

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Національний університет «Запорізька політехніка»**

**Методичні вказівки**

до практичних занять з курсу  
«Проектування та розрахунок штампового  
оснащення для холодного штампування»  
для студентів спеціальності 131 Прикладна механіка,  
спеціалізації «Обладнання та технології пластичного  
формування конструкцій машинобудування»  
всіх форм навчання  
Частина I

**2024**

Методичні вказівки до практичних занять з курсу «Проектування та розрахунок штампового оснащення для холодного штампування» для студентів спеціальності 131 Прикладна механіка, спеціалізації «Обладнання та технології пластичного формування конструкцій машинобудування» всіх форм навчання Частина I /Укл. В.В. Широкобоков. – Запоріжжя: НУ “Запорізька політехніка», 2024. – 28 с.

Укладач: В.В. Широкобоков, доц., к.т.н.

Рецензент: А.Ю. Матюхін, доц., к.т.н.

Відповідальний за випуск: В.В. Широкобоков, доц., к.т.н.

Затверджено  
на засіданні кафедри ОМТ  
протокол № 8 від 26.06.2024

Рекомендовано до видання  
НМК машинобудівного факультету  
протокол № 1 від 27.08.2024

**ЗМІСТ**

<b>ВСТУП</b> .....	<b>4</b>
<b>1 КОНСТРУЮВАННЯ ДЕЯКИХ ТИПОВИХ ДЕТАЛЕЙ ТА ВУЗЛІВ ШТАМПІВ</b> .....	<b>5</b>
1.1 Конструювання пуансонів та їх розрахунок на міцність.....	5
1.2 Розрахунок елементів на міцність по Г.Д. Скворцову.....	11
1.3 Розрахунок пуансонів на міцність по В.П. Романовському.....	20
1.4 Розрахунок пуансонів на міцність по Л.І. Рудману .....	23
<b>ЛІТЕРАТУРА</b> .....	<b>26</b>
Частина 2	
Частина 3	

## ВСТУП

Обробка металів тиском являється одним із основних способів виготовлення заготовок і деталей, поєднуючи в собі високу продуктивність і якість отриманих заготовок. Подальше удосконалення процесів холодного штампування, підвищення точності розмірів і поліпшення якості поверхонь, одержаних обробкою тиском, приведе до того, що в багатьох випадках цей спосіб обробки повністю замінює традиційний метод обробки різанням.

В зв'язку з цим, курси „Технологія холодного штампування” та „Проектування та розрахунок штампного оснащення для холодного штампування” являються головними профільюючими дисциплінами для підготовки спеціалістів обробки металів тиском.

Дані методичні вказівки дозволяють студенту швидше знайти відповідь на ті питання, які виникли при виконанні завдання при конструюванні роздільних штампів, розрахунку та конструюванні основних робочих деталей.

## 1 КОНСТРУЮВАННЯ ДЕЯКИХ ТИПОВИХ ДЕТАЛЕЙ ТА ВУЗЛІВ ШТАМПІВ

### 1.1 Конструювання пуансонів та їх розрахунок на міцність

Пуансони розділових штампів різноманітні за конструкцією, їх можна розділити на два основних види: масивні пуансони, які безпосередньо закріплені в плиті; і пуансони, які встановлюються в тримачах (пуансонотримачах, див. рис. 1.1). Останні складаються з двох елементів: робочої частини та посиленої основи (рисунок 1.1, а), яка може бути ступінчастою та безступінчастою. Перехідний ступінь роблять на відносно довгих пуансонах з метою відділення посадочної частини від непосадочної. Різниця діаметрів  $D_1$  і  $D_2$  повинна бути мінімальною, що полегшує процес запресовування. Звичайно розмір приганяється з державкою по посадці  $h_1$  а  $D_2$  по посадці  $h_2$ . При безступінчастій основі такий перехід бажано передбачати між  $D_1$  та  $d$ .

При близькому розташуванні отворів, що пробиваються, нерідко застосовують пуансони без ступенів.

Гладкі (без ступенів) пуансони потрібні не тільки при близькому розташуванні отворів, але і в прецизійних штампах. Особливо, коли вимагається високоточна взаємна пригонка основних ланок в штампі (рисунок 1.1, в); матриці 1, пуансона 3, зйомника 2, державки 4. Це найбільш раціонально при не круглих робочих контурах в прецизійному штампуванні, так як з'являється можливість здійснювати наскрізне шліфування і доводку пуансона (до заданого профілю) по всій довжині з високою точністю.

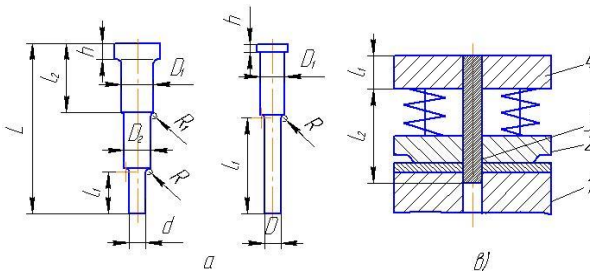


Рисунок 1.1 - Пуансони, які закріплені в державках

Довжину посадочної частини  $I_2$  в ступінчастих пуансонах рекомендується виконувати рівною  $(0,25 - 0,4)L$ . Великі значення відносяться до нестійких пуансонів без напрямку по зйомнику. Перехід між робочою ділянкою (довжиною  $l_1$ ) і неробочою повинен бути плавним з шершавістю поверхні не нижче 6-го класу чистоти, що сприятливо впливає на термічну обробку і підвищує стійкість пуансонів. Груба обробка і різкий перехід сприяє виникненню мікротріщин. На межі між головкою і посадочною частиною не рекомендується робити канавку для виходу інструмента.

При назначені висоти заплічника пробивного пуансона, який відчуває відривні зусилля, виходять не тільки із потрібного зусилля для зйому виробу (відходу), але і також із експлуатаційно-конструкторських міркувань. Звичайно цей розмір свідомо роблять більш розрахункового, що компенсують дефекти термічної обробки.

Круглі пуанسونи необхідно оснащувати центрами для шліфування з відповідністю з діючими нормативами. При діаметрі  $d < 15$  мм передбачають технологічні (фальшиві) центри (рисунок 1.1, б), які віддаляють в процесі остаточної обробки пуансона.

Для пробивання отворів малого діаметра (до  $d = 3$  мм) широко застосовують збірні пуанسونи, які складаються з трьох деталей: власне пуансона 1, гільзи 2 та опорного стержня 3 (рисунок 1.2, а). Також, як і суцільні пуанسونи, вони можуть бути швидкозмінними (рисунок 1.2, б). При близькій відстані між сусідніми отворами в гільзу 2 можна уставляти декілька пуансонів 1 (рисунок 1.2, в).

