Форма № 24

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЗАПОРІЗЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

Машинобудівний
(повне найменування інституту, назва факультету)
Кафедра обробки металів тиском
(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка

до магістерської роботи
магістр
(ступінь вищої освіти (освітній ступінь))

на тему Дослідження методів зниження технологічного зусилля при розрізних операціях листового штампування

Виконав: студент II курсу, групи ОМ-818м
спеціальності (напряму підготовки)
131 Прикладна механіка
(код і назва напряму підготовки, спеціальності)
Свіщева В.О.
(прізвище та ініціали)
Керівник Левтушенко А.В.
(прізвище та ініціали)
Рецензент Найденко В.В.
(прізвище та ініціали)

м.Запоріжжя
2019 рік

Форма № 25

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний університет «Запорізька політехніка»

(повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут, факультет Машинобудівний

Кафедра ОМТ

Ступінь вищої освіти (освітній ступінь) магістр

Спеціальність Приладна механіка 131

(код і назва)

Напрям підготовки 131 Приладна механіка

(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

"17" грудня 2019 року

З А В Д А Н Н Я

НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТУ

Штепа Віталій Олександрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Дослідження методів зниження технологічної здатності при розмірообробних операціях листового штампування

керівник проекту (роботи) _____

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від "14" листопада 2019 року № 398

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 12.12.19

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Технічний процес штампування, дані переддипломної практики (к-сть аркушів: 20)

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Характеристика операцій різання штампами, методика теоретичних та експериментальних досліджень зниження тех. здатності різання листового в штампах, приклади технологічних розрахунків, вибір пресового устаткування, економічні аспекти проблеми, охорона праці

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Презентація (к-сть аркушів: 13)

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
Охорона праці	Нестеров О.В к.т.н. доц		
Норм-контроль	Матюхін А.Ю.		
I	Левтуненко А.В.		
II	Левтуненко А.В		

7. Дата видачі завдання 30.09.2019

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Аналіз наукової інформації	01.10.2019	
2	Дослідницька частина	18.11.2019	
3.	Зниження технологічного зусилля (розрахунки)	25.11.2019	
4.	Охорона праці	09.12.2019	

Студент _____ (підпис) Шостка В.О. (прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи) _____ (підпис) Левтуненко (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

ПЗ 78с. 23 рис.,. 2 табл. , 15 джерел.

Об'єкт дослідження – аналіз методів зменшення технологічного зусилля при вирубуванні листових заготовок.

Мета роботи – дослідження чинників зростання технологічного зусилля та розрахунок необхідних залежностей при використанні інструменту з скошеними кромками.

Метод розрахунків – стандартні методики розрахунків в штампувальному виробництві при виконання розподільних операцій.

Отримані результати і їх новизна – було виконано вивід аналітичних залежностей для розрахунку поточного та максимального технологічного зусилля.

У економічній частині визначені головні технічні та економічні досягнення при використанні інструменту з скошеними кромками. технологічна собівартість виготовлення деталі.

У розділі охорони праці і оцінки техногенної обстановки приведено опис шкідливі чинники виробництва і вказані шляхи поліпшення умов праці.

Рекомендації по впровадженню – результати дипломного проекту рекомендується застосовувати на будь-якому заводі в ділянці дрібного штампування.

Ключові слова: ХОЛОДНЕ ШТАМПУВАННЯ, ПЛАСТИЧНІСТЬ, ДЕФОРМАЦІЯ, СТРІЧКА, ПРИТИСК, ШТАМП, ЗАКРИТА ВИСОТА, ПУАНСОН, МАТРИЦЯ, ШТАМПУЄМОСТЬ, ОПЕРАЦІЯ, РОЗКРІЙ, ЗУСИЛЛЯ, НОЖИЦІ.

ABSTRACT

Software: 72 pp., 23 figures, 2 tables, 15 sources.

Object of study - analysis of methods of reducing technological effort in cutting down blanks.

The purpose of the study is to investigate the drivers of technological effort growth and calculate the required dependencies when using a tool with beveled edges.

