється?
5. Що називається холодною і гарячою пластичною деформацією?
6. Як змінюється опір деформації при холодній деформації?
7. Як змінюється опір деформації при гарячій деформації?
8. Як визначають опір деформації?
9. Які переваги і недоліки визначення опору деформації за допомогою випробувань осадкою, розтягненням і крученням зразків?
10. Яка залежність опору металу пластичної деформації від температури, витяжки та швидкості пресування?

## Практичне завдання №2

### РОЗРАХУНОК ЗУСИЛЛЯ ПРЕСУВАННЯ

Найбільш важливим для технолога, фахівця в області пресування металів, є питання визначення зусилля і напруги пресування. За зусиллям пресування обирають вибір преса, придатний для виробництва даного виду виробів, а за напругою пресування судять з можливості використання маючого у наявності пресового інструменту.

Результати багатьох експериментальних досліджень силових умов різних різновидів процесу пресування дозволили встановити ряд загальних закономірностей, що визначають характер впливу перерахованих далі основних факторів і умов на тиск пресування. У загальному випадку основними реактивними силами, які врівноважуються повним тиском пресування протягом робочого процесу, є:

а) сили тертя, що виникають на бічній поверхні контейнера і оправлення, якщо вона є ( $T_{кр}$ );

б) сили тертя, що виникають на бічній поверхні ОЧПЗ ( $T_m$ );

в) сили, що виникають від внутрішнього тертя, протидіє здійсненню основної деформації, тобто обтиску заготовки до заданих розмірів в умовах пресування без контактного тертя ( $R_m$ );

г) сили тертя, що виникають на бічній поверхні калібруючого пояска (або поясків) матриці ( $T_n$ );

д) сила, прикладена до прес-виробу в напрямку, нормальному до його поперечного перерізу (протитиску або натягу) ( $\pm Q$ );

е) сили тертя, що виникають на поверхні контакту між металом і пресшайбою ( $T_{ш}$ ).

На цій підставі максимальний повний тиск на прес-штемпель може бути представлений у вигляді складання шести складових, що йдуть на подолання перерахованих шести груп сил, тобто:

$$P_{пр} = T_{кр} + T_m + R_m + T_n + T_{ш} \pm Q \quad (2.1)$$

На тиск пресування впливають такі чинники: опір деформації металу в стані пресування; ступінь деформації; повздовжній профіль каналів матриці; форма поперечного перерізу профілю; форма поперечного перерізу заготовки; швидкість витікання; динамічність прикладання навантаження; довжина заготовки; умови контактного тертя; величину підпору або натягу профілю, спосіб пресування і ін .:

1.Зі збільшенням опору деформації  $\sigma_s$  пресованого металу тиск зростає прямопропорційно. Однак в загальному випадку дані параметри знаходяться в нелінійній залежності, так як  $\sigma_s$  змінюється під час зміни температурних умов під час пресування.

2. Ступінь деформації  $\varepsilon$  безпосередньо впливає на тиск. Залежність між зусиллям пресування і натуральним логарифмом витяжки  $\ln l$  близька до лінійної.

3. Збільшення довжини заготовки призводить до зростання необхідного зусилля пресування, якщо воно здійснюється з прямим закінченням. При зворотному пресуванні збільшення довжини заготовки практично не впливає на зусилля.

4. Вплив умов контактної тертя виражається в тому, що введення мастила може істотно зменшити складові  $T_{кр}$ ,  $T_n$  у формулі (2.1) і тим самим знизити зусилля пресування.

5. Спосіб пресування - прямий або зворотний - також впливає на змінення складової  $T_{кр}$  зусилля пресування. При зворотному пресуванні потрібен тиск на 30 ÷ 50% менше, ніж при прямому. Це дає можливість знизити початкову температуру заготовки для збільшення швидкостей закінчення при пресуванні важкодеформуємих алюмінієвих сплавів. Якщо ж швидкість витікання не обмежується температурними умовами, то можна значно подовжити заготовку. При пресуванні через матрицю з вмонтованою голкою зусилля пресування зростає за рахунок додаткових деформацій розсічення заготовки розсікачем і збільшення контактних поверхонь, обумовленого конструктивними особливостями таких матриць.

6. Форма поперечного перерізу прес-вироби може впливати на зусилля пресування, якщо вона досить складна. В роботі Ю.П. Глібова встановлено, що вплив форми поперечного перерізу прес-вироби (профіля) на тиску пресування характеризується твором коефіцієнтів  $K_1$  і  $K_2$ , визначеним відносинами:

$$K_1 = \frac{P_{np}}{P_{ркр}} \quad (2.2)$$

$$K_2 = \frac{F_{окр}}{F_{np}} \quad (2.3)$$

де  $P_{np}$ ,  $P_{ркр}$  - периметри поперечного перерізу профілю та рівновеликого кола відповідно;  $F_{окр}$  і  $F_{np}$  - площі кола, в який вписується профіль і поперечного перерізу профілю відповідно.

Експериментально встановлено, що якщо  $K_1 \cdot K_2 > 60$ , то тиск пресування профілю більше тиску рівновеликого кола на 15% і більше, а при  $K_1 \cdot K_2 < 20$  ці тиски практично однакові.

7. Подовжній профіль каналу матриці помітно впливає на необхідне зусилля пресування. Цей вплив виражається в демонотонній залежності зусилля пресування  $P_{np}$  від кута нахилу утворюючого каналу матриці  $\alpha$  результатом якого є утворення таких кутів в вихідній частини матриці, при яких тиск на прес-шайбі стає мінімальним.

Мінімуму тиску відповідає кут  $\alpha = 45 \div 60$  град. Демонотонність залежності пояснюється тим, що, з одного боку, зі зменшенням кута  $\alpha$  знижуються витрати енергії на зміну напрямку ліній струму, а з іншого боку - збільшується поверхня тертя в зоні матриці. На практиці цю залежність беруть до уваги при

виборі форми матриці: конічні матриці вимагають знижених тисків у порівнянні з плоскими, однак останні проте застосовують частіше, так як вони забезпечують більш високу якість поверхні прес-виробів.

8. Форма калібруючого пояса матриці і його протяжність, які є характеристиками поздовжньої форми каналу матриці в його вихідній частини, також можуть змінювати величину необхідного тиску.

Аналітично зусилля можна визначити за допомогою великого числа формул, наведених в спеціальній літературі. Всі ці формули діляться на кілька груп відповідно до основних гіпотез або спрощень, які приймаються при виведенні формул. Наприклад, формули С.І.Губкіна і Є.П. Унксова ґрунтуються на рішенні диференціальних рівнянь рівноваги в головних нормальних напругах, які усереднюються за плоскими поперечними перетинами пластичної зони. Формули В.В.Соколовського, А.Д. Томленової, Л.А.Шофман та інших вітчизняних і зарубіжних вчених виведені на основі рішень загальних рівнянь рівноваги з залученням методу характеристик. У ряді формул силові залежності встановлені шляхом варіаційного обчислення. До більш пізніх робіт по визначенню силових умов пресування відносяться роботи, виконані під керівництвом Г.Я. Гуна, Ю.Ф. Шевакіна, а за кордоном - Е. Томсена, В. Джонсона і Х. Кудо і Б. Авіцура.

В інженерній практиці досить широко застосовують формули І.Л. Перліна, які виведені шляхом спільного рішення наближених диференціальних рівнянь рівноваги і умов пластичності – при розрахунку напружень, що витрачаються на здійснення основної деформації; рішення рівняння потужності - при розрахунку напруг, витрачаємих на подолання тертя.

У табл. 2.1 наведені формули І.Л. Перліна для визначення зусилля прямого пресування для різних видів виробів і форми інструменту.

**Таблиця 2.1** – Формули для знаходження складових повного зусилля пресування

Складова	Види виробу і форма інструменту			
	Круглий пруток через один канал	Пруток в кілька каналів або складний профіль	Кругла труба, отримана за допомогою голки на пресс-штемпелі	Кругла труба, отримана через мовну матрицю
$R_m$	$\frac{0,8\varepsilon}{\cos^2 \frac{\alpha}{2}} \sigma_s D_\kappa^2$	$\frac{0,9(\varepsilon + \varepsilon_0)}{\cos^2 \frac{\alpha}{2}} \sigma_s D_\kappa^2$	$0,9\varepsilon \left( \frac{D_\kappa^2}{\cos^2 \frac{\alpha}{2}} - \frac{d^2}{\cos^2 \frac{\alpha}{2}} \right) \sigma_s$	$1,75\varepsilon D \frac{2}{K} \sigma_s$
$T_m$	$\frac{0,8\varepsilon}{\cos \alpha} D_\kappa^2 f_m \sigma_s$	$\frac{0,8\varepsilon}{\sin \alpha} D_\kappa^2 f_m \sigma_s$	$\frac{1,6}{\sin \alpha} (D_\kappa^2 - d^2) \ln \frac{D_\kappa - d}{D_{u3} - d} f_m \sigma_s$	$1,6 D_\kappa^2 \ln \frac{D_\kappa - d}{D_{u3} - d} f_m \sigma_s$
$T_{kp}$	$\pi D_\kappa (L - h_{y3}) f_\kappa \sigma_s$	$\pi D_\kappa L f_\kappa \sigma_s$	$\pi (D_\kappa + d) L f_\kappa \sigma_s$	$\pi (D_{u3} + d) \ln f_n \sigma_s$
$T_n$	$\lambda \pi D_{u3} \ln f_n \sigma_s$	$\lambda S m l_n f_n \sigma_s$	$\lambda \pi (D_{u3} + d) l_n f_n \sigma_s$	$\lambda \pi (D_{u3} + d) \ln f_n \sigma_s$

При цьому використані наступні позначення:  $\varepsilon$  - натуральний логарифм коефіцієнта витяжки  $l$ ;

