

## 5 ВИТЯГАННЯ ПОРОЖНИСТИХ ДЕТАЛЕЙ

### (Завдання № 9)

#### 5.1 Основи виконання технологічних розрахунків

Заготовки при витяганні розраховують за принципом рівності площ поверхонь (або об'ємів) заготовки і готової деталі з припуском на обрізання [7].

Є три методи розрахунку: аналітичний, графічний і графоаналітичний. Всі вони допустимі для будь-якого виду штампового виробництва. Але, перший найбільш універсальний і доступний для технолога і конструктора, його переваги - можливість використання сучасної обчислювальної техніки, висока точність. Обчислення діаметра заготовки можна звести до розрахунку за формулами для найбільше поширених форм витягнутих деталей, які наведені в [7, 8].

Для витяжок, не потребуючих більшої точності, розрахунок ведеться за зовнішніми розмірами деталі. Якщо витягання ведеться без різання деталей із матеріалу товщиною більше 1 мм, розрахунки виконують по середній лінії. Рекомендуємі припуски на обрізання після витягання вибирають в залежності від висоти виробу і діаметра фланця.

Метод розрахунку та побудови форми заготовки при витяганні прямокутних коробчастих деталей в значній мірі залежить від відносної висоти коробки  $H/B$  і відносного радіуса кутового закруглення.

В залежності від співвідношення указаних параметрів спостерігається різне витиснення металу в бічні стінки, тому встановлені окремі області, яким відповідають різні способи побудови форми заготовки.

Розміри заготовок при витяганні в стрічці з надрізами розраховують таким самим чином, як і при витяганні із штучних заготовок. Якщо витягання ведеться в цілій стрічці, розраховують діаметр умовної заготовки з рахунком коефіцієнта уточнення (для однорядного витягання  $\alpha = 0,96...0,98$ ; для багаторядної  $\alpha = 0,92...0,95$ ):

$$F_{\text{загот}} = A \cdot \alpha. \quad (5.1)$$

Число переходів при витяганні залежить від пластичності і структурного стану металу. Критерієм для визначення числа переходів служить граничне значення ступеня деформації, тобто припущений коефіцієнт витягання. Числові значення мінімальних коефіцієнтів витягання наведені в [7, 8]. Розміри на переходами циліндричних деталей з фланцем і без нього розраховують по відомим мінімально допустимим коефіцієнтам витягання [7, 8].

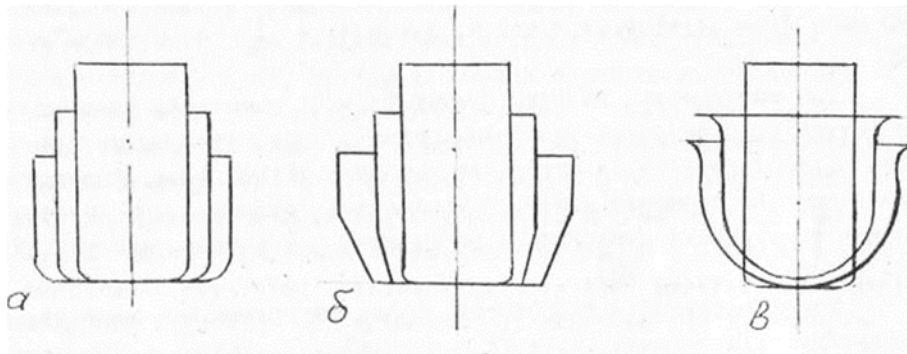
При витяганні деталей типу тіл обертання, проміжні переходи в плані завжди потрібні, але форма їх утворюючих може бути різною.

Проміжні переходи для циліндричних деталей зводяться до трьох основних форм:

- з плоским дном і закругленням  $r$  (рис. 5.1, а);
- з дном у вигляді перерізаного конуса (рис. 5.1, б);

– із сферичним дном (рис. 5.1, в).

Ці форми можуть бути з фланцем і без нього в залежності від обраного технологічного процесу і заданого креслення. Якщо фланець незначно більше діаметра витягання, то один або декілька переходів виконуються без нього, а потім в наступних операціях утворюється фланець.



**Рисунок 5.1** - Проміжні переходи для циліндричних деталей

Коли деталь задана з великим фланцем, то всі проміжні переходи виконуються також з фланцем.