Calculation method - standard methods of calculation in stamping production when performing distribution operations.

Results obtained and their novelty - analytical dependencies were deduced to calculate the current and maximum technological effort. The economic part defines the main technical and economic achievements when using the tool with beveled edges. technological cost of manufacturing parts.

The section on occupational safety and technology assessment describes the harmful factors of production and the ways to improve working conditions.

Implementation recommendations - the results of the diploma project are recommended to be applied at any plant in the area of small stamping.

Keywords: COLD STAMPING, PLASTICITY, DEFORMATION, TAPE, PRESSURE, PRINTING, CLOSED HEIGHT, PUNCH, MATRIX, PRESSURE, OPERATION, OPERATION, OPERATION

ЗМІСТ

Реферат	4
Вступ	8
1. Різання металу штампами	10
1.1. Характеристика операцій різання штампами	10
1.2. Зусилля різання	12
1.2.1. Опір вирубці в залежності від механічних властивостей матеріалу	13
1.2.2. Вплив товщини матеріалу s на τ_0	15
1.2.3. Вплив форми та розмірів вирубаного контуру на τ_0	15
1.2.4. Вплив величини зазору між матрицею та пуансоном z на τ_0	16
1.2.5. Вплив конструкції матриці (форми прохідного отвору) на τ_0	17
1.2.6. Вплив умов роботи на τ_0	18
1.2.7. Зв'язок між величинами τ_0 та $\sigma_в$	19
1.2.8. Визначення дійсних значень опору вирубці і загального зусилля вирубки	20
1.3. Методи зниження технологічного зусилля	21
1.4. Зниження технологічного зусилля при використанні інструменту із скошеними кромками	22
1.5. Зниження зусилля вирубки декількома пуансонами	25
1.6. Постановка задачі	26
2. Методика теоретичних та експериментальних досліджень	27
2.1. Методика теоретичних досліджень	27
2.2. Методика експериментальних досліджень	27
3. Зниження технологічного зусилля різання металу в штампах	28
3.1. Зусилля при вирубуванні інструментом зі скошеними кромками	28
3.2. Робота при вирубанні інструментом зі скошеними кромками	38

3.3. Вибір оптимального значення зазору між інструментами	38
3.4. Практичні рекомендації по геометрії інструменту	43
3.5. Уточнення розрахункових формул максимального зусилля	43
4. Приклади технологічних розрахунків	45
5. Вибір пресового устаткування	49
6. Економічні аспекти проблеми	59
7. Охорона праці та техногенна безпека	60
7.1. Аналіз потенційних небезпек	60
7.2. Заходи по забезпеченню безпеки	61
7.3. Заходи по забезпеченню виробничої санітарії	62
7.4. Заходи щодо забезпечення пожежної безпеки	67
7.5. Заходи безпеки в надзвичайних ситуаціях	68
8. Загальні висновки	71
9. Використана література	72

ВСТУП

Холодна штамповка являється одним із прогресивних способів отримання деталей самих найрізноманітніших форм та розмірів. Холодною штамповкою отримують міцні та жорсткі деталі малої металоємкості.

В нашій країні і за кордоном в холодно – штампувальному виробництві багатьох галузей промисловості з ціллю підвищення продуктивності праці та покращенню якості деталей, які штампують, все більшому поширення отримують швидкохідні преси-автомати з нижнім приводом, багатопозиційні преси-автомати та інші прогресивні пресові обладнання.

В умовах автоматизованої штамповки при багатосерійному та масовому характері виробництва основною задачею являється підвищення стійкості розподільних штампів. Вирубні та пробивні штампи, а також комбіновані штампи, в яких різка являється одною із виконуючих ними операцій, являється найчисленнішою групою штампів і при цього найбільше трудомісткою. Їх доля в загальній кількості штампів (в залежності від характеру виробництва і продукції, яку випускали) коливається від 70 до 90 %. При цьому з огляду на відомі обмеження, зв’язані з застосуванням твердосплавних штампів, на долю стальних штампів в різних галузях промисловості приходиться 90-95 % і вище. У зв’язку з цим основною проблемою являється підвищення стійкості стальних розподільних штампів.