$\alpha$  - кут нахилу твірної матриці до осі пресування, при використанні плоскої матриці - це кут нахилу твірної пружною зони,  $\alpha = 60^\circ$ , якщо  $\alpha_m \geq 60^\circ$ ,  $\alpha = \alpha_m$ , якщо  $\alpha < 60^\circ$ ;  $D_k$  - діаметр контейнера;  $D_{уз}$  - діаметр виробу;  $d$  - внутрішній діаметр труби;  $\sigma_s$  - середнє за очагом деформації опір деформації;  $l_n$  - довжина калібруючого пояска матриці;  $\varepsilon_\delta = \ln \sqrt[4]{\frac{F_k}{a_{cp}^2}}$  - додаткова деформація при пресуванні важких профілів;  $F_k$  - площа поперечного перерізу пресс-виробу;  $a_{cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i$  - середня ширина профілю, обумовлена після розбивки поперечного перерізу профілю на  $n$  приблизно прямокутних ділянок рівної ширини;  $\varepsilon_\delta = \frac{1}{4} \ln m$  - при пресуванні  $m$  круглих прутків;  $f_m, f_k, f_n$  - коефіцієнти тертя, відповідно, на бокової поверхні матриці, поверхні контейнера і калібруючого пояска матриці;  $L$  - довжина розпресованого злитка;  $h_{уз}$  - висота пружної зони

$$h_{уз} = \frac{D_k - D_{уз}}{2} (\text{ctg } 60^\circ - \text{ctg } \alpha); \quad (2.4)$$

$S$  - периметр важкого профілю;  $m$  - кількість одночасно одержуваних виробів.

Напруга пресування  $\sigma_{np}$  підраховується як відношення зусилля пресування  $P_k$  площі контакту прес-штемпеля і залишку:

$$\sigma_{np} = \frac{4P}{\pi D_k^2}; \quad (2.5)$$

### Контрольні питання

1. Які складові входять в формулу для визначення зусилля пресування відповідно до методики І.Л. Перліна?
2. Яким чином враховується в методичці визначення зусилля способу пресування - прямий або зворотний?
3. Від яких факторів залежить кожна зі складових зусилля пресування?
4. Як впливає кут матриці на зусилля пресування?
5. Як визначається опір деформації для розрахунку зусилля пресування?
6. На підставі чого призначаються значення коефіцієнтів тертя, що входять до формули?
7. Як підрахувати довжину розпресованого злитка?
8. Яким чином вибирається довжина калібруючого пояска матриці?
9. Як впливає складність прес-вироби на зусилля пресування?
10. З якою величиною слід порівняти отримане в розрахунку зусилля пресування? Який зробити висновок?

## Варіанти завдань до розділу 2

Визначити зусилля пресування для варіантів табл. 2.1. При розрахунку зусилля пресування при виборі довжини заготовки для пресування слід враховувати наступні додаткові обмеження:

1) довжина заготовки не повинна перевищувати ход прес-штемпеля або довжини контейнера. При прямому гарячому пресуванні без мастильних матеріалів відношення довжини заготовки до її діаметру пов'язано з енерговитратами має бути менше  $L_3 / D_3 \leq 3 \div 4$ . При зворотному пресуванні це співвідношення регламентується тільки довжиною втулки контейнера і міцністю порожнього прес-штемпеля -  $L_3 / D_3 \leq 7$ . При пресуванні з мідних сплавів суцільних прес-виробів  $L_3 / D_3 = 2 \div 3,5$ , а труб -  $1 \div 2$ . Це зменшення довжини заготовки пов'язане з інтенсивним охолодженням заготовок під час пресування, а при пресуванні труб зі збільшенням довжини заготовки збільшується їх різностінність;

2) діаметр заготовок повинен відповідати одному з розмірів нормального ряду втулок контейнера для розглянутого преса (табл. 2.2);

**Таблиця 2.2** – Нормальний ряд діаметрів втулок контейнерів гідравлічних пресів

Елементи налагоджень	Сила пресу, МН								
	8,0		12,5			20,0			
Діаметр робочої втулки контейнера, мм	105	115	130	130	150	170	170	200	
Елементи налагоджень	Сила пресу, МН								
	25,0		35,0			50,0			
Діаметр робочої втулки контейнера, мм	200	225	250	250	280	310	310	360	450

3) при виборі діаметра контейнера враховують, що при розміщенні контуру робочого каналу матриці залишалися необхідні зазори між крайніми точками контуру і поверхнею контейнера (табл. 2.3).

**Таблиця 2.3** – Мінімумально допустима відстань від каналу матриці до стінки контейнеру

Діаметр контейнера, мм	85...100	100...150	150...250	250...350	350...400	400
Відстань від каналу матриці до стінки контейнера, мм	15	20	25	30	35	40

4) витяжка при пресуванні повинна перевищувати мінімумально допустиму за умовами опрацювання литої структури  $\lambda \geq 7$ , для тугоплавких металів і сплавів  $\lambda \geq 3$ .

5) максимум витяжки обмежений допустимими технологічними напруженнями (табл. 2.4).

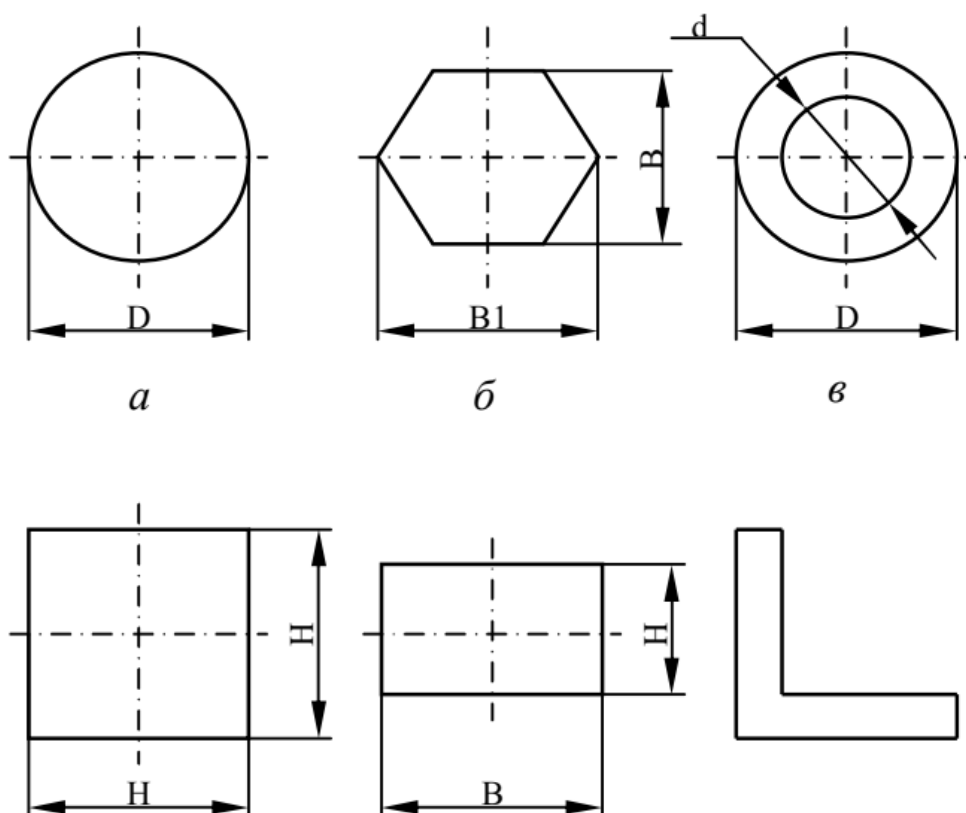
**Таблиця 2.4** – Максимальні витяжки при пресуванні труб і прутків

Матеріал	Витяжка при пресуванні	
	труб	прутків
Мідь	120	300
Латуні	80-100	500-700
Алюмінієві бронзи	35-40	75
Фосфористі бронзи	10-15	30
Мідно-нікелеві сплави	30-50	150
Стали	15-60	12-40
Дюралюмінію (профілі)	20-80	
Оболонки зі свинцю	300-2000	

Розрахунок довжини заготовки для пресування проводять в наступному порядку:

1. За площею поперечного перерізу прес-вироби (рис. 2.1, *a - e*) і допустимої для пресованого сплаву витяжки визначають площу перетину контейнера:

$$F_k = f \cdot \lambda \tag{2.6}$$



**Рисунок 2.1** Пресований профіль різного перетину



2. Визначають розрахунковий діаметр контейнера:  $D_k = \sqrt{4F_k/\pi}$  і вибирають найближчий стандартний діаметр контейнера  $D_k$
3. Знаходять дійсний коефіцієнт витяжки  $\lambda = F_k/f$
4. Призначають діаметр заготовки з урахуванням зазначених вище обмежень.
5. Розраховують довжину заготовки з урахуванням обмежень в п.1.
6. Вибрати пресове обладнання

**Таблиця 2.5** – Вихідні дані для розрахунку

№ варіанту	Матеріал	Рисунок профілю	Розміри профілю	Число каналів
1	Мідь М1	а	Ø12	8
2	Д16	б	Шг 36	1
3	АМг6	в	45*10	1
4	АД31	г	30*30	4
5	М1	д	30*10	6
6	АД31	е	20 × 20 × 2	1
7	АК6	а	Ø80	1
8	Д16	б	Шг 24	1
9	АД31	в	25*2	1
10	АМг6	г	50*50	4

### Практичне завдання №3

## РОЗРАХУНОК ТЕМПЕРАТУРНИХ УМОВ ПРОЦЕСУ ПРЕСУВАННЯ

Температурні режими пресування металів і сплавів є одним з основних параметрів раціональної технології ведення процесу пресування. Температура нагріву пресового інструменту, заготовки для пресування, зміна температури пресованого металу в процесі видавлювання визначають енергосилові параметри процесу, характер течії металу в контейнері, мають вирішальний вплив на стабільність властивостей і структури по довжині й перетину прес-виробу, стійкість пресованого інструменту і в сукупності мають важливий вплив на техніко-економічні показники процесу.