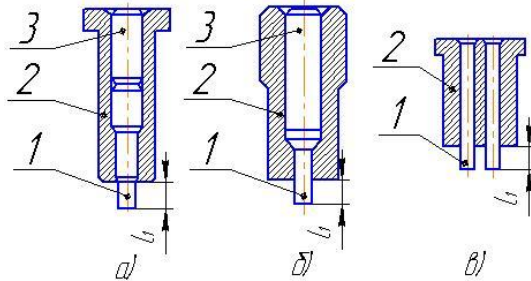


Рисунок 1.2 - Збірні пуанسونи

Найбільш відповідальний елемент будь-якого малогабаритного пуансона є робоча (активна) частина довжиною  $l_1$ . Допустима довжина її при відомому навантаженні  $P_1$  може бути підрахована за формулою (1.2), але необхідно враховувати і конструкційний фактор. При цьому велике значення має спосіб зйому відходу або деталі з пуансона. Із жорстким зйомником необхідна довжина  $l_1$  робочої частини пуансона при обробці відносно тонких матеріалів складається з чотирьох величин (рисунок 1.3,а):  $h_1$  – заглиблення пуансона в матрицю;  $h_2$  – відстані до зйомника;  $h_3$  – висоти дільниці зйомника, який знаходиться в зоні робочої частини пуансона;  $h_4$  – припуску на заточку (перешліфування).

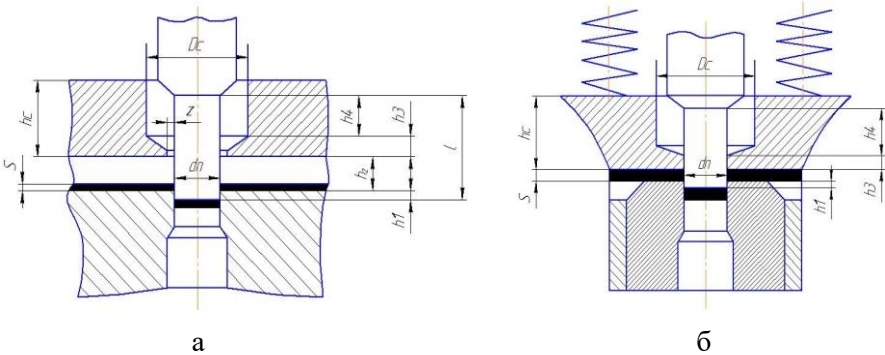


Рисунок 1.3 - Схеми стиковки пробивного (вирізного) пуансона зі зйомником

При рухомому підпружиненому зйомнику (рисунок 1.3, б), довжина робочої частини пуансона повинна бути менше на  $h_2 - S$ , так як у цьому випадку зйомник упирається безпосередньо на матеріал, що штампується. Припуск на заточку  $h_4$  становить звичайно від 3 до 5 мм. Наприклад, для пробивання отвору в листовому металі товщиною 5 мм  $h_1 = 1$  мм,  $h_2 = 12$  мм,  $h_3 = 6$  мм і  $h_4 = 5$  мм, довжина робочої частини пуансона в штампі з жорстким зйомником (рисунок 1.3, а).

$$l_1 = h_1 + h_2 + h_3 + h_4 = 1 + 12 + 6 + 5 = 24 \text{ мм};$$

З еластичним зйомником (рисунок 1.3, б)

$$l_1 = h_1 + S + h_3 + h_4 = 1 + 5 + 6 + 5 = 17 \text{ мм}.$$

Якщо в зйомнику відсутнє заглиблення по діаметру  $D_c$  або місцеве фрезерування, то за висоту  $h_3$  приймаємо товщину  $h_c$  зйомника, відповідно довжина  $b_1$  її робочої частини збільшується. Для обробки відносно товстого металу застосовують схему переважно з жорстким зйомником, який має наскрізний отвір по діаметру  $D_c$ .

У цьому випадку необхідна довжина  $l_1$  складається не з чотирьох, а з трьох величин (рисунок 1.4, а):

$$l_1 = h_1 + S + h_4.$$

Отже, довжина  $l_1$  зменшується, причому не тільки в порівнянні зі схемою на рисунку 1.3, а, але й в порівнянні зі схемою на рисунку 1.3, б.

Робоча частина пуансона діаметром  $d$  у процесі різання може бути вільною або замкненою в напрямному вузлі. При пробиванні отвору діаметром  $d > 2S$  (або  $d/S > 2$ ) допускається залишати робочу частину без напрямку.

Але слід потурбуватися про те, щоб пуансон в цілому був достатньо стійким. Нестійкі пуансони (орієнтовно з  $D/L < 0,5$ ) закріплюють в державці (рисунок 1.4) або виконують з великим фланцем. Довжина посадочної частини пуансона (або висота державки  $H$ ) призначається в межах  $(0,25-0,4)L$ . Із збільшенням перерізу пуансона збільшується його опорна поверхня і, отож, забезпечується велика стійкість. Відповідно допускається застосування більш низьких державок  $H = (0,20-0,25)L$ .

Усталеність пуансона також підвищується при збільшенні перерізу неробочої частини (його основи). Але значна різниця в перерізах робочої частини і неробочої сприяє утворенню мікротріщин у процесі термічної обробки. Досвід показав, що доцільно додержуватись відношення  $D/d < 2$ .

Умови роботи пуансона значно покращуються, якщо його робоча частина спрямована відповідному отвору зйомника (притискового). Особливо це необхідно при відношенні  $d/S < 2$ . Напрямок по жорсткому (нерухомому) зйомнику менш ефективний,

ніж при рухомому. Останнє пояснюється тим, що в першому випадку зона напрямку віддалена від матеріалу, що розділяється на  $h_2 - S$  (рисунок 1.4, а), а в другому – зйомник безпосередньо контактує з матеріалом (рисунок 1.4, д). Високоточний напрямок гарантується, якщо рухомий зйомник надійно зафіксовано самостійно або по напрямним колонкам.

Нерідко в конструкціях розділових штампів спрямовані не робочі частини пуансонів, а їх потовщена частина (рисунок 1.4, а).