Висока стійкість штампів являється основною умовою рентабельності роботи цехів холодної штамповки. Вони в більшій мірі визначають собівартість та якість штампованих деталей, а також точність їх виготовлення. Підвищення стійкості штампів забезпечує ріст продуктивності праці та культуру виробництва в холодноштамповочних цехів.

При масовому характері виробництва низька стійкість штампів призводить до простоювання високовиробничих пресів-автоматів, а також викликає

необхідність у виготовленні великого числа штампів-дублерів, що веде до нераціональної загрузки інструментальних цехів і непродуктивному використанню дорогої інструментальної сталі.

Особливості механізму деформації в розподільних операціях листової штамповки:

Всі операції листової штамповки по характеру деформації можна розчленити на дві групи: розподільні і формоутворюючі. До розподільних операцій відносять: відрізка, вирубка, пробивка, надрізка, розрізка, обрізка, зачистка.

При виконанні розподільних операцій деформування заготівлі завершується руйнуванням. Для успішного виконання цієї операції прагнуть до максимальної локалізації осередку деформації. При цьому осередок пластичної деформації називається та частина заготівлі, пластична деформація якої забезпечує формозміну, характерну для тої чи іншої операції листової штамповки.

Важливу увагу при розподільних операція необхідно приділяти питанню зниження технологічного зусилля, що сприяє підвищенню стійкості штампів, забезпеченню стійкої роботи обладнання.

Якраз ці питання і розглядаються в цій роботі.

1. РІЗАННЯ МЕТАЛУ ШТАМПАМИ

1.1. Характеристика операцій різання штампами

Операції різання являє собою процес відділення однієї частини металу від іншої по замкненим або розімкненим контурам.

На заготівельних ділянках різання вихідного матеріалу проводиться ножицями. В основних цехах листового штампування різання проводиться в штампах.

У будь-якому випадку поділ металу проводиться за рахунок поступального руху частин інструменту, між яким поміщається заготівля.

