

## 7.4 Приклад виконання завдання № 7 б

Визначити максимальне обтиснення за прохід в кліті при прокатуванні листа із сталі 45, якщо допустиме обтиснення прокатки 45 МН, а максимальний момент 4,2 МН·м. Товщина листа на вході в кліть 140 мм, ширина 3200 мм, швидкість прокатки 4,4 м/с. Валки з відбіленого чавуну діаметром 1100 мм. Температура металу 1000°C.

### *Рішення*

Розрахунок максимального обтиснення виконується за схемою, представленою на рис. 7.3.

1. Знаходимо коефіцієнт тертя:

$$f = 0,94 - 0,0005 \cdot t - 0,056 \cdot v = 0,94 - 0,0005 \cdot 1000 - 0,056 \cdot 4,4 = 0,1936.$$

Для захвату металу валками необхідно, щоб кут захвату  $\alpha$  дорівнював, або був менший кута тертя  $\beta$ , тобто  $\alpha \leq \beta$ . Оскільки  $\beta = f$ , то кут захвату при максимальному обтиснення  $\alpha \leq 0,1936$  рад.

2. Визначаємо максимальне обтиснення за прохід:

$$\Delta h_{max} = \frac{D \cdot \alpha^2}{2} = \frac{1100 \cdot 0,1936^2}{2} = 20,615 \text{ мм.}$$

Приймаємо  $\Delta h_{max} = 20$  мм.

3. Визначаємо кут захвату:

$$\alpha = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta h}{D}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 20}{1100}} = 0,1907 \text{ рад } (\alpha < \beta).$$

4. Визначаємо товщину листа після проходу:

$$h_1 = h_0 - \Delta h = 140 - 20 = 120 \text{ мм.}$$

5. Визначаємо відносне обтиснення:

$$\varepsilon = \frac{\Delta h}{h_0} = \frac{20}{140} = 0,143 = 14,3 \text{ \%}.$$

6. Розраховуємо довжину дуги захвату:

$$l_d = \sqrt{\frac{D \cdot \Delta h}{2}} = \sqrt{\frac{1100 \cdot 20}{2}} = 104,88 \text{ мм.}$$

7. Визначаємо показник форми осередку деформації:

$$\frac{l_d}{h_{cp}} = \frac{2 \cdot l_d}{h_0 + h_1} = \frac{2 \cdot 104,88}{140 + 120} = 0,81.$$

8. Розраховуємо середню швидкість деформації штаби:

$$U = \frac{v \cdot \varepsilon}{l_d} = \frac{4400 \cdot 0,143}{104,88} = 5,99 \text{ с}^{-1}.$$

9. Розраховуємо істину межу текучості листа (формула 7.3, табл. 7.1):

$$\sigma_s = \frac{A \cdot \varepsilon^B \cdot U^C}{e^{D \cdot t_0}} = \frac{1303 \cdot 0,143^{0,28} \cdot 5,99^{0,143}}{2,72^{0,0025 \cdot 1000}} = 80,13 \text{ МПа.}$$

10. Розраховуємо коефіцієнт напруженого стану:

$$n_\sigma = \left( \frac{l_d}{h_{cp}} \right)^{-0,21} = 0,81^{-0,21} = 1,046.$$

11. Розраховуємо середній контактний тиск металу на валки:

$$p_{cp} = 1,15 \cdot \sigma_s \cdot n_\sigma = 1,15 \cdot 80,13 \cdot 1,046 = 96,4 \text{ МПа.}$$

12. Визначаємо зусилля прокатки:

$$F = p_{cp} \cdot b \cdot l_d = 96,4 \cdot 3200 \cdot 104,88 \cdot 10^{-6} = 32,35 \text{ МН } (F < F_{доп}).$$

13. Розраховуємо момент прокатки:

$$\psi = 0,68 + 0,0018\varepsilon - 0,31 l_d/h_{cp} = 0,68 + 0,0018 \cdot 0,143 - 0,31 \cdot 0,81 = 0,43;$$

$$M_{пр} = 2F \cdot \psi \cdot l_d = 2 \cdot 32,35 \cdot 0,43 \cdot 104,88 = 2,919 \text{ МН} \cdot \text{м } (M_{пр} < M_{доп}).$$

Додаткові розрахунки показують, що  $\Delta h=21$  мм не проходить по куту захвату.