Визначення температурних полів при пресуванні пов'язано з рішенням сполученої, пов'язаної крайової задачі нестационарної теплопровідності. Тому при вирішенні даної задачі виникають значні важкості, що зумовило використання різноманітних методів при проведенні досліджень і здійсненні розрахунків.

Розрахунок температурних умов процесу пресування можна вирішити чисельними методами, так як збільшення мірності, факторності завдання призводять лише до збільшення обсягу обчислень і необхідності застосування ЕОМ з відповідним обсягом пам'яті і швидкодією. У той же час, як і раніше актуальне застосування інженерних методів розрахунку, особливо тоді, коли рішення задачі отримано у вигляді формули і з достатньо точним ступенем точності. У цьому випадку рішення виходить швидше, можна провести аналіз впливу основних параметрів процесу на зміну температурних умов при пресуванні.

Інженерні методи розрахунку температурних умов засновані на рівнянні теплового балансу. Весь обсяг заготовки ділиться на елементарні циліндричні блоки, які під час пресування проходять дві характерні зони по інтенсивності і розташуванню джерел тепла: зона підходу металу до осередку деформації і осередок деформації. Тоді вихідну температуру прес-виробу можна визначити як:

$$t_n(\tau) = t_{10} + \Delta t_{1\tau}(\tau_1) + \Delta t_{\delta}(\tau_{\delta}) \quad (3.1)$$

де  $\tau = \tau_1 + \tau_{\delta}$  - час пресування блоку;  $\Delta t_{1\tau}(\tau_1)$ ,  $\Delta t_{\delta}(\tau_{\delta})$  - зміна температури блоку за час перебування в контейнері ( $\tau_1$ ) перед осередком деформації та час  $\tau_{\delta}$  перебування в осередку деформації.

Для прутків і суцільних профілів:

$$t_{1\tau}(\tau_1) = \frac{4\tau_1}{c_1 y_1 (k_1 + 1) D_k} \left( q_\tau k_1 - \frac{2\Delta T b_1}{\sqrt{\pi \tau_1}} \right) \quad (3.2)$$

- для труб:

$$t_{1\tau}(\tau_1) = \frac{4\tau_1}{c_1 y_1 D_k (1-d^2)} * \left[ \frac{q_\tau k_1}{k_1 + 1} + \frac{q_\tau^n}{k_3 + 1} - \frac{2}{(k_1 + 1) \sqrt{\pi \tau_1}} \left( \Delta t b_1 + \Delta t_H b_3 d \frac{k_1 + 1}{k_3 + 1} \right) \right] + t_{10} \quad (3.3)$$

- для прутків і суцільних профілів:

$$\Delta t_{1\delta}(\tau_\delta) = \frac{q_v \tau_\delta}{c_1 y_1} \left( 1 - \frac{16}{3D(k_1 + 1)} \sqrt{\frac{a_1 \tau_d}{\pi}} \right) + \frac{4\tau_\delta}{c_1 y_1 (k_1 + 1) D} \left( q_\tau k_1 - \frac{2\Delta t b_1}{\sqrt{\pi \tau_\delta}} \right) \quad (3.4)$$

- для труб

$$\Delta t_\delta(\tau_\delta) = \frac{4\tau_\delta}{c_1 y_1 D (1-d^2) (k_1 + 1)} \times \left[ q_1 k_1 + q_\tau^u d \frac{k_1 + 1}{k_3 + 1} - \frac{4}{3} q_v \sqrt{\frac{\tau_d}{\pi}} \left( \sqrt{a_1} + \frac{d b_3 (k_1 + 1)}{c_1 y_1 (k_3 + 1)} \right) - \frac{2}{\sqrt{\pi \tau_\delta}} \right] \\ \times \left( \Delta t_1 b_1 + \Delta t_H b_3 d \frac{k_1 + 1}{k_3 + 1} \right) + \frac{q_v \tau_q}{c_1 y_1} \quad (3.5)$$

де  $b_1 = \sqrt{\lambda_1 c_1 \gamma_1}$ ;  $\lambda_1, c_1, a_1, \gamma_1$  – коефіцієнти акумуляції тепла, теплопровідності, теплоємності, температуропровідності і щільності матеріалів заготовки (індекс 1), втулки контейнера (індекс 2) та ігли (індекс 3);

$D_k, d_u$  – діаметри контейнера та ігли;  $d = d_u / D_k$ ;  $k_1 = b_1 / b_2$ ;  $k_2 = b_2 / b_1$ ;  $k_3 = b_3 / b_1$ ;  $\Delta t = t_{10} - t_{20}$ ;  $\Delta t_u = t_{10} - t_{30}$ ;  $t_{10}; t_{20}; t_{30}$  – початкові температури нагріву заготовки, контейнера і голки;  $q_v = \frac{P}{\tau_d}$ ;  $P$  – питоме зусилля пресування

- для прутка

$$P = \beta \sigma_s \ln \lambda / \cos^2(a/2) \quad (3.6)$$

- для труби

$$P = \frac{2\beta \sigma_s \ln \lambda}{\sqrt{3}(D_k^2 - d_u^2)} \left( \frac{D_k^2}{\cos^2(a/2)} - \frac{d_u^2}{\cos^2(\varphi/2)} \right) \quad (3.7)$$

де  $\beta = 1,1$ ;  $\varphi = \arcsin[(d_u / D_k) \sin a]$ ;  $a = 60^\circ$

$\mu_{mp}$  – коефіцієнт тертя на голці;  $V_{cp}$  – середнє значення швидкості руху пресованого металу на поверхні осередку деформації:

- для прутка

$$V_{cp} = 2,3\lambda v / (\lambda + \sqrt{\lambda} + 1) \quad (3.8)$$

- для труби

$$V_{cp} = (D_k - d_{mp}) / \sqrt{3\tau_\partial}, V_{cp}^u = (D_k - d_u) / \sqrt{3\tau_\partial} \quad (3.9)$$

де  $V$  - швидкість руху пресуючої траверси;  $d_{mp}$  - зовнішній діаметр труби. Час деформації дорівнюватиме:

- для прутка:

$$\tau_\partial = \frac{V_\partial}{F_k v} = \frac{(1 - \cos \alpha)(D_k^2 - d_{np}^3)}{\sin^3 \alpha \cdot D_k^2 \cdot v} \quad (3.10)$$

при  $\alpha \approx 60^\circ$

$$\tau_\partial \approx 0,256(D_k - d_{np} / \lambda) / v \quad (3.11)$$

- для труби:

$$\tau_\partial = \frac{V_\partial}{(F_k - F_n)v}, F_k - F_n = \frac{\pi}{4}(D_k^2 - d_u^2)$$

$$V_\partial = 0,4 \left[ (D_k^2 - 0,75d_u^2)^{3/2} - (d_{mp} - 0,75d_u^2)^{3/2} - 0,5(D_k^2 - d_{mp}^3) \right] \quad (3.12)$$

де  $d_{mp}, d_{np}$  – діаметр прутка та труби, відповідно.

Необхідно відзначити, що при розрахунку зміни температури в осередку деформації необхідно використовувати середнє геометричне значення

$$\sigma_s = \sqrt{\sigma_s^h \cdot \sigma_s^k} \quad (3.13)$$

де  $\sigma_s^h(t(\tau_1)); \sigma_s^k(t_{np})$

Теплофізичні константи пресованих металів і пресового інструмента для температурного інтервалу пресування представлені в табл. 3.1

**Таблиця 3.1** - Теплофізичні константи пресованих металів і пресового інструменту.

№ з/п	Матеріал	Параметри			
		щільність $\gamma$ , $10^3, \text{кг/м}^3$	тепло- провідність , $\lambda, \text{Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$	теплоємність $C, \text{Дж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$	Температуро- провідність $a$ , $10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$
1	2	3	4	5	6
1	Мідь М1	8,94	340	425	89,5
2	Латунь Л68	8,50	230	400	67,6
3	Латунь Л63	8,44	210	400	62,2
4	Латунь ЛС59-1	8,50	160	410	45,9
5	МНЖ 5-1	8,9	230	495	52,2
6	Нікель	8,9	51	550	10,4
7	БрАЖ9-4	7,5	100	440	30,3
8	Мельхіор МНЖМц 30-1-1	8,9	32	455	7,9
9	БрОФ7-0,2	8,9	150	395	42,7
10	Алюмінієві сплави	2,7	225	900	92,5
11	Титанові сплави	4,5	20	540	8,2
12	Цинк	7,1	110	420	36,9
13	Сталь 3ХВ4СФ	7,9	28	680	5,2
14	Сталь 3Х2В8Ф	8,6	26	530	5,7
15	Сталь 50	7,8	36	630	7,3

### Питання для самоконтролю

1. На чому ґрунтуються інженерні методи розрахунку температури пресування?
2. Які відомі чисельні методи для визначення температурних умов процесу пресування?
3. Чому неможливо отримати точне рішення при розрахунку температурних умов процесу пресування?
4. Які основні параметри впливають на зміну температурних умов пресування?
5. Як регулюються температурні умови процесу пресування?
6. Як взаємопов'язані швидкість і температура пресування?
7. Який процес пресування називають «ізотермічним»?
8. За допомогою яких методів визначаються температурні умови пресування?

9. Як вибирається температурний діапазон пресування?
10. Що таке «критична» температура пресування?