Перша форма допустима при будь-яких розмірах циліндра, друга - практично мало допустима для циліндрів діаметром менше 20 мм, але при великих діаметрах вона доцільніше першої.

Третя форма зручна для дрібних деталей і особливо при послідовному витяганні в стрічці (штабі).

Радіуси закруглення кромки матриць і пуансонів, призначених для витягання порожнистих деталей, приймають за таблицями, наведеними в [7], або розраховують за формулою:

$$r_m \approx K \sqrt{(D - d) \cdot S}, \quad (5.2)$$

де  $K$  – коефіцієнт, який залежить від товщини металу;

$S$ , мм	до 0,6	0,6 - 1	1 - 2	2 - 4	4 - 6	6 - 10
$K$	1,0	0,9	0,85	0,8	0,7	0,6

$D$  – діаметр плоскої заготовки або попереднього витягання, мм;

$d$  - діаметр деталі після даного переходу витягання, мм;

$S$  – товщина штампуемого металу, мм.

Радіуси закруглення пуансона  $r_{II}$  для перших переходів рекомендується приймати рівними радіусам матриці  $r_m$ . Проте, при відповідних значеннях коефіцієнтів витягання допускається зменшення радіусів пуансонів до  $r_{II} = 0,5 \dots 1 \cdot S$ .

У процесі калібрування і чеканення можна отримати деталі радіусів  $r_{II} < 0,5 \cdot S$ .

На кожному переході радіуси закруглення  $r_M$  і  $r_{II}$  повинні бути різними. На 1 переході вони досягають максимальних значень, а на наступних - зменшуються на 25 %, тобто приймаються  $0,75 \cdot r_{Mi}$  і  $0,75 \cdot r_{Pi}$ . Спочатку доцільно назначити радіуси матриць і пуансонів для останнього переходу. Витягання проводиться з притиском заготовки і без нього. Необхідність застосування притиску належить встановити за формулою:

$$\frac{D}{S} \cdot 100 \leq 4,5 \cdot (1 - m_1), \quad (5.3)$$

Для кожного переходу однобічний зазор між матрицею і пуансоном приймається в залежності від товщини металу: для I –  $Z_1 = (1,3 - 1,5) \cdot S$ ; для II –  $Z_2 = (1,2 - 1,3) \cdot S$ ; для III і наступних  $Z_3 = Z_4 = (1,1 - 1,2) \cdot S$ .

Розмір зазору між матрицею і пуансоном при витяганні порожнистих деталей з утоншенням матеріалу:  $Z_B = 0,65 - 0,85$ .

Для кольорових металів коефіцієнт  $K$  можна приймати по нижній межі, а для сталей - по верхній.

Зусилля витягання порожнистої циліндричної деталі можна визначити за формулами:

$$P_1 = \pi \cdot d_1 \cdot S \cdot \sigma_B \cdot C_1; \quad (5.4)$$

$$P_2 = \pi \cdot d_2 \cdot S \cdot \sigma_B \cdot C_2; \quad (5.5)$$

$$P_n = \pi \cdot d_n \cdot S \cdot \sigma_B \cdot C_n. \quad (5.6)$$

де  $d_1, d_2, d_n$  - діаметр деталі відповідно після першої, другої і останньої витягання;  $C_1, C_2, C_n$  - поправочний коефіцієнт відповідно для першої, другої і наступної операцій витягання.

Наведем значення оптимальних коефіцієнтів витягання у відповідності з поправочними коефіцієнтами:

m	0,55	0,575	0,6	0,625	0,65	0,675	0,7	0,725	0,75	0,8
$C_1$	1,0	0,93	0,86	0,79	0,72	0,66	0,6	0,55	0,5	0,4
$C_2-C_n$	-	-	-	-	-	-	1,0	0,95	0,9	0,8

Зусилля витягання деталей будь-якої складної форми без наявності перетяжних ребр (порогів) визначається за формулою:

$$P = (P_B + P_r) \cdot K, \quad (5.7)$$

де  $P_B$  - зусилля, яке необхідне для витягання кутів закруглень (це зусилля розраховують за формулою для витягання циліндричних деталей);  $P_r$  - зусилля, яке необхідне для вигину прямих дільниць; коефіцієнт  $K = 1,1 \dots 1,2$ .