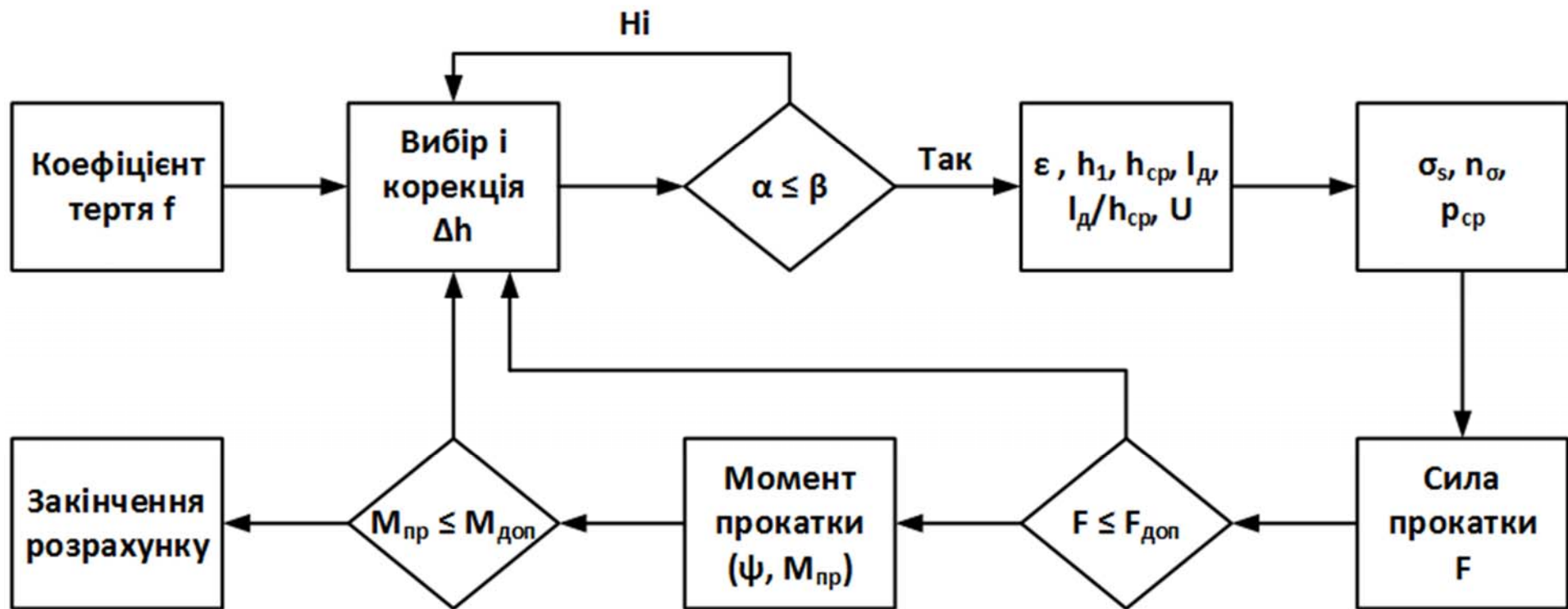


Рисунок 7.3 – Блок – схема розрахунку максимального обтиснення при гарячому прокатуванні

## 7.5 Варіанти індивідуальних завдань № 7 б

Таблиця 7.5 - Вихідні дані для розрахунку максимального обтиснення при гарячому прокатуванні