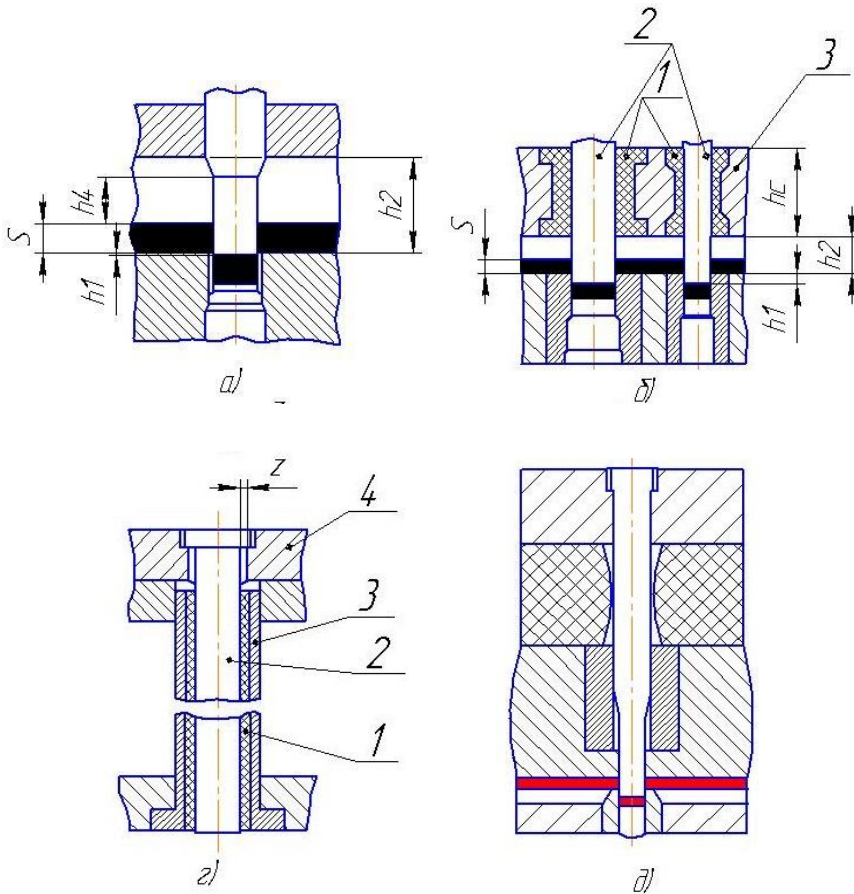


Рисунок 1.4 - Різні способи напрямку пуансона по зйомнику

У цьому випадку також забезпечується напрямок і стійкість у цілому пуансоні, але робоча частина залишається вільною і, відповідно, такий варіант при відносно малому діаметрі  $d$  менш ефективний. Одночасний напрямок робочої і неробочої частин (рисунок 1.4, в, д) ще в більшому ступені підвищує стійкість пуансона, але ускладнює виготовлення. Надійніший напрямок пуансона (у будь-якому варіанті) дозволяє застосувати не тільки тонкі державки орієнтовно  $H=0,2L$  (рисунок 1.4, в), але і також шарнірне з'єднання. Крім того, при відносно довгому напрямку доцільно мати посадку пуансона 2 в державці 4 зі значним зазором  $z$  (рисунок 1.4, г).

Напрямна частина 1 зйомника 3 (рисунок 1.4, б і г) може бути заповнена чужорідним матеріалом (пластмасою або легким сплавом, який володіє високою стійкістю і антифрикційними властивостями). Якщо як напрямок використовується безпосередньо зйомник, то він повинен бути загартованим. Але віддається перевага застосуванню загартованих вставок (рисунок 1.4, в). У сумісних штампах проблема напрямку пуансонів вирішується легко, так як цьому сприяють їх відносно менша довжина та хороша направленість верхніх виштовхувачів. Напрямок по зйомнику застосовують в основному для невеликих пуансонів. Винятково високоточний напрямок слід забезпечувати для пуансонів із твердого сплаву.

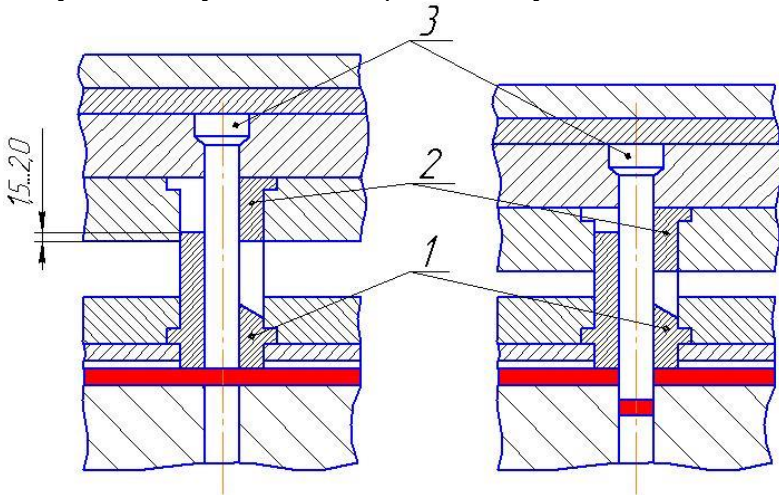


Рисунок 1.5 - Конструкція пуансона діаметром  $d \leq S$  з телескопічним напрямком

Для особливо тяжких умов роботи пуансона (звичайно при  $(d < S)$ ) використовують спеціальний телескопічний напрямок конструкції з вкладишами 2 забезпечує постійний напрямок пуансона 3 по всій його довжині. У даній конструкції можна здійснювати пробивання отворів у низьковуглецевій сталі діаметром  $(0,5 - 0,6)S$ , а в кольорових металах та їх сплавах діаметром  $(0,3 - 0,4)S$ . При відповідному конструктивному виконанні деталей, розглядається що, можливе прибивання не тільки круглих, але і фасонних отворів і прямокутних пазів. Незважаючи на складність, дана конструкція широко розповсюджена в промисловості.

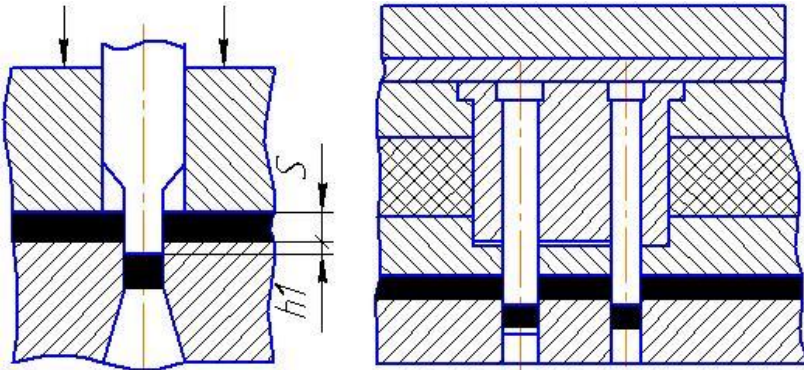


Рисунок 1.6 - Конструкції пуансонів з малою довжиною робочої частини для обробки товстостісного металу

Стійкість робочої частини пуансона можна значно підвищити в результаті скорочення його довжини (рисунок 1.6), що цілком допустимо для дрібносерійного виробництва, коли не потрібні багаторазові переточки. Мінімальна довжина робочої частини складає  $S+h_1$ . Цю умову можна додержувати тільки при рухомому зйомнику, який працює від пружних елементів.

## 1.2 Розрахунок елементів на міцність по Г.Д. Скворцову

Здійснюється (при необхідності) на подовжній вигин (на усталеність) і на стиск.