### Варіанти завдань до розділу 3

Розрахувати температурні умови процесу пресування для типорозмірів прес-виробів і розмірів заготовки, визначених у розділі 2. Побудувати графіки зміни температур.

Розрахунок температурних умов проводити в наступному порядку:

1. Визначаємо загальний час пресування:

$$\tau_{np} = \frac{L_{3p} - h_{yz}}{v_{np}} \quad (3.14)$$

де  $L_{3p} = \left(\frac{D_3}{D_k}\right)^2$  - довжина розпресованої заготовки;  $h_{yz}$  - висота пружної зони;  $v_{np}$  - швидкість пресування;  $D_3, D_k$  - діаметри заготовки та контейнера відповідно.

2. Знаходимо час перебування пресованого металу перед ОЧПЗ:

$$\tau_1 = \tau_{np} - \tau_d \quad (3.15)$$

де  $\tau_d$  - час перебування в осередку деформації.

3. Вибираємо рівняння реології пресованого металу - залежність  $\sigma_s$  ( $\varepsilon_1, \dot{\varepsilon}_2, T_2$ ) - опір деформації від параметрів деформації.

4. Знаходимо температуру на грані контакту заготовки і контейнера для  $\tau = 0$  та  $\tau = \tau_1$  з:

$$t_{zp}(\tau) = \frac{k_1}{k_1 + 1} \left( \frac{2q_\tau}{b_1} \sqrt{\frac{\tau}{\pi}} + \frac{q_v \tau}{c_1 y_1} + \Delta t \right) + t_{20} \quad (3.16)$$

де тут, ті ж позначення, що і в вище наведених формулах.

5. Розраховуємо  $\sigma_s$  для даних температур за обраним рівнянням реології.

6. Знаходимо середнє геометричне значення для даних значень:

$$\sigma_s = \sqrt{\sigma_{s22}(t_{zp}(0)) * \sigma_{s22}(t_{GP}(\tau_1))} \quad (3.17)$$

7. Визначаємо напругу тертя на грані контакту заготовка-контейнер

$$q_\tau = \mu_{np} \sigma_{s22} v_{np} \quad (3.17)$$

8. Розраховуємо  $\sigma_s(t_{10})$  для температури  $t_{10}$  за вибраним рівнянням реології.
9. Значення, визначені в п.п. 7, 8, підставляємо в рівняння в (3.1) або (3.2) і знаходимо температуру пресованого металу перед ОЧПЗ.
10. Розраховуємо  $\sigma_s(t(\tau_1))$  для температури  $t(\tau_1)$  за вибраним рівнянням реології.
11. Знаходимо середнє геометричне значення для даних значень.

$$\sigma_{sz} = \sqrt{\sigma_{sz}(t_{zp}(0)) * \sigma_{sz}(t_{zp}(\tau_1))} \quad (3.17)$$

12. Визначаємо уточнене значення температури пресованого металу перед ОЧПЗ.
13. Розраховуємо  $\sigma_s^h(t(\tau_1))$  для температури  $t(\tau_1)$  за вибраним рівнянням реології.
14. Аналогічно розраховуємо температуру в ОЧПЗ.

## Практичне завдання №4

### ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕМПЕРАТУРНО-ШВИДКІСНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ПРЕСУВАННЯ ДЛЯ ДОСЯГНЕННЯ МАКСИМАЛЬНОЇ ПРОДУКТИВНОСТІ І НЕОБХІДНОГО РІВНЯ ЯКОСТІ ПРЕС-ВИРОБІВ

Процес пресування є оптимальним, якщо одержувані пресвироби відповідають пропонованим до них вимогам за критеріями якості, а використовувані преси повністю завантажені по зусиллю і продуктивності.

Температурний режим пресування має вирішальне значення для створення оптимальних умов процесу пресування: досягнення максимально-можливої швидкості пресування (ММШП) і необхідної якості пресвиробів. З одного боку, висока температура пресування може привести до зниження якості пресвиробів аж до появи браку, а з іншого, занадто низька температура веде до підвищення опору деформації так, що пресування стає неможливим через перевищення зусилля пресування над зусиллям використовуваного преса. Тому при виборі температурного режиму необхідно уникнути обох зазначених граничних випадків.

Оптимальні температурно-швидкісні режими визначаються в основному дослідним шляхом. У табл. 1 наведені найбільш часто використовувані в пресовому виробництві кольорових металів температурно-швидкісні режими.

Для кількісного рішення даного завдання необхідно представити зміни ММШП у вигляді графічної залежності від температури нагріву заготовки (рис.4.1). Тоді на цій діаграмі буде два сімейства граничних кривих: ліве - межа по зусиллю преса, а праве - межа існування пресованого металу, вище якого відбувається руйнування пресвиробу (гіпотеза «граничної» температури). Очевидно, що оптимальна температура нагріву заготовки, що забезпечує ММШП буде перебувати на перетині даних кривих. Необхідно відзначити, що робочий діапазон розширюється зі збільшенням зусилля використовуваного преса і відведенням надмірного деформаційного тепла під час пресування.

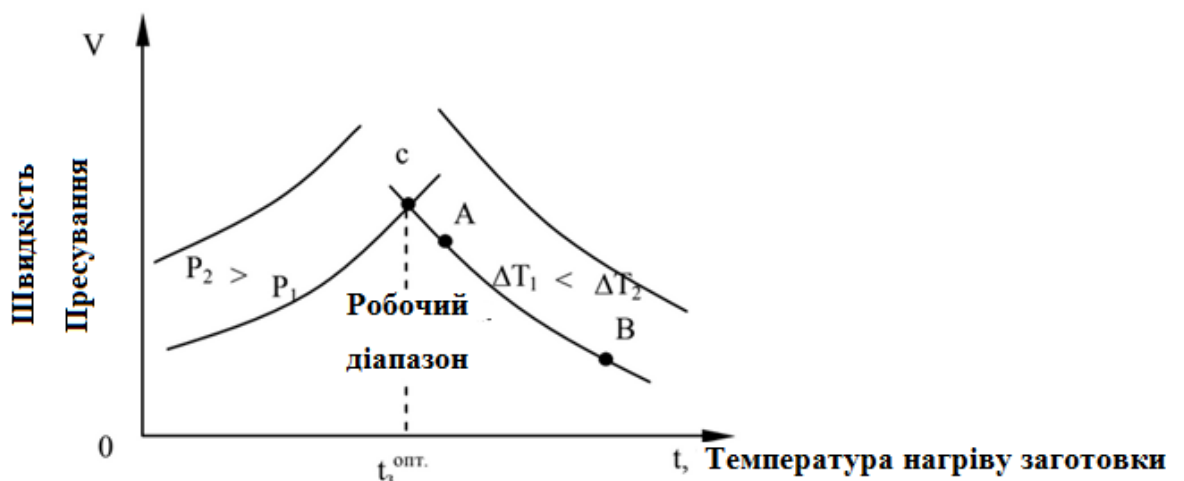


Рисунок 4.1 – Температурно-швидкісні області пресування



Для побудови граничної діаграми в разі пресування конкретному прес-виробу необхідні наступні математичні залежності:

1. опору деформації пресованого металу з урахуванням конкретного хімічного складу металу (рівняння реології)

$$\sigma_s = \sigma(\varepsilon, \varepsilon', T_{np}, XC) \quad (4.1)$$

3. вихідної температури прес-виробів;

4. значення «критичної» температури руйнування даного прес-виробу на виході з каналу матриці. Гранична крива по зусиллю пресування може бути побудована, якщо задані зусилля преса  $P_0$ , технологічні параметри процесу пресування і відома залежність  $\sigma_s$  від швидкості пресування і температури. Для цього вибираємо рівняння реології В.Н. Видріна:

$$\sigma_s = A\varepsilon^B \varepsilon'^C \exp(-DT) \quad (4.2)$$

де  $\varepsilon = \ln \lambda$  - ступінь деформації;  $\varepsilon' = K_v V_{np}$  - швидкість деформації, а  $K_v$  - швидкісний коефіцієнт, визначаємий з формул для пресування прутків - (1.4) та труб - (1.5):

$$\varepsilon_{срп} = \frac{2V_{np} \operatorname{tg} \alpha_m}{D_{оп.окр}} \quad (4.3)$$

$$\varepsilon_{српт} = \frac{2V_{np} \operatorname{tg} \alpha_m}{D_{mp} - d_u} \quad (4.4)$$

де  $V_{np}$  - швидкість пресування;  $\alpha_m$  - кут матриці;  $D_{оп.окр}$ ,  $d_{mp}$  і  $D_u$  - діаметр описаного кола профілю, зовнішній і внутрішній діаметри труби відповідно;  $T$  - температура пресування;  $A$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $D$  - реологічні константи матеріалу, представлені в роботі В.М. Видріна.

Вираз (1.3) можна представити в наступному вигляді:

$$\sigma_s = K_\sigma V_{np}^c \exp(-DT) \quad (4.5)$$

де

$$K_\sigma = A(\ln \lambda)^b K_v^c \quad (4.6)$$

Для здійснення процесу пресування необхідно перевищення зусилля преса  $P_0$  над зусиллям пресування  $P_{np}$ :

$$P_0 = K_0 P_{np} \quad (4.7)$$

де  $K_0$  - коефіцієнт запасу зусилля преса, який дорівнює  $1,1 \div 1,2$ . Для визначення зусилля пресування  $P_{np}$  скористаємося формулою И.Л. Перліна, яку можна представити в наступному вигляді:

$$P_{np} = K_{ynp} \sigma_s \quad (4.8)$$

де  $K_{ynp}$  - коефіцієнт зусилля пресування, що враховує вплив технологічних параметрів на зусилля пресування. Тоді з урахуванням вище наведених виразів отримаємо аналітичну залежність для кривої, обумовленою зусиллям пресування:

$$V_{np} = \left[ \frac{P_0}{K_0 K_{ynp} K_\sigma \exp(-DT)} \right]^{1/c} \quad (4.9)$$

Для знаходження цієї залежності (4.9) в роботах В.М. Видріна, І.Л. Перліна або інших вчених можна знайти необхідні довідкові дані.