Варіант	$F_{\text{доп}}$ , МН	$M_{\text{доп}}$ , МН·м	$h_0$ , мм	$b$ , мм	$v$ , м/с	$D$ , мм	$t$ , °С
Приклад	45	4,2	140	3200	4,4	1100	1000
1	44	4,1	145	3150	4,5	1095	1055
2	43	4,0	150	3100	4,6	1090	1060
3	42	3,9	155	3050	4,7	1085	1065
4	41	3,8	160	3000	4,8	1080	1070
5	40	3,7	165	2950	4,9	1075	1075
6	39	3,6	170	2900	5,0	1070	1080
7	38	3,5	175	2850	5,1	1065	1085
8	37	3,4	180	2800	5,2	1060	1090
9	36	3,3	135	2750	5,3	1055	1095
10	35	3,2	130	2700	5,4	1000	1100
11	46	4,3	125	2650	5,5	1005	1105
12	47	4,4	120	2600	5,5	1010	1110
13	48	4,5	115	2550	5,4	1015	1115
14	49	4,6	110	2500	5,8	1020	970
15	50	4,7	105	2450	5,9	1025	965
16	51	4,8	100	2400	6,0	1030	995
17	52	4,9	95	2350	6,1	1035	990
18	53	5,0	90	2300	6,2	1040	985
19	54	5,1	85	2250	6,3	1045	980
20	55	5,2	80	2200	6,4	1050	975

7.6 Програма для розрахунку максимального обтиснення при гарячому прокатуванні (завдання № 7 б) відповідно до блок-схеми на рис. 7.3, розроблена у програмі Mathcad

Варіант №  $j := 0$

---

$s := \text{READEXCEL}(\text{".\Исходные данные задачи 7.xlsx"}, \text{"Лист1!B2:H22"})$

$F_{\text{доп}} := (s^{(0)})_j = 45$        $M_{\text{доп}} := (s^{(1)})_j = 4.2$        $h_0 := (s^{(2)})_j = 140$        $b := (s^{(3)})_j = 3200$

$v := (s^{(4)})_j = 4.4$        $D := (s^{(5)})_j = 1100$        $t := (s^{(6)})_j = 1000$