Стійкість пуансона на робочій дільниці довжиною  $l_1$  (рисунок 1.1) губиться при виникненні пластичної та пружної деформації або від руйнування в поперечному напрямку. При розрахунках слід розрізняти пуанسونи з не напрямленою робочою частиною (вільний) та з направленою. Перші пуанسونи іноді перевіряють на стійкість за формулою Ейлера.

$$P_{кр(стат)} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{\min}}{(\mu \cdot \lambda_1)^2} \quad (1.1)$$

де  $E$  – модуль пружності першого роду,

$E = 2,2 \cdot 10^6 \text{ кгс/см}^2 = 2,2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$ ;

$I_{\min}$  – момент інерції відносно центральних осей,  $\text{см}^4$ ;

$\mu$  – коефіцієнт наведеної довжини, який приймається для розрахунків дорівнює 0,7 (робочу дільницю пуансона діаметром  $d$  розглядали як стержень постійного перерізу з одним закріпленням жорстко кінцем, а другий під зусиллям зрізу  $P_c$  заглиблюється в матеріал, що штампується, при цьому можливо незначний зсув кінця в напрямку, перпендикулярному осі пуансона);

$L_1$  - довжина робочої дільниці пуансона постійного перерізу,  $\text{см}$ .

Із урахуванням того, що ця формула дійсна в умовах статичного навантаження, вводимо коефіцієнт динамічності  $\eta$  (поправочний коефіцієнт) стосовно до кривошипних пресів:

$$P_{кр(дин)} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{\min}}{\eta_{\delta} \cdot (\mu \cdot \lambda_1)^2} \quad (1.2)$$

Але найбільш розповсюдженим для пуансонів є розрахунок на стиск та усталеність виходячи з умови міцності:

$$P_{осн} \leq P_{дон}; \quad (1.3)$$

де  $P_{дсн}$  – дійсне питоме зусилля на стиск, яке приходиться на одиницю площі робочої частини пуансона,

$$P_{\text{дис}} = \frac{P_{\text{д}}}{F_{\text{умов}}}$$

$P_{\text{д}}$  – потрібне зусилля зрізу (пробивання, вирізки), кгс; або Н, кН.

$F_{\text{умов}}$  – умовна площа контакту робочого торця пуансона з матеріалом, що штампується, в процесі різання, см<sup>2</sup>;

$p_{\text{доп}}$  – допустиме питоме зусилля на стиск та усталеність з урахуванням ударного навантаження (для кривошипних пресів).

$$p_{\text{доп}} = \varphi[\sigma_{\text{ст}}];$$

$\varphi$  – коефіцієнт зниження допустимого напруження;

$[\sigma_{\text{ст}}]$  - допустиме напруження на стиск для загартованого пуансона, кгс/см<sup>2</sup>.

Для пуансонів полегшених конструкцій, подібно наведеним на рисунку 1.1, які виконані з високовуглецевої сталі (типу У10А) приймається  $[\sigma_{\text{ст}}] = 14000$  кгс/см<sup>2</sup>, а з високолегованої (типу Х12М і 9ХС) -  $[\sigma_{\text{ст}}] = 18000$  кгс/см<sup>2</sup>. Для масивних пуансонів з високовуглецевої сталі приймається  $[\sigma_{\text{ст}}] = 16000$  кгс/см<sup>2</sup>, із високолегованої сталі  $[\sigma_{\text{ст}}] = 20000$  кгс/см<sup>2</sup>, що орієнтовно відповідає межі пружності  $\sigma_{\text{пружн}}$  вказаних сталей в загартованому стані. При розрахунку за формулами (1.1) і (1.2) за довжину її приймають тільки вільно виступаючу частину пуансона (див рисунок 1.2 і 13, а). При перевірці за формулою (1.3) не враховується довжина пуансона (незалежно від конструкції пуансона і його напрямку по зйомнику).

Осьовий момент інерції відносно центральних осей визначаємо за формулами:

$$\text{для круглого перерізу: } I_{\text{min}} = \frac{\pi \cdot d^4}{64} \approx 0.05d^4$$

$$\text{для прямокутного перерізу: } I_{\text{min}} = \frac{b \cdot h^3}{12};$$

де  $d$  – діаметр робочої частини пуансона, см;

$b$  і  $h$  – менший та більший боки прямокутного перерізу робочої частини пуансона, см.

Коефіцієнт динамічності для універсальних кривошипних пресів приймається  $n_d = 2..3$ .

Коефіцієнт зниження  $\varphi$  допущеного напруження залежить від матеріалу та гнучкості  $\frac{\mu \cdot l_1}{i_{\min}}$ , де  $i_{\min}$  – радіус інерції, у загальному випадку

$$i_{\min} = \sqrt{\frac{I}{F}} \quad (1.4)$$

В конкретному випадку – для круглого перерізу  $i_{\min} = 0.25d$ .

Залежність коефіцієнта  $\varphi$  від умов гнучкості  $\frac{\mu \cdot l_1}{i_{\min}}$  наведена

нижче:

Таблиця 1.1 - Залежність коефіцієнта  $\varphi$  від умов гнучкості

$\frac{\mu \cdot l_1}{i_{\min}}$	До 4	Більше 4 до 8	Більше 8 до 12	Більше 12 до 16	Більше 16 до 23	Більше 23 до 30
$\varphi$	1	0,8	0,7	0,72	0,65	0,6

Для круглих контурів площа  $F_{\text{умов}}$  контакту робочого торця пуансона з матеріалом, що штампується, у процесі різання визначається за формулами при відношеннях:

- 1)  $\frac{S}{D} \geq 1$ , де  $S$  – товщина металу, що штампується,

$$F_{\text{умов}} = \frac{\pi \cdot d^2}{4},$$

Тобто вона дорівнює повній площі перерізу робочої частини пуансона діаметром  $d$ :

- 2)  $\frac{S}{D} < 1$

$$F_{\text{умов}} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} - \frac{\pi \cdot (d - S)^2}{4},$$

або 
$$F_{умов} = \frac{\pi \cdot S \cdot (2 \cdot d - S)}{4}, \quad (1.5)$$

тобто виходимо з того, що ширина пояска на матеріалі під пуансоном (ширина яскраво вираженої контактної поверхні) орієнтовно дорівнює.

В зоні, яка прилягає до блискучого пояску, пуансон також контактує з матеріалом, без помітного сліду. Оскільки зусилля, яке сприймається пуансоном в цій зоні, незначне, то її площа в розрахунках не враховується. Дане допущення приводить до деякого зниження питомого зусилля в зоні зосередження навантаження, що є резервом для підвищення міцності робочої кромки пуансона.

Для не круглих контурів приймають: при відношенні  $\frac{S}{B} \geq 1$  (де  $B$  – розмір меншого боку перерізу робочої частини пуансона),  $F_{умов} = F_{перер}$  (повній площі перерізу робочої частини) і при  $\frac{S}{B} < 1$  площу  $F_{умов}$  контактної поверхні між торцем пуансона і матеріалом, що штампується, наближена величина яка залежить від контактного пояска шириною  $0,5S$ .