В роботі С.В. Беляєва, показано, що гранична крива, обумовлена руйнуванням прес-вироби, з достатнім ступенем точності для інженерних розрахунків лінійно залежить від температури заготовки. Для її знаходження досить знати дві точки, які знаходяться з рівняння вихідної температури прес-виробу. Граничну швидкість пресування визначають методом поступових наближень для конкретних температур нагрівання заготовки, прирівнюючи вихідну температуру що дорівнює «критичної». Значення «критичних» температур для кожного сплаву мають цілком конкретне значення (рис. 4.1) або задаються технологічним регламентом для отримання прес-виробів з заданою якістю. Якщо відсутні довідкові дані, то «критичну температуру можна прийняти рівною  $(0,85 \div 0,95)$  від температури плавлення пресованого металу  $T_{пл}$ .

При побудові «граничної» кривої по температурі використовують рівняння прямої, що проходить через дві точки  $A (T_{31}, v_1)$ ,  $B (T_{32}, v_2)$ , рис. 4.1):

$$\frac{V_{np} - V_1}{V_2 - V_1} = \frac{T - T_{31}}{T_{32} - T_{31}} \quad (4.10)$$

Точка перетину  $C$  даних граничних кривих має координати ММШП і оптимальної для цього температури нагріву заготовки. необхідно відзначити, що оптимальний режим для досягнення ММШП ще не гарантує отримання регламентованого рівня якості прес-виробів. Тому на практиці іноді доводиться жертвувати продуктивністю для досягнення необхідної якості.

### **Питання для самоконтролю**

1. Який процес пресування називається оптимальним?
2. Які відомі методи розрахунку температури пресування?
3. Що впливає на вихідну температуру прес-вироби?
4. Як визначаються на практиці температурно-швидкісні умови пресування?
5. Як знаходиться гранична швидкість пресування ММШП? Від чого вона залежить?
6. Яка температура пресування називається «критичною»?
7. На підставі якої гіпотези будується гранична крива по температурним умов? Який вид цієї кривої?
8. Які параметри пресування необхідні для побудови граничної кривої по зусиллю пресування?
9. За рахунок чого можна розширити робочий температурно-швидкісний діапазон пресування?
10. Які параметри якості прес-виробів залежать від температурно швидкісних умов пресування?

### **Варіанти завдань до розділу 4**

Визначити оптимальні температурно-швидкісні умови процесу пресування для типу-розміру прес-вироби і розміру заготовки, визначених в розділі 2. Побудувати граничні криві. Завдання вирішити графоаналітичним методом.

## Практичне завдання №5

### ПРОЕКТУВАННЯ ПРЕС-МАТРИЦЬ

При проектуванні прес-матриці для даного типорозміру прес-виробу велике значення має вирішення таких питань як:

1. Розташування робочого каналу і каналів при багатоканальному пресуванні на дзеркалі матриці;
2. Вибір способу вирівнювання швидкостей закінчення окремих елементів профілю;
3. Розрахунок розмірів робочих поясків прес-матриці;
4. Визначення виконавчих розмірів робочого каналу.

Від раціонального вирішення цих завдань залежить точність поперечної і поздовжньої геометрії, її стабільність.

При розташуванні робочого каналу або каналів на дзеркалі матриці необхідно, щоб при розміщенні контуру робочого каналу залишалися необхідні зазори між крайніми точками контуру і поверхнею контейнера (табл. 2.3). Це необхідно, щоб уникнути відшарувань на поверхні профілю.

Іншим важливим чинником, що визначає розташування робочого каналу на дзеркалі матриці, є форма поперечного перерізу прес-виробу. За ступенем симетрії всі прес-вироби умовно можна розділити на три групи:

- з поперечним перерізом, симетричним щодо двох координатних осей. У цьому випадку центр ваги перерізу прес-вироби повинен збігатися з геометричним центром прес-матриці;

- з поперечним перерізом, симетричним щодо однієї координатної осі. У цьому випадку вісь симетрії прес-виробу також повинна збігатися з однією з координатних осей прес-матриці;

- з асиметричним поперечним перерізом. Для даної групи прес-виробів, особливо зі значною різнотовщинністю, прагнуть максимально наблизити тонкі полки до центру прес-матриці. Це пов'язано з тим, що швидкості течії  $v_i$  пресованого металу зменшуються в міру віддалення від центру осі контейнера за такою залежністю.

$$\psi_i = \frac{v_i}{v_u} = \cos\left(\frac{4r_i\pi}{5D}\right) \quad (5.1)$$

де  $D$  - діаметр контейнера;  $r_i$  - видалення від осі контейнера,  $v_i$  і  $v_u$  - швидкості течії пресованого металу на видаленні  $r_i$  і на осі контейнера.

Дану особливість враховують при розташуванні каналів при багатоканальному пресуванні: канали розташовують симетрично щодо центру прес-матриці таким чином, щоб тонкі елементи перетинів профілів були звернені до центру прес-матриці, а масивні - до її периферії. При цьому намагаються звести

нерівномірність швидкостей закінчення елементів кожного профілю до мінімуму.

За рахунок раціонального розташування робочого каналу не завжди вдається вирівняти швидкості витікання елементів профілю, тому використовують робочі пояски. Найбільш зручна в застосуванні і отримала підтвердження на практиці методика розрахунку калібрів поясків Альошина В.П.

Канал матриці представляють у вигляді нескінченного числа вписаних в нього кіл (рис. 5.1).

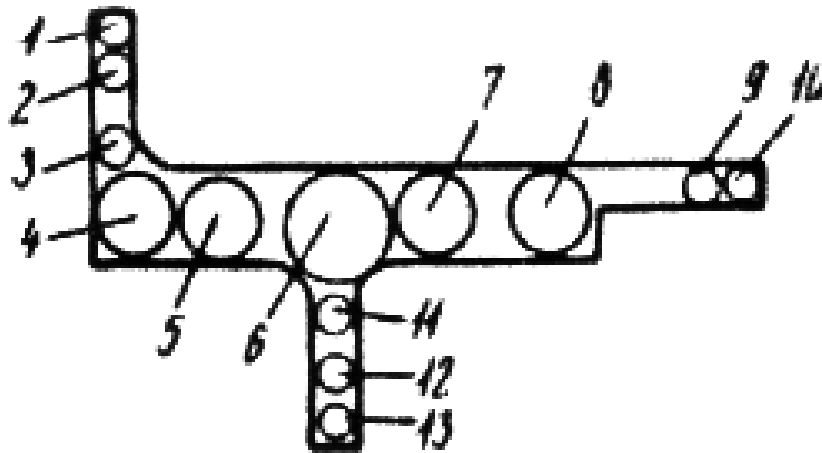


Рисунок 5.1 – Розбивка каналу матриці на вписані кола

Дотичні до вписаного кола обмежують розглянутий елементарну ділянку  $F_i$ , причому вони проводяться паралельно лініям з'єднання точок дотику А, В, С вписаного кола з контуром матриці (рис. 5.2). Для розрахунку робочих поясків вибирають характерні ділянки: місця зчленування, закінчення полиць і прилеглих до них ділянок, а також місця різкої зміни товщини полиць.

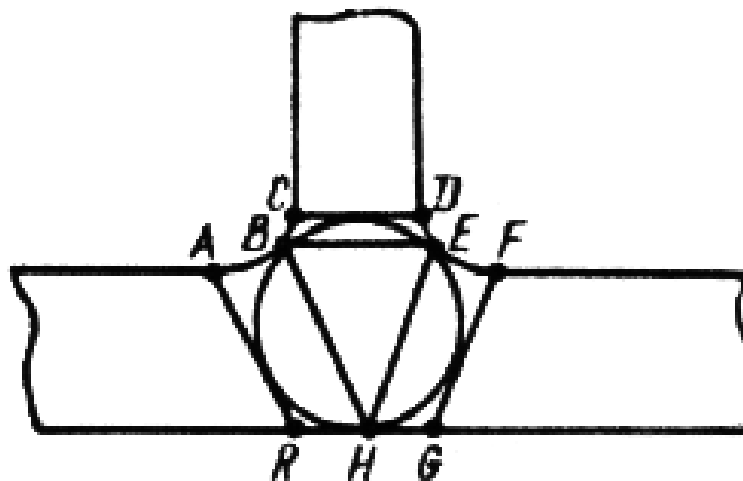


Рисунок 5.2 – Поділ ділянки матриці

Після розбивки визначають площі перетинів  $F_i$  кожної ділянки і поверхню тертя  $\Pi_i * h_i$ , де  $\Pi_i$  - ефективна частина периметра,  $h_i$  - висота робочого пояска. Приймавши умова рівності питомих тисків і швидкостей закінчення окремих ділянок профілю  $n$  і  $m$ , одержимо:

$$\frac{F_n \psi_n i_m}{\Pi_n h_n} = \frac{F_m \psi_m i_n}{\Pi_m h_m} \quad (5.2)$$

Ставлячи мінімальну висоту робочого пояска 1,5 ÷ 2 мм на ділянці, де в першу чергу важке витікання пресованого металу (тонкостінні і вилучені елементи від центру матриці), знаходимо висоти робочих поясків на інших ділянках:

$$h_m = \frac{F_m \Pi_n \Psi_m i_n}{F_n \Pi_m \psi_n i_m} * h_n \quad (5.2)$$

де  $i_n = \frac{F_k}{F_n}$ ;  $F_K$  і  $F_n$  - площі перетину контейнера  $n$ -ого елемента профілю відповідно.