$Z := \Delta h \leftarrow 0$ while $\Delta h < \Delta h_{max}$ <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <tr><td><math>\Delta h \leftarrow \Delta h + 0.00001</math></td></tr> <tr><td><math>\alpha \leftarrow \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta h}{D}}</math></td></tr> <tr><td><math>h_1 \leftarrow h_0 - \Delta h</math></td></tr> <tr><td><math>\varepsilon \leftarrow \frac{\Delta h}{h_0}</math></td></tr> <tr><td><math>l_\partial \leftarrow \sqrt{\frac{\Delta h \cdot D}{2}}</math></td></tr> <tr><td><math>U \leftarrow \frac{v \cdot 1000 \varepsilon}{l_\partial}</math></td></tr> <tr><td><math>\sigma_s \leftarrow \frac{1303 \cdot \varepsilon^{0.28} \cdot U^{0.143}}{e^{0.0025 \cdot t}}</math></td></tr> <tr><td><math>n_\sigma \leftarrow \left( \frac{2 \cdot l_\partial}{h_0 + h_1} \right)^{-0.21}</math></td></tr> <tr><td><math>p_{cp} \leftarrow 1.15 \cdot \sigma_s \cdot n_\sigma</math></td></tr> <tr><td><math>F \leftarrow p_{cp} \cdot b \cdot l_\partial \cdot 10^{-6}</math></td></tr> <tr><td><math>\psi \leftarrow 0.68 + 0.0018 \cdot \varepsilon - 0.31 \cdot \frac{2 \cdot l_\partial}{h_0 + h_1}</math></td></tr> <tr><td><math>M_{np} \leftarrow 2 \cdot F \cdot \psi \cdot l_\partial \cdot 10^{-3}</math></td></tr> <tr><td>if <math>F \geq F_{\partial on} \vee M_{np} \geq M_{\partial on}</math></td></tr> <tr><td>       break</td></tr> </table> <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <tr><td><math>\Delta h</math></td></tr> <tr><td><math>\alpha</math></td></tr> <tr><td><math>h_1</math></td></tr> <tr><td><math>\varepsilon</math></td></tr> <tr><td><math>l_\partial</math></td></tr> <tr><td><math>U</math></td></tr> <tr><td><math>\sigma_s</math></td></tr> <tr><td><math>n_\sigma</math></td></tr> <tr><td><math>p_{cp}</math></td></tr> <tr><td><math>F</math></td></tr> <tr><td><math>\psi</math></td></tr> <tr><td><math>M_{np}</math></td></tr> </table>	$\Delta h \leftarrow \Delta h + 0.00001$	$\alpha \leftarrow \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta h}{D}}$	$h_1 \leftarrow h_0 - \Delta h$	$\varepsilon \leftarrow \frac{\Delta h}{h_0}$	$l_\partial \leftarrow \sqrt{\frac{\Delta h \cdot D}{2}}$	$U \leftarrow \frac{v \cdot 1000 \varepsilon}{l_\partial}$	$\sigma_s \leftarrow \frac{1303 \cdot \varepsilon^{0.28} \cdot U^{0.143}}{e^{0.0025 \cdot t}}$	$n_\sigma \leftarrow \left( \frac{2 \cdot l_\partial}{h_0 + h_1} \right)^{-0.21}$	$p_{cp} \leftarrow 1.15 \cdot \sigma_s \cdot n_\sigma$	$F \leftarrow p_{cp} \cdot b \cdot l_\partial \cdot 10^{-6}$	$\psi \leftarrow 0.68 + 0.0018 \cdot \varepsilon - 0.31 \cdot \frac{2 \cdot l_\partial}{h_0 + h_1}$	$M_{np} \leftarrow 2 \cdot F \cdot \psi \cdot l_\partial \cdot 10^{-3}$	if $F \geq F_{\partial on} \vee M_{np} \geq M_{\partial on}$	break	$\Delta h$	$\alpha$	$h_1$	$\varepsilon$	$l_\partial$	$U$	$\sigma_s$	$n_\sigma$	$p_{cp}$	$F$	$\psi$	$M_{np}$	$Z =$ <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <tr><td>20</td></tr> <tr><td>0.1907</td></tr> <tr><td>120</td></tr> <tr><td>0.1429</td></tr> <tr><td>104.8809</td></tr> <tr><td>5.9932</td></tr> <tr><td>80.1283</td></tr> <tr><td>1.0461</td></tr> <tr><td>96.3975</td></tr> <tr><td>32.3528</td></tr> <tr><td>0.4302</td></tr> <tr><td>2.9192</td></tr> </table>	20	0.1907	120	0.1429	104.8809	5.9932	80.1283	1.0461	96.3975	32.3528	0.4302	2.9192
$\Delta h \leftarrow \Delta h + 0.00001$																																							
$\alpha \leftarrow \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta h}{D}}$																																							
$h_1 \leftarrow h_0 - \Delta h$																																							
$\varepsilon \leftarrow \frac{\Delta h}{h_0}$																																							
$l_\partial \leftarrow \sqrt{\frac{\Delta h \cdot D}{2}}$																																							
$U \leftarrow \frac{v \cdot 1000 \varepsilon}{l_\partial}$																																							
$\sigma_s \leftarrow \frac{1303 \cdot \varepsilon^{0.28} \cdot U^{0.143}}{e^{0.0025 \cdot t}}$																																							
$n_\sigma \leftarrow \left( \frac{2 \cdot l_\partial}{h_0 + h_1} \right)^{-0.21}$																																							
$p_{cp} \leftarrow 1.15 \cdot \sigma_s \cdot n_\sigma$																																							
$F \leftarrow p_{cp} \cdot b \cdot l_\partial \cdot 10^{-6}$																																							
$\psi \leftarrow 0.68 + 0.0018 \cdot \varepsilon - 0.31 \cdot \frac{2 \cdot l_\partial}{h_0 + h_1}$																																							
$M_{np} \leftarrow 2 \cdot F \cdot \psi \cdot l_\partial \cdot 10^{-3}$																																							
if $F \geq F_{\partial on} \vee M_{np} \geq M_{\partial on}$																																							
break																																							
$\Delta h$																																							
$\alpha$																																							
$h_1$																																							
$\varepsilon$																																							
$l_\partial$																																							
$U$																																							
$\sigma_s$																																							
$n_\sigma$																																							
$p_{cp}$																																							
$F$																																							
$\psi$																																							
$M_{np}$																																							
20																																							
0.1907																																							
120																																							
0.1429																																							
104.8809																																							
5.9932																																							
80.1283																																							
1.0461																																							
96.3975																																							
32.3528																																							
0.4302																																							
2.9192																																							