Межа застосування формули Ейлера обмежується відносною довжиною робочої частини пуансона, яка виражається через гнучкість стержня  $\frac{\mu \cdot l_1}{i_{\min}}$ . Граничну величину останньої визначають, використовуючи формулу Ейлера. Після підстановки значення  $i_{\min}$  в формулу (1.1) і ділимо на  $F$ , отримаємо:

$$\frac{P_{кр(см)}}{F} = \frac{\pi^2 \cdot E}{\left( \frac{\mu \cdot l_1}{i_{\min}} \right)^2}$$

$\frac{P_{кр(см)}}{F}$  – напруження  $\sigma_{кр}$  стиску при критичному навантаженні.

$$\text{Отже можна записати } \sigma_{кр} = \sigma_{ст(кр)} = \frac{\pi^2 \cdot E}{\left(\frac{\mu \cdot l_1}{i_{\min}}\right)^2}$$

Критичне напруження приймається рівним для сталей: високовуглецевих загартованих (типу У10А) – 19000 кгс/см<sup>2</sup>, високолегованих (типу Х12М і 9ХС) – 24000 кгс/см<sup>2</sup>. під вимою відомі величини в останній вираз і виконаємо відповідні дії:

$$\text{а) для високовуглецевої сталі } 19000 = \frac{9.87 \cdot 2.2 \cdot 10^6}{\left(\frac{\mu \cdot l_1}{i_{\min}}\right)^2},$$

$$\text{звідки } \frac{\mu \cdot l_1}{i_{\min}} = \sqrt{\frac{9.87 \cdot 2.2 \cdot 10^6}{19000}} \approx 34;$$

$$\text{б) для високолегованої сталі } \frac{\mu \cdot l_1}{i_{\min}} = \sqrt{\frac{9.87 \cdot 2.2 \cdot 10^6}{24000}} \approx 30;$$

Коли гнучкість стержня  $\frac{\mu \cdot l_1}{i_{\min}}$  менше отриманих величин (34 або

30), то формули Ейлера (1.1) і (1.2) застосовувати не можна. У цьому випадку розрахунок ведеться за формулою (1.3).

Так як відносно тонкі пуансони виконують з потовщенням в неробочій частині, то більшість їх розраховують не на подовжній вигин, а на стиск. За цією ж схемою перевіряють пуансони з довгою робочою частиною її постійного перерізу, коли вони надійно направлені (наприклад, див рисунок 1.5). Таким чином, на практиці пуансони перевіряють переважно на стиск і усталеність за формулою (1.3) і тільки в особливих випадках на подовжній вигин за формулами (1.1) і (1.2). Пуансони з направленою частиною розраховують тільки на стиск без розрахунку  $\varphi$ , тобто  $\varphi_{\text{доп}} = \varphi[\sigma_{ст}]$ .

Приклад 1. Чи допускається навантажувати зусиллям  $P_c=5000$  кгс пуансон діаметром  $d=6$  мм з довжиною робочої дільниці  $l_1=22$  мм, який не оснащений спеціальним напрямком. Матеріал пуансона сталь Х12М  $[\sigma_{ст}]=200$  кгс/мм<sup>2</sup>. Товщина матеріалу, що штампується,  $S=5,3$  мм.

Рішення:

$$\frac{\mu \cdot l_1}{i_{\min}} = \frac{0.7 \cdot 22}{0.25 \cdot 6} \approx 10.3; \quad 10.3 < 34;$$

отже, формула Ейлера незастосовна. Перевірку проводимо за формулою  $P_{\text{дси}} < P_{\text{доп}}$ ;

$$F_{\text{умов}} = \frac{\pi \cdot S \cdot (2 \cdot d - S)}{4} = \frac{\pi \cdot 5.3 \cdot (2 \cdot 6 - 5.3)}{4} = 27.9 \text{ мм}^2;$$

$$P_{\text{дси}} = \frac{5000}{27.9} \approx 180 \text{ кгс/мм}^2;$$

$$P_{\text{доп}} = \varphi[\sigma_{\text{ст}}]; \text{ при } \frac{\mu \cdot l_1}{i_{\min}} = 10.3 \quad \varphi = 0.75;$$

$$P_{\text{доп}} = 0.75 \cdot 200 = 150 \text{ кгс/мм}^2.$$

Так як  $180 > 150$  кгс/мм<sup>2</sup>, то пуансон із заданими параметрами недостатньо міцний.

**Приклад 2.** Перевіримо міцність пуансона в двох конструктивних виконаннях: без напрямку і з напрямком при таких даних:  $d = 4 \text{ мм} = 0.4 \text{ см}$ ;  $S = 4 \text{ мм} = 0.4 \text{ см}$ ;  $l_1 = 50 \text{ мм} = 0.5 \text{ см}$ .

Матеріал пуансона сталь Х12М,  $\sigma_{\text{ст}} = 34 \text{ кгс/мм}^2$ . Обладнання – кривошипний прес,  $\eta_{\text{дин}} = 2$ ;  $[\sigma_{\text{ст}}] = 200 \text{ кгс/мм}^2$ .

Рішення 1. Без напрямку робочої частини довжиною  $l_1$ :

$$\frac{\mu \cdot l_1}{0.25 \cdot d} = \frac{0.7 \cdot 50}{0.25 \cdot 4} \approx 35; \quad 35 > 30.$$

Застосовуємо формулу (1.2):

$$P_{\text{кр(дин)}} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{\min}}{\eta_{\text{д}} \cdot (\mu \cdot l_1)^2} = \frac{4.87 \cdot 2.2 \cdot 10^6 \cdot 0.05 \cdot 0.4^4}{2 \cdot 0.49 \cdot 25} = 1140 \text{ кгс}$$

Потрібне зусилля зрізу  $P_c = 1.25 \cdot \pi \cdot 4.4 \cdot 34 = 2130 \text{ кгс}$ .

Так як  $1140 \text{ кгс} < 2130 \text{ кгс}$ , то даний пуансон без напрямку робочої частини недостатньо міцний, так як в процесі навантаження зусиллям  $P_{\text{ст}} = 2130 \text{ кгс}$  він буде вигинатись, що приведе до його руйнування.

Рішення 2.

Із надійно направленою частиною: розрахунок ведеться за формулою (1.3). Допущене питоме зусилля  $p_{\text{доп}} = [\sigma_{\text{ст}}] = 200 \text{ кгс/мм}^2$ .

Так як  $\frac{S}{D} = 1$ , то

$$F_{\text{умов}} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 4^2}{4} = 12.56 \text{ мм}^2;$$

$$p_{\text{пр}} = \frac{2130}{12.56} = 170 \text{ кгс/мм}^2;$$

$$p_{\text{дис}} < p_{\text{дон}} (170 < 200 \text{ кгс/мм}^2);$$

Таким чином, при високоточному напрямку міцність заданого пуансона цілком достатня (при відносно короткій дільниці її, він буде надійним і без напрямку). На практиці відомо застосування пуансонів для пробивання отворів в металі з  $\sigma_{\text{ср}} = 34 \text{ кгс/мм}^2$ , що і в середньому відповідає низьковуглецевим сталям при відношенні  $\frac{S}{D} \geq 1$ . Але їх стійкість невисока.