Зусилля притиску при витяганні деталей будь-якої форми (в загальному вигляді).

$$Q = F \cdot q, \quad (5.8)$$

де  $F$  - площа заготовки під притиском,  $q$  - питоме зусилля притиску.

Повне зусилля витягання, необхідне для підбору преса дорівнює:

$$P_{\text{пр}} = P + Q. \quad (5.9)$$

Як запобігання розривів заготовки до початку процесу витягання, максимальна швидкість повинна бути на крупних пресах  $V_{\text{max}} = 15 \dots 45$  см/с, на невеликих  $V_{\text{max}} = 70$  см/с.

Максимальну швидкість витягання можна визначити за емпіричною формулою:

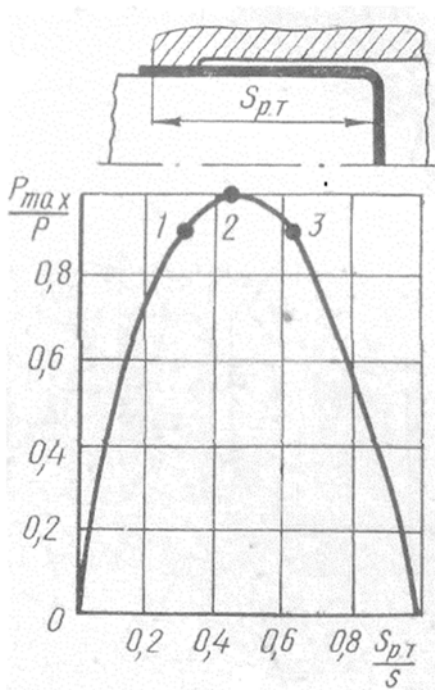
$$V_{\text{max}} = 3,33 \cdot (1 + m_1) \cdot \sqrt{D - d_1}, \quad (5.10)$$

або

$$V_{\text{max}} = 0,105 \cdot v_b \cdot \sqrt{H \cdot (H - h)} \quad (5.11)$$

де  $v_b$  – швидкість обертання валу об/хвил;  $h$  – робоча частина ходу (від початку деформації), мм;  $H$  – повний хід повзуна, мм.

Графік робочих навантажень при витяганні без фланця «напрорал» можна збудувати за трьома характерними точками (рис. 5.2):



1 – з координатами  $0,9 \cdot P_{\text{max}}$  і  $0,3 \cdot S_P$ ;

2 – з координатами  $P_{\text{max}}$  і  $0,42 \cdot S_P$ ;

3 – з координатами  $0,9 \cdot P_{\text{max}}$  і  $0,63 \cdot S_P$ .

**Рисунок 5.2** – Побудова графіку робочих навантажень при витяганні

Повний робочий хід  $S_P$  приймається рівним висоті  $H$  виробу.

Прес вибирається по зусиллю, роботі, потужності, деформації, величині і швидкості ходу, закритій висоті і розмірам штапового простору. Щоб легше було видаляти відштаповані деталі, хід витягаючого повзуна повинен в 2,2 – 2,5 рази перевищувати висоту деталі.

## 5.2 Розрахунок параметрів технології витягання порожнистого циліндра

Розрахувати параметри технології витягання порожнистого циліндра (рис. 5.3, а).

Вихідна заготовка – лист

0 - 1,0 x 1000 x 2000 ДСТУ 19904 - 74

1 - м - ОСВ - 08Ю ДСТУ 9045 - 80

Річна програма - 100 тис. шт.

Згідно випуску (програми) деталей вид виробництва - серійний.

В умовах серійного виробництва рекомендується використовувати операційні штампи, які встановлюються на універсальних пресах. Відповідно до вимог технологічності конструктивної форми, радіус дна витягнутого виробу не повинен перебільшувати  $3S$ . Відхилення на зовнішньому діаметрі складає не менше 0,7 мм, а від площини дна - не менше 0,9 мм. Ці значення можуть бути отримані на останній операції калібрування. Відхилення  $\pm 2$  мм по висоті деталі забезпечується при обрізанні [7]. Радіус дна 1 мм. Припуск на обрізання  $\Delta h = 9$  мм [8], тобто висота виробу після калібрування  $h_6 = 240 + 9 = 249$  мм.