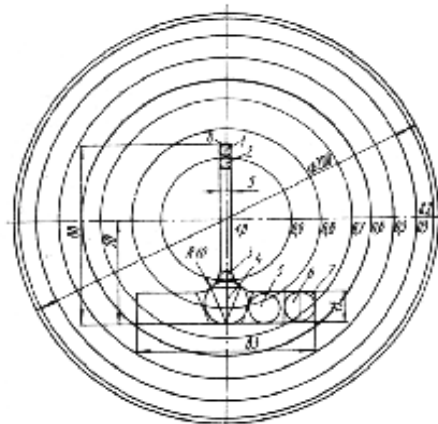
Як приклад, наводиться розрахунок робочих поясків матриці для пресування профілю таврового перетину зі сплаву Д16 в одночкову матрицю на пресі зусиллям 25 МН з контейнера діаметром 200 мм. Контур каналу матриці має розбивку на вісім характерних елементарних участків. Задаємо робочий поясок на ділянці 2 розміром 5 мм. За формулою визначимо його висоту в ділянці 3:

$$h_3 = \frac{F_3 \Pi_2 \psi_3 i_2}{F_2 \Pi_3 \psi_2 i_3} \cdot h_2 = \frac{30 \cdot 10 \cdot 5}{25 \cdot 12} \cdot \frac{0,9}{0,9} \cdot \frac{7,135}{6,953} = 5,1 \text{ мм} \quad (5.3)$$

На ділянці 4 висота робочої ділянки складу

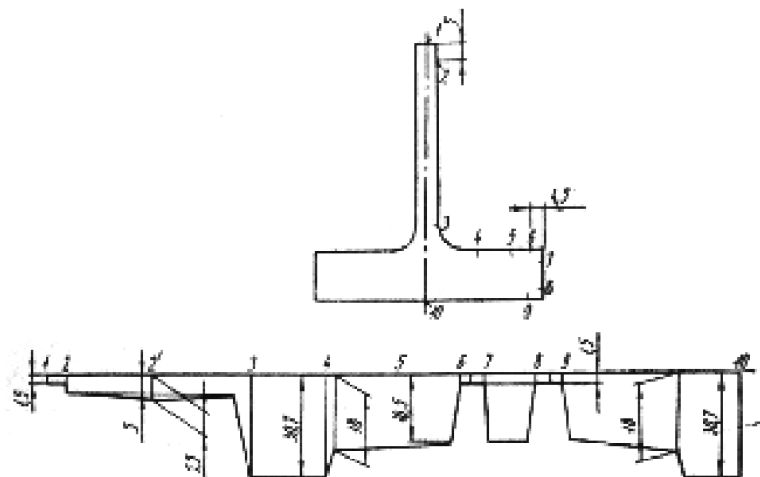
$$h_4 = \frac{F_4 \Pi_2 \psi_3 i_2}{F_2 \Pi_4 \psi_2 i_4} \cdot h_2 = \frac{367,5 \cdot 10 \cdot 5}{25 \cdot 34} \cdot \frac{0,8}{0,9} \cdot \frac{7,135}{4,447} = 30,7 \text{ мм} \quad (5.4)$$

і т.д



**Рисунок 5.3** – Приклад розбивки каналу матриці на характерні елементарні ділянки

Розгортка розрахункових робочих поясків представлена на рис.5.4.



**Рисунок 5.4** – Розгортка розрахункових робочих поясків матриці

При отриманні прес-виробів з довгими консольними елементами, коли відношення довжини консолі до ширини більше 4 або площі консолі до квадрату ширини її основи понад 5, необхідне застосування форкамерних матриць. Основні етапи проектування даних матриць полягають в наступному:

1. Розташування робочих каналів на дзеркалі матриці з урахуванням вищевказаних особливостей;
2. Розрахунок розмірів і вибір форми форкамер з метою вирівнювання швидкостей закінчення і забезпечення отримання прес-виробів зварюванням встик;
3. Розрахунок ширини калібруючого пояса з урахуванням розмірів і форми форкамер.

Для виконання інженерних розрахунків параметрів форкамер М.М. Довженко, отримані наступні формули відносного тиску на вході в форкамеру (рис. 5.5):

$$\frac{P}{2\tau_s} = 1,5 + 1,3 \ln \frac{B}{h_{np}} + f \left[ \frac{\Pi_{фк} (H_{фк} - h_{уз})}{F_{фк}} + \frac{\Pi_{np} h_{кн}}{F_{np}} \right] - \frac{\sigma_{HT}}{2\tau_s} \quad (5.5)$$

де  $H_{фк}$  – висота і  $\Pi_{фк}$  – периметр форкамери;  $h_{np}$  – ширина,  $\Pi_{np}$  – периметр,  $F_{np}$  і  $F_{фк}$  – площа поперечного перерізу профілю і форкамери відповідно;  $h_{кн}$  – висота калібруючого пояса;  $h_{уз}$  – висота пружної зони конусного осередку деформації, кут якого дорівнює:

$$a = \arccos \left( 1 - \frac{\sqrt{3}}{2} m^* \ln \frac{B}{h_{np}} \right), h_{уз} = \frac{D_k - B}{2 \operatorname{tg}(a/2)} \quad (5.6)$$

де  $\sigma_{нт} = (0,1/0,2)\sigma_t$  - напруга натягу,  $\sigma_t$  - межа плинності пресованого металу при температурі пресування;  $\tau_s = f\sigma_s$  - напруга тертя;  $\sigma_s$  - опір деформації;  $f$  - коефіцієнт тертя,  $f < 0,57$ ;  $B$  - ширина форкамери.

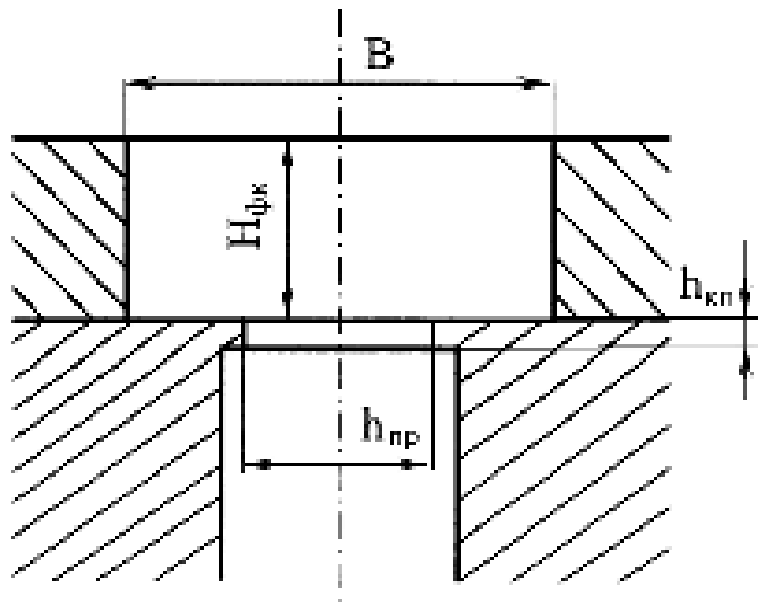


Рисунок 5.5 – Схема форкамери

Для отримання необхідної міцності стикового зварного шва відповідний тиск на вході в форкамеру  $\frac{P}{\sigma_s} \geq 5h_{np}^{0,125}$ , а коефіцієнт витяжки із форкамери

$$\lambda_{2к} = \frac{F_{фк}}{F_{np}} \geq 3.$$

Протяжність зони зварного шва, що піддається нарізці, буде дорівнювати:

$$L = 0,7(\lambda_{2к}^3 - 1)h_{np} \quad (5.7)$$

- для висоти форкамери:

$$H_{фк} = \left( 12,4_{np}^{0,125} - \frac{3\Pi_{np}h_{np}}{F_{np}} + k_n \right) \frac{F_{np}}{\Pi_{фк}} + h_{yx} \quad (5.8)$$

де  $k_h = 0,53/1,05$  при  $\frac{\sigma_{ht}}{\sigma_\tau} = 0,1/0,2$  ;

- для величини еквідистантного видалення контуру форкамери від контуру профілю:

$$\Delta B = \frac{\sqrt{\Pi_{np}^2 + 4F_{np}(\lambda_2 - 1)(N_{вып} - N_{вогн})} - \Pi_{ПР}}{2(N_{вып} - N_{вогн})} \quad (5.8)$$



де  $N_{\text{вып}}$  і  $N_{\text{вогн}}$  – відповідно, число опуклих і увігнутих вершин профілю, причому радіус округлення вважається однією вершиною;

- для ширини форкамери:

$$B_i = B_0 \sqrt{\frac{h_i \psi_0}{h_0 \psi_i}} \quad (5.8)$$

де  $B_0$  - початкова ширина форкамери в перерізі з найбільшою швидкістю витікання пресованого металу.