Приклад 3. Чи можливо пробити отвір перерізом 20x60 мм в металі  $S=30 \text{ кгс/мм}^2$  пуансонами, виконаними з сталей У10А та 9ХС із довжиною робочої частини (без державки)  $l_1 = 70 \text{ мм}$ ?

$$[\sigma_{\text{ст}}]_{\text{У10А}} = 160 \text{ кгс/мм}^2, [\sigma_{\text{ст}}]_{\text{9ХС}} = 200 \text{ кгс/мм}^2.$$

Рішення.

$$P_o = 1.25 \cdot (20 \cdot 2 + 60 \cdot 2) \cdot 30 \cdot 38 = 228000 \text{ кгс}$$

$$\frac{\mu \cdot l_1}{i_{\text{min}}} = \frac{0.7 \cdot 7}{\sqrt{\frac{J}{F}}} = \frac{0.7 \cdot 7}{\sqrt{\frac{2 \cdot 6^3}{12 \cdot 6 \cdot 2}}} = \frac{0.7 \cdot 7}{1.73} \approx 2.8$$

при  $\frac{\mu \cdot l_1}{i_{\text{min}}} = 2.8$   $\varphi \approx 1,0$ ; отже  $p_{\text{доп}} = [\sigma_{\text{ст}}]$ .

Так як  $\frac{S}{B} = \frac{20}{30} > 1$ , то  $F = 20 \cdot 60 = 1200 \text{ мм}^2$ .

Для пуансона зі сталі У10А

$$P_{ист} = \frac{228000}{1200} = 190 \text{ кгс} / \text{мм}^2, \text{ оскільки } p_{доп} < p_{ист}, \text{ то даний пуансон зі}$$

сталі У10А не підходить.

Для пуансона зі сталі 9ХС  $p_{пр} < p_{доп}$ .

Отже, пуансон зі сталі 9ХС цілком придатний для заданої операції.

Допущене навантаження на ніж – пуансон при однобічному відрізання матеріалу паралельними ріжучими кромками може бути визначене також за формулою (1.3).

Умовна ширина контактної пояски між ножом та матеріалом, що штампується, при безззорній різці приймається орієнтовно рівною  $0,4S$ .

**Приклад 4.** Чи можна відрізати прямолінійним ножом заготовку зі сталюого листа товщиною  $S = 100$  мм при  $\sigma_{ср} = 42$  кгс/мм<sup>2</sup>. Матеріал ножа – сталь У10А. За ширину різа приймаємо одиницю довжини ( $B = 1$ ).  $p_{доп} = [\sigma_{ст}] = 160$  кгс/мм<sup>2</sup>.

Рішення:

$$P_o = 1.25 \cdot 100 \cdot 1 \cdot 42 = 5250 \text{ кгс};$$

$$P_{np} = \frac{5250}{100 \cdot 0.4} \approx 131 \text{ кгс} / \text{мм}^2$$

Так як  $p_{пр} < p_{доп}$ , то різка заготовок із сталюого листа товщиною  $S = 100$  мм на ножицях або в спеціальному штампі можлива.

Для нормальної роботи пуансона, окрім викладеного, необхідно мати надійну опору. Функції останньої може нести плита блока або спеціальна підкладка (наприклад, див. рисунки 1.5 – 1.6). Критерієм того чи іншого варіанта є величина питомого зусилля (на зминання), яке приходить на одиницю площі, яку визначають за формулою:

$$\sigma_{зм} = p_{осн} = \frac{P_o}{F},$$

де  $P_d$  – потрібне зусилля для пробивання (вирізки), кгс,

$P$  – площа головки (бурта) пуансона, мм<sup>2</sup>.

При незагартованій плиті блока (зазвичай верхній), якщо

$p_{np} \leq 10 \text{ кгс} / \text{мм}^2$ , то можна працювати без підкладки, а при

$p_{np} > 10 \text{ кгс} / \text{мм}^2$  необхідна підкладка. Отже, не термооброблені плити

блока (сталні або чавунні відливки) витримують напруження  $[\sigma_{ст}]$  до 10 кгс/мм<sup>2</sup>.

### 1.3 Розрахунок пуансонів на міцність по В.П. Романовському

В.П. Романовський пропонує розраховувати пуансони на напруження зім'яття  $\sigma_{зм} < [\sigma_{зм}]$

$$\sigma_{зм} = \frac{P_{\delta}}{F} \leq [\sigma_{зм}] \quad (1.7)$$

на напруження стиску

$$\sigma_{см} = \frac{P_{\delta}}{f} \leq [\sigma_{см}] \quad (1.8)$$

на максимально допустиму довжину пуансона

$$l_{\max} = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E \cdot J}{4 \cdot n \cdot P_{\delta}}} \quad (1.9)$$

де  $P_{\delta}$  – зусилля пробивки отвору, кгс (Н);

$F$  – опорна поверхня головки пуансона, мм<sup>2</sup>;

$f$  – площа робочої частини пуансона, мм<sup>2</sup>;

$E$  – модуль пружності першого роду,  $E = 2.2 \cdot 10^6$  кгс/см<sup>2</sup> =  $2.2 \cdot 10^5$  МПа;

$J$  – момент інерції відносно центральних осей, мм<sup>4</sup>;

$n$  – коефіцієнт безпеки (для сирової сталі  $n = 4-5$ , а для загартованої сталі  $n = 2-3$ ).

Оскільки приблизно 95% всіх тонких пробивних пуансонів, для яких доцільно виконувати подібні розрахунки, мають круглий поперечний переріз, то можливо використовувати просту формулу

$$l_{\max} = \sqrt{\frac{3454 \cdot d^3}{\sigma_{зр} \cdot S}} \quad (1.10)$$

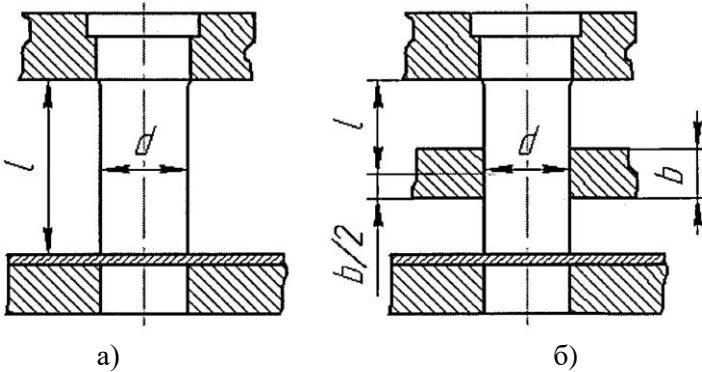


Рисунок 1.7 - Схема розрахунку пуансона на подовжній вигин

Пуансон круглого перерізу без напрямку (рис. 1.7 а):

$$l \leq 30 \frac{d^2}{\sqrt{P_0}} \quad (1.11)$$

Пуансон будь-якого профілю без напрямку

$$l \leq 135 \sqrt{\frac{J}{P_0}} \quad (1.12)$$

Пуансон круглого перерізу з напрямком (рис. 15 б):

$$l \leq 85 \frac{d^2}{\sqrt{P_0}} \quad (1.13)$$

Пуансон будь-якого профілю з напрямком

$$l \leq 380 \sqrt{\frac{J}{P_0}} \quad (1.14)$$

Значно більш зручним, чим навіть спрощений розрахунок по раніше приведеної формули є графічне рішення. Максимально допустиму довжину пуансона  $l_{\max}$  можливо визначити за допомогою номограми рис. 1.8.