В залежності від зовнішнього діаметру готового виробу  $d$ , діаметр плоскої заготовки дорівнює:

$$D_0 = (d^2 + 4 \cdot d \cdot h_B - 1,72 \cdot r \cdot d - 0,56 \cdot r^2)^{0,5} \\ = (100^2 + 4 \cdot 100 \cdot 249 - 1,72 \cdot 1 \cdot 100 - 0,56 \cdot 1^2)^{0,5} \approx 331 \text{ мм.}$$

При багатоопераційному інтенсивному витяганні помітно збільшується площа поверхні заготовки, що враховується введенням коефіцієнта  $\beta = 1,06$  [7], тому доцільно виробити заготовку діаметром:

$$D_p = D_0 / \beta = 331 / 1,06 \approx 312 \text{ мм.}$$

Оптимальні коефіцієнти витягання із заготовки, відносна товщина якої  $(S/D) \cdot 100 = (1/312) \cdot 100 = 0,32$  %, складають:  $m_1 = 0,56$ ;  $m_2 = 0,76$ ;  $m_3 = 0,78$ ;  $m_4 = 0,96$ . Витягання відбувається з притиском [8]. Визначаємо кількість переходів:

$$n_{\text{переходи}} = 1 + \frac{\ln d - \ln(m_1 \cdot D_p)}{\ln m_2} = 1 + \frac{\ln 100 - \ln(0,56 \cdot 312)}{\ln 0,76} = 3,03.$$

Приймаємо 4 переходи.

Діаметри переходів:

$$d_1 = m_1 \cdot D_p = 0,56 \cdot 312 = 175 \text{ мм;}$$

$$d_2 = m_2 \cdot d_1 = 0,76 \cdot 175 = 133 \text{ мм;}$$

$$d_3 = m_3 \cdot d_2 = 0,78 \cdot 133 = 104 \text{ мм;}$$

$$d_4 = m_4 \cdot d_3 = 0,96 \cdot 104 = 100 \text{ мм.}$$

Для полегшення процесу витягання приймаємо форму дна із скривленням під кутом  $45^\circ$  (рис. 5.3, б-г). Висота конічних ділянок за переходами:  $a_1 = 21$  мм;  $a_2 = 14,5$  мм;  $a_3 = 2$  мм. Діаметри дна переходів  $d_k$  при витяганні деталей з перерізанним конусом:  $d_{k1} = d_2$ ;  $d_{k2} = d_3$  і т.д. Для даного випадку  $d_{k1} = 133$  мм.