Методику розрахунку проілюструємо прикладом вибору форкамери для пресування штаби 5·25 мм,  $F_{\text{фк}} = 125 \cdot 3 = 375 \text{ мм}^2$ :

$$\Delta B = \frac{\sqrt{60^2 + 4 \cdot 125(3-1) \cdot (4-0)} - 60}{2(4-0)} = 3,39 \text{ мм} \quad (5.9)$$

- якщо радіуси скрулення кутів  $R < \Delta B$ , то приклад рівен:

$$\Pi_{\text{фк}} = \Pi_{\text{пр}} + 2\Delta B(N_{\text{вып}} - N_{\text{вогн}}) = 60 + 2 \cdot 3,4 \cdot 6 = 100,8 \text{ мм} \quad (5.10)$$

Тоді розрахунковий периметр буде відповідати заданій площі форкамери при  $\Delta B = 3,4$  мм:

$$F_{\text{фк}} = (5 = 6,8) \cdot (25 + 6,8) = 375,24 \quad (5.11)$$

- якщо форкамера має радіус округлення  $R = \Delta B$ , то:

$$\Pi_{\text{фк}} = \Pi_{\text{пр}} + 1,57\Delta B \cdot N_{\text{вып}} - 2,43\Delta B \cdot N_{\text{вогн}} = 60 + 1,57 \cdot 3,4 \cdot 4 - 2,43 \cdot 3,4 \cdot 0 = 81,35 \text{ мм} \quad (5.12)$$

Обчислюємо  $H_{\text{фк}}$ , задавшись шириною калібруючого пояска 2,0 мм і  $k_n = 0,1$ :

$$H_{\text{фк}} = \left( 17,3 \cdot 5^{0,125} - \frac{3 \cdot 60 \cdot 2}{125} + 0,53 \right) \frac{125}{87,2} = 26,87 \text{ мм} \quad (5.13)$$

Виходячи з умов нормалізації розмірів, фактичну висоту  $H_{\text{фк}}$  приймаємо рівною 25 мм, що забезпечить достатні умови по міцності зварного шва.

Для розрахунку виконавчих розмірів каналу матриці рекомендується використовувати формулу:

$$A = A_1(1 + k_y + k_p + k_m) + M \quad (5.13)$$

де  $A_1$  - номінальний розмір профілю;  $M$  - плюсовий допуск на даний розмір профілю, представлений в табл. 5.1;  $k_m$  - величина температурної усадки

профілю  $k_m = t \cdot a - t_1 \cdot a_1$ , де  $t$  і  $t_1$  - температури заготовки і матриці,  $a_1$  і  $a$  - коефіцієнти лінійного розширення матеріалів заготовки і матриці при температурі пресування.  $k_y$ ,  $k_p$  - коефіцієнти, що враховують зменшення розміру елемента профілю, відповідно за рахунок утягнення і при виправленні розтягуванням. Значення  $k_y$  і  $k_p$  представлені в табл. 5.2.

**Таблиця 5.1** - Допуски на розміри прес-виробів

Номинальний розмір, мм	Допуск на виріб, мм	Допуск на розмір, мм		Номинальний розмір, мм	Допуск на виріб, мм	Допуск на розмір, мм	
		верхній	нижній			верхній	нижній
<1,5	±0,15	+0,15	-0,05	>50,0÷75	±0,85	+ 1,0	+0,1
>1,5÷3,0	±0,20	+0,20	-0,05	>75,0÷100	±1,00	+ 1,2	+0,2
>3,0÷6,0	±0,30	+0,30	-0,05	>100,0÷150	±1,30	+ 1,6	+0,3
>6,0÷10,0	±0,35	+0,35	-0,05	>150,0÷200	±1,60	+2,1	+0,5
>10,0÷15,0	±0,40	+0,40	-0,05	>200,0÷250	±1,80	+2,5	+0,7
>15,0÷25,0	±0,45	+0,50	-0,05	>250,0÷300	±1,90	+2,9	+ 1,0
>25,0÷50,0	±0,60	+0,70	+0,05	>300,0÷350	±2,20	+3,4	+ 1,2

**Таблиця 5.2** - Значення коефіцієнтів  $k_y$  і  $k_p$

Розмір елемента профілю	$k_y$	$k_p$
1	2	3
1-3	0,02	0,02
4-20	0,01	0,01
21-40	0,0065	0,008
41-60	0,0055	0,008
61-80	0,004	0,006
81-120	0,0035	0,005
121-200	0,0025	0,004
≥200	0,0015	0,0035

### Питання для самоконтролю

1. Які види прес-матриць застосовують при пресуванні?
2. Які чинники враховують при проектуванні прес-матриць?
3. На які види за ступенем симетрії ділять всі прес-вироби?
4. Які способи вирівнювання швидкості витікання елементів профілю пресованого металу вам відомі?
5. Як розташовують канали прес-виробів на дзеркалі прес-матриці при багатоканальному пресуванні?
6. Які технологічні обмеження необхідно враховувати при конструюванні прес-матриць?
7. На якому принципі побудована методика розрахунку калібрів поясків В.П. Альошина?
8. Що являє собою форкамерна матриця, і коли вона застосовується?

9. Які фактори необхідно враховувати при розрахунку виконавчого розміру робочого каналу прес-матриці?

10. Перерахуйте основні технологічні операції при виготовленні прес-матриць, і з яких матеріалів вони виготовляються?

### **Варіанти завдань до розділу 5**

Розмістіть робочий канал на дзеркалі матриці, визначте висоту робочих поясків і виконавчих розмірів елементів прес-виробу для раніше отриманих варіантів.

## Практичне завдання №6

### ВИЗНАЧЕННЯ РОЗМІРІВ ЗАГОТОВКИ ДЛЯ ПРЕСУВАННЯ

Розміри заготовки для пресування визначаються, виходячи з потужності преса, розмірів прес-виробів, умов досягнення максимальної продуктивності і найбільшого виходу придатного.

При пресуванні відходи ділять на оборотні (поворотні) і безповоротні. До безповоротних відходів відносять втрати металу, пов'язані з окисненням в нагрівальних печах перед пресуванням. Дані втрати залежать від типу печі, виду палива, часу і температури нагріву. У методичних печах, що обігріваються газом, угар досягає 0,2% від маси зливка, а в індукційних печах він становить 0,1%.

Основний обсяг відходів на пресовому переділі складають зворотні або, так звані, геометричні відходи: прес-залишок, пробка при пресуванні труб, обріз переднього і заднього кінців прес-виробів, зразки для механічних та інших видів випробувань, прес-сорочка.

У початковий момент пресування передній кінець прес-виробу відрізняється за властивостями, а також має підвищену розностінність в разі пресування труб. Тому ця частина прес-виробу відрізається, довжина обрізу переднього кінця в залежності від розмірів виробів становить приблизно п'ять діаметрів описаного кола профілю і змінюється в межах від 50 до 200 мм.

В силу особливостей відділення прес-вироби від прес-залишку на пресах його геометрія заднього кінця буває порушена. Крім того, на задньому кінці прес-вироби може бути виявлена прес-утяжина. Тому роблять обрізку заднього кінця прес-виробу довжиною від 50 до 1000 мм в залежно від величини прес-залишку.

При пресуванні труб з прошивкою неминуче утворення і відділення пробки, діаметр якої дорівнює діаметру матриці, а її первісна довжина може бути заданою 2/3 довжини злитка. Величина прес-залишку при пресуванні жорстко регламентується для усунення попадання центральної і бічної утяжин в прес-виробі. В даний час відсутні будь-які чіткі рекомендації за величиною прес-залишку. Розміри його встановлюють дослідним шляхом, за емпіричними залежностям:

- при прямому процесі пресування

$$h_{no} = (0,22 \div 0,25)D_k \quad (6.1)$$

- при зворотному процесі

$$h_{no} = (0,12 \div 0,15)D_k \quad (6.2)$$

де  $D_k$  - діаметр контейнера.

Для визначення розмірів прес-залишку можна скористатися нижче наведеними табл. 6.1 і 6.2 при пресуванні з різних контейнерів.

**Таблиця 6.1** – Залежність висоти прес-залишку  $h_{no}$  від діаметра контейнера  $D_k$  і довжини заготовки  $L_3$  при пресуванні виробів з алюмінієвих сплавів.

$D_k$ , мм	Витяжка, $\lambda$	Висота прес-залишку $h_{no}$ , мм, при довжині заготовки $L_3$ мм										
		200	250	300	350	400	500	600	700	800	900	1000
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
122	10-29	30	40	45	50	60	75	-	-	-	-	-
130	30-59	25	30	35	40	45	55	-	-	-	-	-
150	10-29	35	45	50	55	60	75	-	-	-	-	-
	30-59	30	35	40	45	50	60	-	-	-	-	-
170	10-29	40	45	50	55	60	75	-	-	-	-	-
	30-59	35	40	45	50	55	60	-	-	-	-	-
200	10-29	-	-	-	55	60	75	90	100	-	-	-
	30-59	-	-	-	50	55	65	65	75	-	-	-
225	10-29	-	-	-	-	60	75	90	105	120	-	-
250	30-59	-	-	-	-	55	65	70	80	90	-	-
270	10-29	-	-	-	-	70	75	90	105	120	-	-
	30-49	-	-	-	-	60	65	70	80	90	-	-
310	10-29	-	-	-	-	75	80	95	110	125	140	-
	30-49	-	-	-	-	60	65	70	80	90	100	-
360	5-19	-	-	-	-	-	80	100	115	130	145	-
	20-39	-	-	-	-	-	70	80	90	105	120	-
420	3-9	-	-	-	-	-	-	110	120	135	150	165
	10-29	-	-	-	-	-	-	90	105	135	140	150
500	3-9	-	-	-	-	-	-	120	125	135	150	170
	10-29	-	-	-	-	-	-	100	105	120	140	150

**Таблиця 6.2** – Висота прес-залишків  $h_{no}$  при пресуванні виробів з кольорових металів на горизонтальних пресах

Пресований метал	Прес-виріб	$h_{no}$ , мм при $D_k$ , мм					
		155	180	205	255	306	408
Мідь	Труби	15-80	20-25	20-35	20-45	20-45	30-45
	Прутки Профілі	25-30	30-35	30-40	30-40	30-40	35-40
Л63	Труби	30-35	25-40	30-40	35-40	35-50	30-60
	Прутки Профілі	-	25-45	40-45	40-45	40-45	35-40
БрАЖ, БрАЖМу	Труби	35-40	40-45	40-45	40-45	40-45	40-45

Необхідно відзначити, що при виборі розміру заготовки для пресування слід враховувати наступні додаткові обмеження:

1. довжина заготовки не повинна перевищувати ходу прес-штемпеля або довжини контейнера. При прямому гарячому пресуванні без мастильних матеріалів відношення довжини заготовки до її діаметру пов'язано з енерговитратами і має бути менше  $L_3/D_3 \leq 3 \div 4$ . При зворотному пресуванні це співвідношення регламентується тільки довжиною втулки контейнера і міцністю порожнього прес-штемпеля -  $L_3/D_3 \leq 7$ . При пресуванні з мідних сплавів суцільних прес-виробів  $L_3/D_3 \leq 2 \div 2,5$ , а труб -  $2 \div 2,5$ . Це зменшення довжини заготовки пов'язане з інтенсивним охолодженням заготовок під час пресування, а при пресуванні труб зі збільшенням довжини заготовки збільшується їх різностіності;

2. діаметр заготовок повинен відповідати одному з розмірів нормального ряду втулок контейнера для розглянутого преса (табл. 6.3):

3. діаметр заготовки вибирають з урахуванням вільної подачі нагрітої заготовки в контейнер:  $D_3 = (0,965 \div 0,975) D_k$  (табл. 6.3);

4. при виборі діаметра контейнера враховують, щоб при розміщенні контуру робочого каналу матриці залишалися необхідні зазори між крайніми точками контуру і поверхнею контейнера (табл.2.3);

**Таблиця 6.3 – Елементи налагоджень гідравлічних пресів**

Елементи налагоджень	Сила пресу, МН								
	8,0			12,5			20,0		
Діаметр робочої втулки контейнера, мм	95	105	115	115	130	150	170	200	
Граничне тиск в контейнері, МПа	1030	860	720	1150	910	708	890	635	
Діаметр заготовки, мм	92	102	112	112	127	146	162	192	
Елементи налагоджень	Сила пресу, МН								
	25,0			35,0			50,0		
Діаметр робочої втулки контейнера, мм	200	225	250	250	280	310	310	360	420
Граничне тиск в контейнері, МПа	795	625	510	714	570	464	663	490	360
Діаметр заготовки, мм	192	217	240	240	268	295	295	345	405

5. витяжка при пресуванні повинна перевищувати мінімально-допустиму за умовами опрацювання литої структури  $\lambda \geq 7$ , для тугоплавких металів і сплавів  $\lambda \geq 5$ ,

6. максимум витяжки обмежений допустимими технологічними напруженнями (табл. 6.3);

7. при визначенні довжини заготовки враховують схему розкрою метала, яка повинна враховувати кратність прес-виробів в одній пресуванні.

У загальному випадку довжину заготовки визначають за формулою:

$$L_3 = \frac{[(l_{nu} + \Delta l) \cdot m + l_{ko}] \cdot n \cdot f}{F_3} + h_{no} \mu_p \quad (6.3)$$

де  $l_{nu}$  - довжина готового прес-вироби;  $\Delta l$  - припуск на довжину;  $m$  - кратність прес-виробів в пресуванні;  $l_{ko}$  - довжина кінцевого обрізу і зразків на аналіз механічних властивостей, на макро- і мікроструктуру;  $n$  - число каналів в матриці;  $F_3$  і  $f$  - площі перерізу заготовки і готового прес-вироби з урахуванням плюсових допусків;  $h_{no}$  - висота прес-залишку;  $\mu_p$  - коефіцієнт розпресування заготовки в контейнері,

$$\mu_p = \frac{F_K}{F_3} = \left( \frac{D_K}{D_3} \right)^2 \quad (6.4)$$

Розрахунок розмірів заготовки для пресування проводять в наступному порядку:

1. За площею поперечного перерізу прес-вироби  $f$  і допустимої для пресованого сплаву витяжки  $\lambda$  визначають площу перетину контейнера:

$$F_K = f \cdot \lambda \quad (6.5)$$

2. Визначають розрахунковий діаметр контейнера:

$$D_K = \sqrt{\frac{4F_K}{\pi}} \quad (6.6)$$

3. Вибирають найближчий стандартний діаметр контейнера  $D_K$  (табл.3.1).

4. Обчислюють дійсний коефіцієнт витяжки

$$\lambda = \frac{F_K}{f} \quad (6.7)$$

5. Призначають діаметр заготовки з урахуванням зазначених вище обмежень.

6. Розраховують довжину заготовки за вищеведеною формулою і з урахуванням обмежень (табл. 6.3).

7. Розраховують масу заготовки, вихід придатного, запуск металу:

$$G_3 = V_3 \cdot \gamma_3 = \frac{\pi D_3^2 L_3}{4}, G_{nu} = L_{cd} G_{noz\mu} \quad (6.8)$$

$$\eta = \frac{G_3 - G_{nu}}{G_3} \cdot 100\% \quad (6.9)$$

$$G_{зан} = \frac{1000 \cdot 100}{\eta} \quad (6.10)$$

де  $G_3$ ,  $V_3$ ,  $L_3$ ,  $D_3$ ,  $\gamma_3$  - маса, обсяг, довжина, діаметр, щільність заготовки;  $G_{ni}$  - маса прес-вироби від одного пресування;  $L_{cd}$  - сдаточна довжина прес-виробу;  $G_{noz\mu}$  - маса погонного метра прес-виробу;  $\eta$  - вихід придатного, геометричні та незворотні відходи,%;  $G_{зан}$  - запуск металу на 1 т придатного.

### Питання для самоконтролю

1. Якими параметрами обумовлений вибір витяжки при пресуванні?
2. Що є безповоротними і зворотніми відходами?
3. Чому видаляють передню і задню частини прес-виробу?
4. Що таке прес-залишок, і для чого він потрібен?
5. Як вибирають діаметр заготовки для пресування?
6. Що таке нормальний ряд діаметрів втулок контейнерів, і для чого він потрібен?
7. Як розраховують довжину заготовки для пресування?
8. Які обмеження необхідно враховувати при виборі розмірів заготовки для пресування?
9. Що таке вихід придатного, і як він залежить від розмірів заготовки?
10. Як отримують заготовку для пресування, і яким підготовчими операціями вона піддається перед пресуванням?

### Варіанти завдань до розділу 6

Визначити розміри заготовки для пресування, діаметр контейнера, зусилля преса, запуск металу на 1 т придатного для раніше отриманих варіантів.



## Рекомендована література:

1. Третьяков О.В., Трофимов Г.К., Зюзін В.І. Механічні властивості металів і сплавів при обробці металів тиском. - М.: Металургія, 1974. - 272 с.
2. Полухін П.І., Гун Г.Я., Галкін А.М. Опір пластичної деформації металів і сплавів: Довідник. - М.: Металургія, 1983. - 352 с.
3. Суяров Д.І., Лель Р.В., Гілевич Ф.С. Зміцнення і роззміцнення металів і сплавів при обробці тиском: Довідник. 2-е вид., Перераб. і доп. Горький, ДПП, 1975. - 75 с.
4. Смирнов-Аляєв Г.А. Опір матеріалів пластичної деформації. -М.: Машигиз, 1978. - 368 с. Дуглас, Алтан. Конструювання і технологія машинобудування. - М.: Мир, 1975, т. 97, № 1, с. 71-80.
5. Алтан, Боулджер. Конструювання і технологія машинобудування. - М.: Мир, 1973, т. 94, № 4, с. 107-120.
6. Охрименко Я.М., Щерба В.Н., Недуг А.В., Карнаухов А.К., Боровиков А.С. Висновок рівнянь зв'язку властивостей алюмінієвих сплавів з параметрами гарячого деформування. Кольорові метали, 1983, № 2, с. 66-69.
7. Микляєв П.Г., Дуденков В.М. Опір деформації і пластичність алюмінієвих сплавів. - М.: Металургія, 1979. -183 с.
8. Смирнов-Аляєв Г.А., Чікідовській В.П. Експериментальні дослідження в обробці металів тиском. - Л.: Машинобудування, 1972. - 360 с.
9. Шевакін Ю.Ф., Грабарник Л.М., Нагайцев А.А. Пресування важких металів і сплавів. - М.: Металургія, 1987. - 246 с.
10. Райтбарг Л.Х. Виробництво пресованих профілів. - М.: Металургія, 1984. - 246 с.
11. Щерба В.Н., Райтбарг Л.Х. Технологія пресування металів. - М.: Металургія, 1995. - 336 с.
12. Перлін І.Л., Райтбарг Л.Х. Теорія пресування металів. - М.: Металургія, 1975. - 448 с.
13. Беляєв С.В. Розробка, дослідження та впровадження процесу пресування алюмінієвих сплавів з примусово охолоджувального інструменту. Автореферат на здобуття наукового ступеня к.т.н.- Мінськ, БГПІ, 1992. -18 с. 51
14. Лівшиць Б.Г., Крапошін В.С., Лінецький Я.П. Фізичні властивості металів і сплавів. - М.: Металургія, 1980. -315 с.
15. Смірягин А.П., Смірягин Н.А., Белова А.В. Промислові кольорові метали і сплави: Довідник. - М.: Металургія, 1974. -488 с. Масленков С.Б. Жароміцні сталі і сплави: Довідник. - М.: Металургія, 1983. -191 с.
16. Єрманок М.З., Фейгін В.І., Сухоруков Н.А. Пресування профілів з алюмінієвих сплавів. - М.: Металургія, 1977. -264 с.
17. Довженко М.М. Розвиток теорії і вдосконалення процесів пресування і волочіння, інженерних методів проектування і прогнозування з метою поліпшення якості продукції. Автореферат на здобуття наукового ступеня д.т.н. .. - М., МИСиС, 2002. - 46 с.
18. Альошин В.П. Розрахунок робочих поясків пресових матриць. Технологія легких сплавів. - 1990, № 1, с. 30-33.