Промені номограми, направлені під кутом відповідають товщині штампуемого матеріала  $S$ . Криві лінії, відповідають пробиваємим діаметром  $d$ , одержані з кубічних гіпербол.

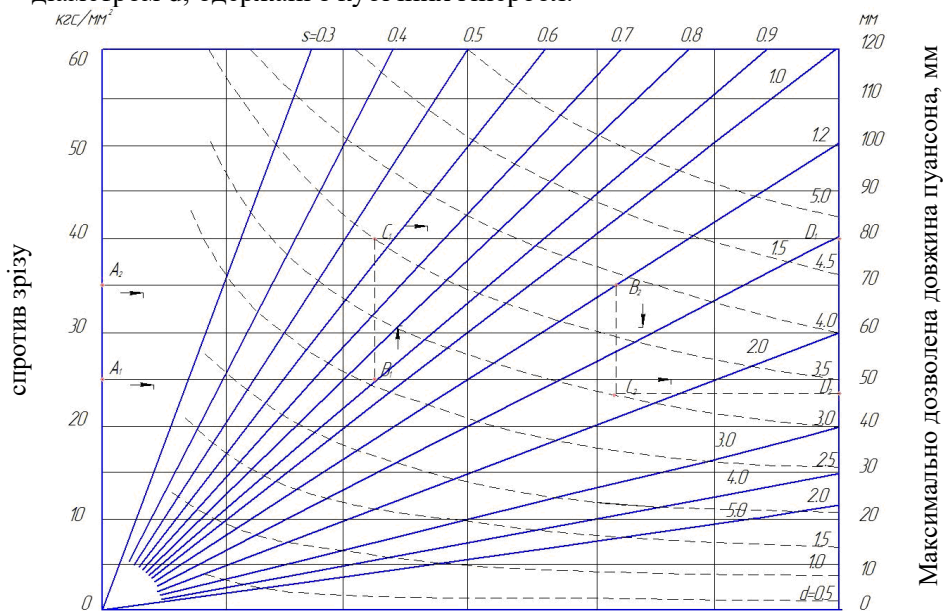


Рисунок 1.8 - Визначення максимально допустимої довжини пуансонів

**Приклад 5.** В м'якій сталі з напруженням на зріз  $\sigma_{зр} = 25 \text{ кг/мм}^2$  і товщиною 0.9 мм необхідно пробити отвір  $d = 3.5 \text{ мм}$ . Достатня чи ні для цього довжина пуансона  $l = 60 \text{ мм}$ ?

На рисунку 1.8 на лівій вертикальній осі (ординаті) розташовані значення  $\sigma_{зр}$ . Горизонтальна (абсциса) проведена вправо від значення  $\sigma_{зр} = 25$  ( $A_1$ ), дає на прямій  $S = 0.9 \text{ мм}$  першу шукану точку  $B_1$ ; вертикаль, проведена від цієї точки на криву лінію ( $d=3.5 \text{ мм}$ , дає другу шукану точку  $C_1$  і далі по горизонталі вправо найбільшу допустиму довжину 80 мм ( $D_1$ ).

Таким чином, безумовно можливо застосувати нормальну довжину 60 мм.

**Приклад 6.** В твердій листовій латуні з напруженням на зріз  $\sigma_{зр} = 35 \text{ кг/мм}^2$ , товщиною  $S = 1.2 \text{ мм}$  необхідно пробити отвір  $d = 3 \text{ мм}$ . Можна чи ні виготовити їх діаметром 3 мм по всій довжині,

застосувати нормальну довжину пуансонів, рівну 60 мм, або їх слід виготовити ступінчатими згідно з рис. 1.1 а?

Трьохкратне приведення перпендикулярів, як описано в попередньому прикладі, при вказаних тут величинах приведе через замкнутий контур  $A_2-B_2-C_2-D_2$  до максимально допустимої довжини пуансона 46 мм. Тому тут можливо застосування тільки ступінчатого пуансона. Слід застосовувати як можна більше коротких пуансонів, але не слід забувати, що занадто укорочені пуансони утрудняють настройку преса. Довжина пуансонів, рівна 60 мм, в більшості випадків є нормальною довжиною, більшу довжину пуансонів необхідно застосовувати тільки в тих випадках, коли це необхідно.

#### 1.4 Розрахунок пуансонів на міцність по Л.І. Рудману

Рудман Л.І. рекомендує розраховувати пуансони на напруження зім'яття упорної поверхні головки пуансона, також на стиск і продольний вигин самого пуансона в найменшому перерізі. Напруження зім'яття  $\sigma_{зм}$  (МПа) поверхні головки визначаємо по формулі (1.7). Якщо  $\sigma_{зм} > 100$  Мпа, то пуансон слід упирати голівкою в стальну загартовану підкладку плити.

Перевірку на стиск Л.І. Рудман рекомендує виконувати з урахуванням продольного вигину у наступній послідовності. З початку визначаємо коефіцієнт  $\phi$  пониження допустимого напруження  $\sigma_{ст}$ , який залежить від умовної гнучкості пуансона і враховуючий можливу втрату рівноваги пуансона.

Для пуансонів круглого перерізу цей коефіцієнт залежить від параметра:

$$\mu = 2.8 \frac{h_n}{d_n} \quad (1.15)$$

де  $h_n$  – довжина робочої частини пуансона;

$d_n$  – діаметр робочої частини пуансона.

Таблиця 1.2 – значення  $\mu$  від  $\mu$ 

$\mu$	До 4	Більше 4 до 8	Більше 8 до 12	Більше 12 до 16	Більше 16 до 23	Більше 23 до 30
$\phi$	1	0,8	0,75	0,72	0,65	0,6

Для пуансонів не круглого перерізу  $\mu$  визначаємо по формулі

$$\mu = \frac{0.7 \cdot h_n \sqrt{F_{\text{раб}}}}{\sqrt{J}} \quad (1.16)$$

де  $F_{\text{раб}}$  – площа перерізу робочої частини пуансона, мм<sup>2</sup>;

$J$  – момент інерції відносно центральних осей, мм<sup>4</sup>.

Далі знаходимо  $F_k$  – площу контакту робочого торця пуансона з штампуємим матеріалом (рис. 1.9).