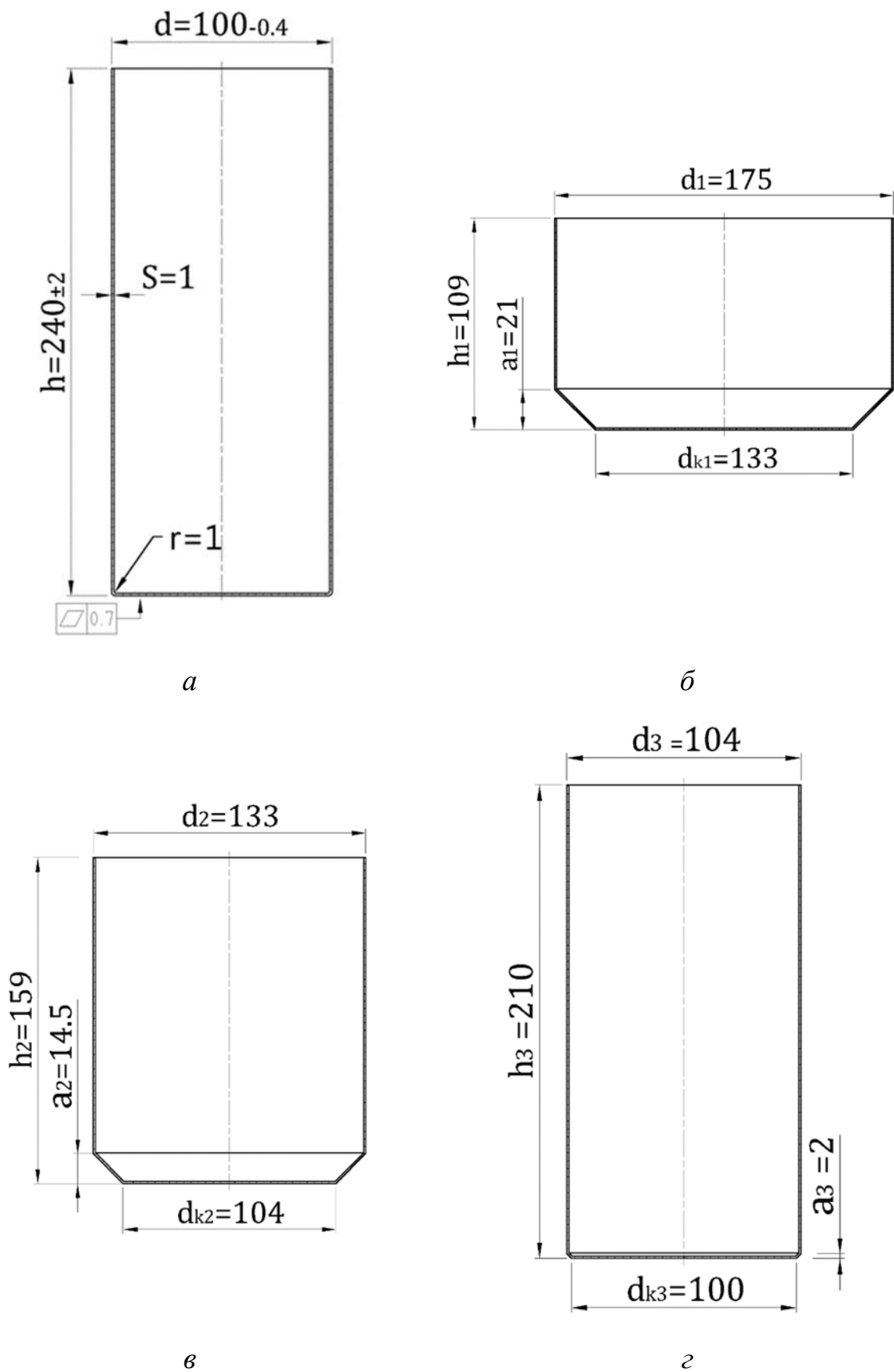


Рисунок 5.3 – Креслення деталі (а) і схеми переходів витягання (б-г)

Тому:

$$a_1 = \frac{d_1 - d_{k1}}{2} = \frac{175 - 133}{2} = 21 \text{ мм};$$

$$a_2 = \frac{d_2 - d_{k2}}{2} = \frac{133 - 104}{2} = 14,5 \text{ мм};$$

$$a_3 = \frac{d_3 - d_{k3}}{2} = \frac{104 - 100}{2} = 2 \text{ мм}.$$

Висота деталей, які витягаються після кожної операції дорівнює:

$$\begin{aligned} h_1 &= 0,25 \cdot \left( \frac{D_p}{m_1} - d_1 \right) + 0,57 \cdot \left( \frac{a_1}{d_1} \right) \cdot (d_1 + 0,86 \cdot a_1) \\ &= 0,25 \cdot \left( \frac{312}{0,56} - 175 \right) + 0,57 \cdot \left( \frac{21}{175} \right) \cdot (175 + 0,86 \cdot 21) = 109 \text{ мм}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h_2 &= 0,25 \cdot \left( \frac{D_p}{m_1 \cdot m_2} - d_2 \right) + 0,57 \cdot \left( \frac{a_2}{d_2} \right) \cdot (d_2 + 0,86 \cdot a_2) = 0,25 \cdot \left( \frac{312}{0,56 \cdot 0,76} - \right. \\ &133 \left. \right) + 0,57 \cdot \left( \frac{14,5}{133} \right) \cdot (133 + 0,86 \cdot 14,5) = 159 \text{ мм}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h_3 &= 0,25 \cdot \left( \frac{D_p}{m_1 \cdot m_2 \cdot m_3} - d_3 \right) + 0,57 \cdot \left( \frac{a_3}{d_3} \right) \cdot (d_3 + 0,86 \cdot a_3) \\ &= 0,25 \cdot \left( \frac{312}{0,56 \cdot 0,76 \cdot 0,78} - 104 \right) + 0,57 \cdot \left( \frac{2}{104} \right) \cdot (104 + 0,86 \cdot 2) \\ &= 210 \text{ мм}. \end{aligned}$$

Аналогічно  $h_4 = 249$  мм.

Заготовка діаметром  $d_{заг} = 104$  мм і висотою  $h_3 = 210$  мм надходить на IV операцію калібрування. Висока пластичність матеріалу І-М-ОСВ-08Ю (ДСТУ 9045-80) та оптимальні технологічні параметри дозволяють виконувати усі операції без проміжного відпалу [7].

### 5.3 Розрахунок силових умов витягання порожнистого циліндра

Визначаємо силові умови витягання: зусилля витягання і зусилля притиску на операціях штамповки полого циліндру (рис. 5.3).

На I операції вирубається плоска заготовка діаметром  $D_p = 312$  мм і товщиною  $S = 1$  мм, тобто  $S/D_p < 0,2$ . Тому:

$$\sigma_{ср} = 0,8 \cdot \sigma_b = 0,8 \cdot 323 = 258,4 \text{ МПа}.$$

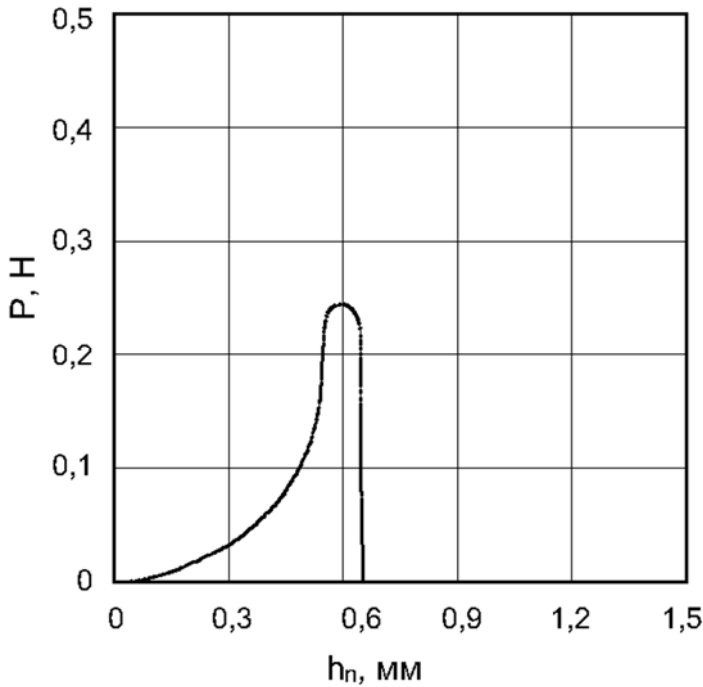
Значення  $\sigma_b$  для сталі І-М-ОСВ-08Ю приймаємо за ДСТУ 9045-80. Максимальне зусилля вирубаня:

$$P = \pi \cdot D_p \cdot S \cdot \sigma_{ср} \cdot 10^{-6} = 3,14 \cdot 312 \cdot 1 \cdot 258,4 \cdot 10^{-6} = 0,25 \text{ МН}.$$

Абсциса точки з максимальним зусиллям на графіку робочих навантажень при  $n = 70$  (число ходів преса у хвилину) визначається:

$$h_n = S \cdot (0,76 - 0,035 \cdot S - 0,0014 \cdot n) = 1 \cdot (0,76 - 0,035 \cdot 1 - 0,0014 \cdot 70) = 0,62 \text{ мм.}$$

Графік зусилля деформації при вирубанні зображений на рис. 5.4.



**Рисунок 5.4** – Графік робочих навантажень

Для виконання операції по ДСТУ 9408-83 вибираємо однокривошипний відкритий прес простої дії з номінальним зусиллям 0,4 МН моделі К2124 з розмірами стола  $L \times B = 710 \times 580$  мм; закрита висота 340 мм.

Максимальне зусилля на операціях витягання (див. рис. 5.3, б-г) розраховується за формулою:

$$P_n = \pi \cdot d_n \cdot S \cdot \sigma_b \cdot C_n \cdot 10^{-6}.$$

Після підстановки відповідних кількісних значень отримаємо:

$$P_1 = 3,14 \cdot 175 \cdot 1 \cdot 323 \cdot 1,1 \cdot 10^{-6} = 0,2 \text{ МН,}$$

$$P_2 = 3,14 \cdot 133 \cdot 1 \cdot 323 \cdot 1 \cdot 10^{-6} = 0,13 \text{ МН,}$$

$$P_3 = 3,14 \cdot 104 \cdot 1 \cdot 323 \cdot 1 \cdot 10^{-6} = 0,1 \text{ МН.}$$

На рис. 5.5 показані графіки робочих навантажень витягання, які побудовані за описаною раніше методикою.