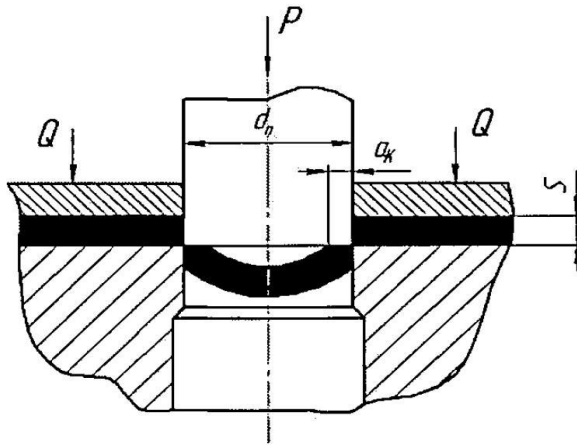


Рисунок 1.9 - Схема контакту пуансона з матеріалом

$$F_k = \frac{\pi}{4} \cdot S \cdot (2 \cdot d_n - S)$$

Якщо діаметр пробиваємого отвору  $d = S$  то  $F_k = F_{\text{раб}}$ . Якщо  $d > S$  то площа  $F_k$  дорівнює площі кільцевого пояса шириною  $a_k$  (рис. 1.9).

Ширина  $a_k$  кільцевого пояска залежить від відношення  $d_n/S$ , величини зазору і наявності нижнього прижиму, який забезпечує при достатньому питомому зусиллю контакт по всій поверхні торця пуансона. Значення  $a_k$  знаходимо по табл. 1.3

Таблиця 1.3 - Дані для визначення ширини кільцевого пояска контакту пуансона з відходом при пробиванні отворів.

$d_n/S$	$a_k/d_n$ при відносному зазорі			
	0.2 – 0.15	0.15 – 0.05	0.05 – 0.01	0.01 – 0.005
Більше 0.8 до 1.2	0,35	0,40	0,45	0,50
» 1.2 »2.0	0,30	0,35	0,40	0,45
» 2.0 »5.0	0,25	0,30	0,35	0,40
» 5.0 »10.0	0,20	0,25	0,30	0,35
» 10.0 »20.0	0,15	0,20	0,25	0,30
»20.0	0,10	0,15	0,20	0,25

## ЛІТЕРАТУРА

Навчально-методичні розробки:

1. Конспект лекцій з дисципліни «Проектування та розрахунок штампового оснащення для холодного штампування» для студентів всіх форм навчання спеціальності 131 Прикладна механіка, освітня програма обладнання та технології пластичного формування конструкцій машинобудування.

2. Методичні вказівки до практичних занять з курсу «Проектування та розрахунок штампового оснащення для холодного штампування» для студентів спеціальності 131 Прикладна механіка, спеціалізації «Обладнання та технології пластичного формування конструкцій машинобудування» всіх форм навчання Частина I /Укл. В.В. Широкобоков. – Запоріжжя: НУ “Запорізька політехніка», 2024. – 26 с.

3. Методичні вказівки до практичних занять з курсу «Проектування та розрахунок штампового оснащення для холодного штампування» для студентів спеціальності 131 Прикладна механіка, спеціалізації «Обладнання та технології пластичного формування конструкцій машинобудування» всіх форм навчання Частина II /Укл. В.В. Широкобоков. – Запоріжжя: НУ “Запорізька політехніка», 2024. – 24 с.

4. Методичні вказівки до практичних занять з курсу «Проектування та розрахунок штампового оснащення для холодного штампування» для студентів спеціальності 131 Прикладна механіка, спеціалізації «Обладнання та технології пластичного формування конструкцій машинобудування» всіх форм навчання Частина III /Укл. В.В. Широкобоков. – Запоріжжя: НУ “Запорізька політехніка», 2024. – 35 с.

5. Методичні вказівки до самостійної роботи з дисципліни «Проектування та розрахунок штампового оснащення для холодного штампування» для студентів спеціальності 131 Прикладна механіка, освітня програма «Обладнання та технології пластичного формування конструкцій машинобудування» всіх форм навчання /Укл. В.В. Широкобоков. – Запоріжжя: ЗНТУ. – 2024. – 38 с. 87

Літературні джерела:

1. Боков В. М. Конструювання та виготовлення штампів. Штмп як об'єкт проектування: Навчальний посібник. – Кіровоград: Поліграфічно-видавничий ТОВ «Імекс –ЛТД», 2005. – 216 с.

2. Боков В. М. Конструювання та виготовлення штампів. Проектування розділових штампів: Навчальний посібник. – Кіровоград: Поліграфічно-видавничий ТОВ «Імекс –ЛТД», 2006. – 274 с.

3. Боков В. М. Конструювання та виготовлення штампів. Проектування штампів: формозмінних, складної дії, для складання та автоматичного штампування: Навчальний посібник. – Кіровоград: Поліграфічно-видавничий ТОВ «Імекс –ЛТД», 2010. – 322 с.

4. Боков В.М., Мірзак В.Я. Технологія холодного штампування. Курсове проектування. Листове штампування. Навчальний посібник. – Кіровоград. Поліграфічно-видавничий центр ТОВ "Імекс-ЛТД". 2010. – 250 с.

5. Боков В. М. Конструювання та виготовлення штампів. Практикум: Навчальний посібник. – Кіровоград: Поліграфічно-видавничий ТОВ «Імекс –ЛТД», 2005. – 132 с.

6. Боков В. М. Проектування штампів: підручник / В. М. Боков. – Кропивницький: ПП «Есклюзив-Систем», 2017. – 364 с.

7. Справочник конструктора штампов: Листовая штамповка / Под общ. ред. Л. И. Рудмана. – М.: Машиностроение, 1988. – 496 с.: ил

8. Динер И. Г., Брун В. Я. Высокоэффективная оснастка для листовой штамповки. – К.: Техніка, 1984. – 136 с., ил.

9. Ковка и штамповка: Справочник. В 4-х т. / Ред. совет: Е. И. Семёнов (пред.) и др. – М.: Машиностроение, 1987. – Т. 3. Холодная объёмная штамповка / Под ред. Г. А. Навроцкого. 1987. – 384 с., ил.

10. Романовский В.П. Справочник по холодной штамповке. 6-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение, 1979. – 520 с., ил.

11. Зубцов М.Е. Листовая штамповка. М.: Машиностроение, 1980. – 431 с.

12. Справочник конструктора штампов: Листовая штамповка. /Под общ. ред. Л.И. Рудмана. - М.: Машиностроение, 1988. – 496 с.

13. Аверкиев Ю.А., Аверкиев А.Ю. Технология холодной штамповки: Учебник для вузов. - М.: Машиностроение, 1989. – 304 с.

Інформаційні ресурси

1. <http://nbuv.gov.ua> – Національна бібліотека імені В.І. Вернадського.
2. <https://books.google.com.ua> – Сервіс повнотекстового пошуку по книгам, що оцифровані компанією Google.
3. <https://files.fti.dp.ua/book/kholodne-lystove-shtampuvannia>