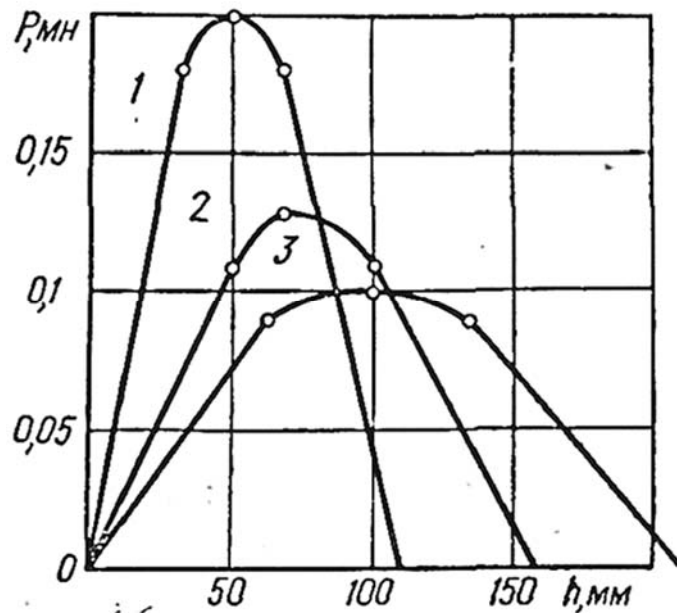
Тиск притиску на I операції витягання визначається:

$$q_1 = 2 \cdot \left( \frac{D_p}{d_1} - 1,2 \right) \cdot \left( \frac{D_p}{S \cdot 100} \right) = 2 \cdot \left( \frac{312}{175} - 1,2 \right) \cdot \left( \frac{312}{1 \cdot 100} \right) \approx 3,6 \text{ МПа.}$$

На наступних операціях можна приймати менший тиск:

$$q_{2,3} = 2 \cdot \left( \frac{175}{133} - 1,2 \right) \cdot \left( \frac{175}{1 \cdot 100} \right) \approx 0,4 \text{ МПа.}$$





**Рисунок 5.5** – Графіки робочих навантажень при витяганні у першому (1), другому (2) і третьому (3) переходах

Радіус закруглення витяжних кромки матриць  $r_m$  вибирається в залежності від відносної товщини заготовки і коефіцієнта витягання. На всіх операціях приймаємо  $r_m = 8$  мм.

Зусилля притиску на  $n$ -ій операції витягання визначається за формулою:

$$Q_n = 0,25 \cdot \pi \cdot [d_{n-1}^2 - (d_n + 2 \cdot r_m)^2] \cdot q_n \cdot 10^{-6}.$$

Після підстановки числових значень отримаємо:

$$Q_1 = 0,25 \cdot 3,14 \cdot [312^2 - (175 + 2 \cdot 8)^2] \cdot 3,6 \cdot 10^{-6} \approx 0,175 \text{ МН};$$

$$Q_2 = 0,25 \cdot 3,14 \cdot [175^2 - (133 + 2 \cdot 8)^2] \cdot 0,4 \cdot 10^{-6} \approx 0,003 \text{ МН};$$

$$Q_3 = 0,25 \cdot 3,14 \cdot [133^2 - (104 + 2 \cdot 8)^2] \cdot 0,4 \cdot 10^{-6} \approx 0,001 \text{ МН}.$$

Прес для витягання вибираємо по технологічним зусиллям і за умови, що хід  $H$  витяжного повзуна повинен у 2,5 рази перебільшувати висоту деталі, тобто  $H > 2,5 \cdot 249 = 623$  мм. Цім вимогам відповідав прес однокривошипний, закритий, подвійної дії з номінальним зусиллям витяжного повзуна 3,15 МН, притискного 2 МН і ходом витяжного повзуна  $H = 630$  мм. Швидкість інструмента до початку процесу витягання визначається за формулою:

$$v \approx 0,105 \cdot v_B \cdot \sqrt{h_B \cdot (H - h_B)} = 0,105 \cdot 12 \cdot \sqrt{249 \cdot (623 - 249)} \approx 384 \text{ мм/с}.$$

Кількість неперервних ходів повзуна за хвилину приймаємо  $n = 12$  (ДСТУ 7639-75). Висота робочої частини ходу  $h$  прийнята рівною максимальній висоті заготовки. Отримане значення швидкості відповідає рекомендованому для операцій витягання [7].

## 5.4 Варіанти індивідуальних завдань розрахунку параметрів технології і силових умов витягання порожнистого циліндра

Варіант	d	h	S	r	$\Delta h$	$\beta$	$m_1$	$m_2$	$m_3$	$m_4$	$\sigma_b$	n	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$r_m$	$\vartheta_b$
Приклад	100	240	1	1	9	1,06	0,56	0,76	0,78	0,96	323	70	1,1	1	1	8	12
1	101	242	1	1	8	1,06	0,57	0,77	0,79	0,96	324	70	0,93	0,95	0,8	5	13
2	102	244	1	1	8	1,06	0,58	0,78	0,8	0,96	325	70	0,86	0,9	0,95	6	14
3	103	246	1	1	8	1,06	0,56	0,76	0,78	0,96	326	70	0,79	0,8	0,9	7	10
4	104	248	1	1	8	1,06	0,57	0,77	0,79	0,96	327	70	0,72	0,95	0,8	8	11
5	105	250	1	1	8	1,06	0,58	0,78	0,8	0,96	328	70	0,66	0,9	0,8	9	12
6	106	252	1	1	8	1,06	0,56	0,76	0,78	0,96	329	70	0,6	0,8	0,95	10	13
7	107	254	1	1	8	1,06	0,57	0,77	0,79	0,96	330	70	0,55	0,95	0,9	5	14
8	108	256	1	1	8	1,06	0,58	0,78	0,8	0,96	331	70	0,5	0,9	0,8	6	10
9	109	258	1	1	8	1,06	0,56	0,76	0,78	0,96	332	70	0,4	0,8	0,95	7	11
10	110	260	1	1	8	1,06	0,57	0,77	0,79	0,96	333	70	1,1	0,95	0,9	8	12
11	99	238	1	1	9	1,06	0,58	0,78	0,8	0,96	322	70	0,93	0,9	0,8	9	13
12	98	236	1	1	9	1,06	0,56	0,76	0,78	0,96	321	70	0,86	0,8	0,95	10	14
13	97	234	1	1	9	1,06	0,57	0,77	0,79	0,96	320	70	0,79	0,95	0,9	5	10
14	96	232	1	1	9	1,06	0,58	0,78	0,8	0,96	319	70	0,72	0,9	0,95	6	11
15	95	230	1	1	9	1,06	0,56	0,76	0,78	0,96	318	70	0,66	0,8	0,9	7	12
16	94	228	1	1	9	1,06	0,57	0,77	0,79	0,96	317	70	0,6	0,95	0,8	8	13
17	93	226	1	1	9	1,06	0,58	0,78	0,8	0,96	316	70	0,55	0,9	0,95	9	14
18	92	224	1	1	9	1,06	0,56	0,76	0,78	0,96	315	70	0,5	0,8	0,9	10	10
19	91	222	1	1	9	1,06	0,57	0,77	0,79	0,96	314	70	0,4	0,95	0,95	5	11
20	90	220	1	1	9	1,06	0,58	0,78	0,8	0,96	313	70	1,1	0,9	0,9	6	12
21	109	258	1	1	8	1,06	0,56	0,76	0,78	0,96	312	70	0,93	0,8	0,8	7	13
22	110	260	1	1	8	1,06	0,57	0,77	0,79	0,96	311	70	0,86	0,95	0,95	8	14
23	99	238	1	1	9	1,06	0,58	0,78	0,8	0,96	310	70	0,79	0,9	0,9	9	10
24	98	236	1	1	9	1,06	0,56	0,76	0,78	0,96	334	70	0,72	0,8	0,95	10	11
25	97	234	1	1	9	1,06	0,57	0,77	0,79	0,96	335	70	0,66	0,95	0,9	9	12