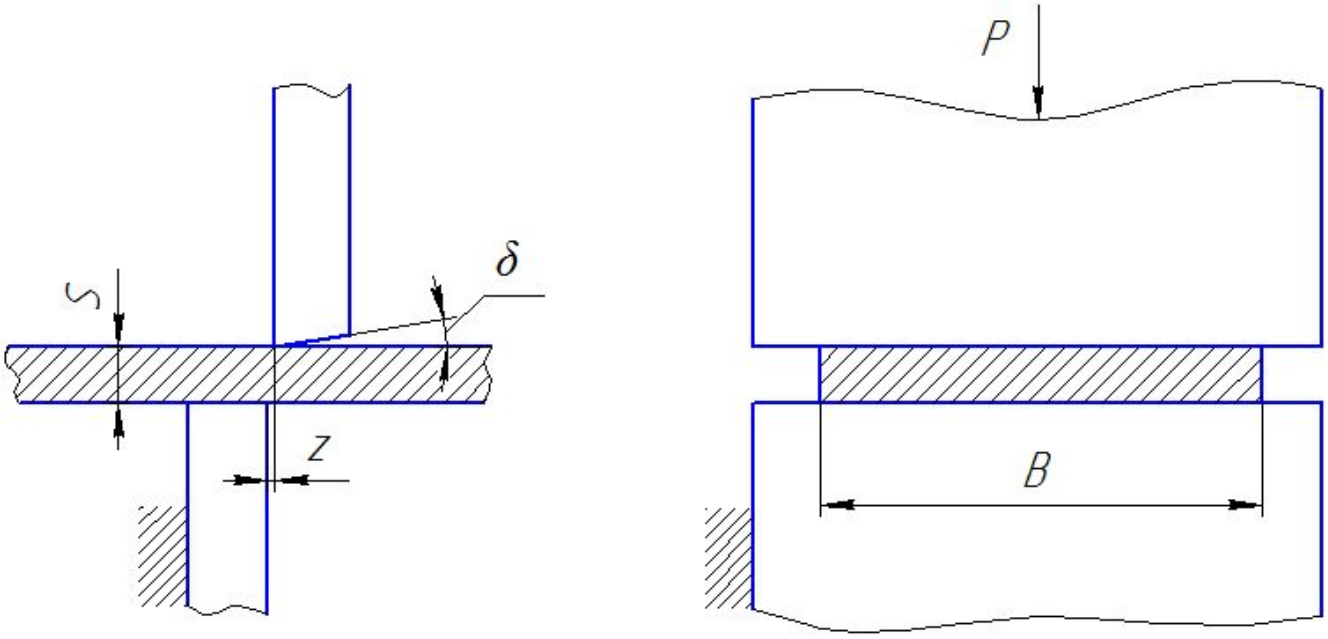


Рисунок 1.1 – Схема різки ножицями з паралельними ножами

При різанні металу на ножицях роль інструменту виконують ножі, які можуть бути паралельні (рис. 1.1) або похилі (рис.1.2). При різанні в штампах робочий інструмент виконаний у вигляді пуансона і матриці (рис. 1.3).

Між робочими частинами інструменту встановлюється зазор z, величина якого визначається технічними умовами процесу.

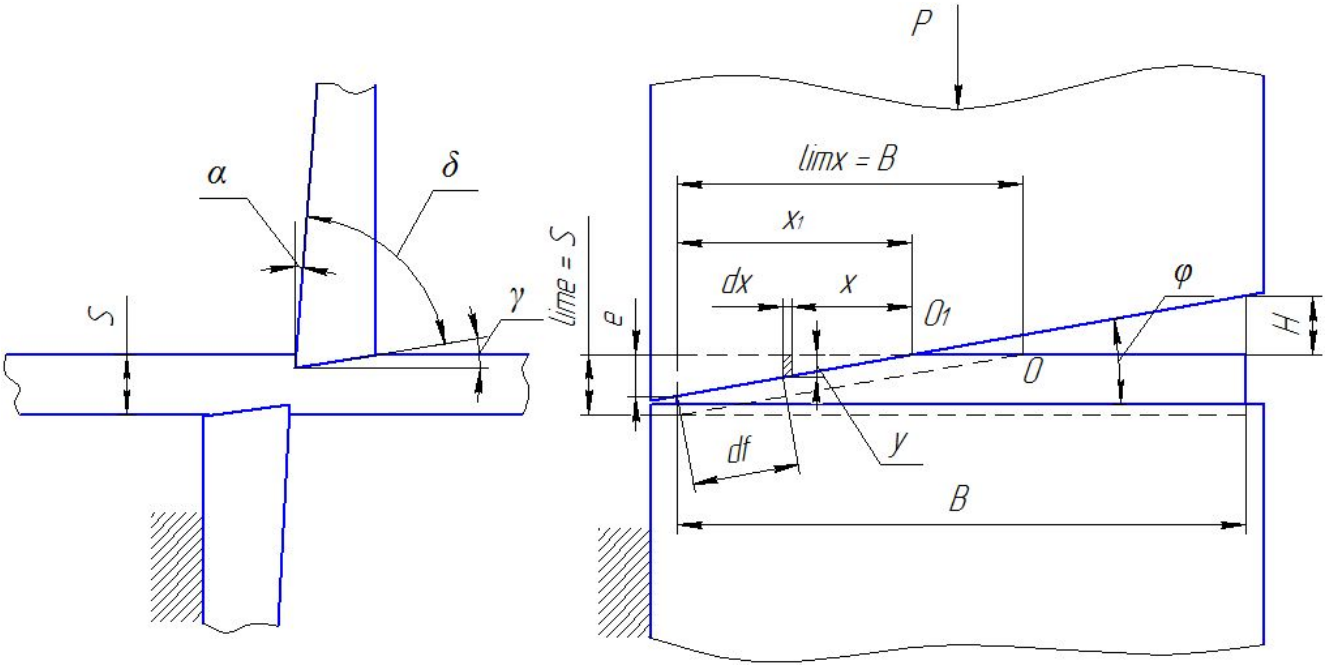


Рисунок 1.2 – Схема різки ножицями з похилими ножами

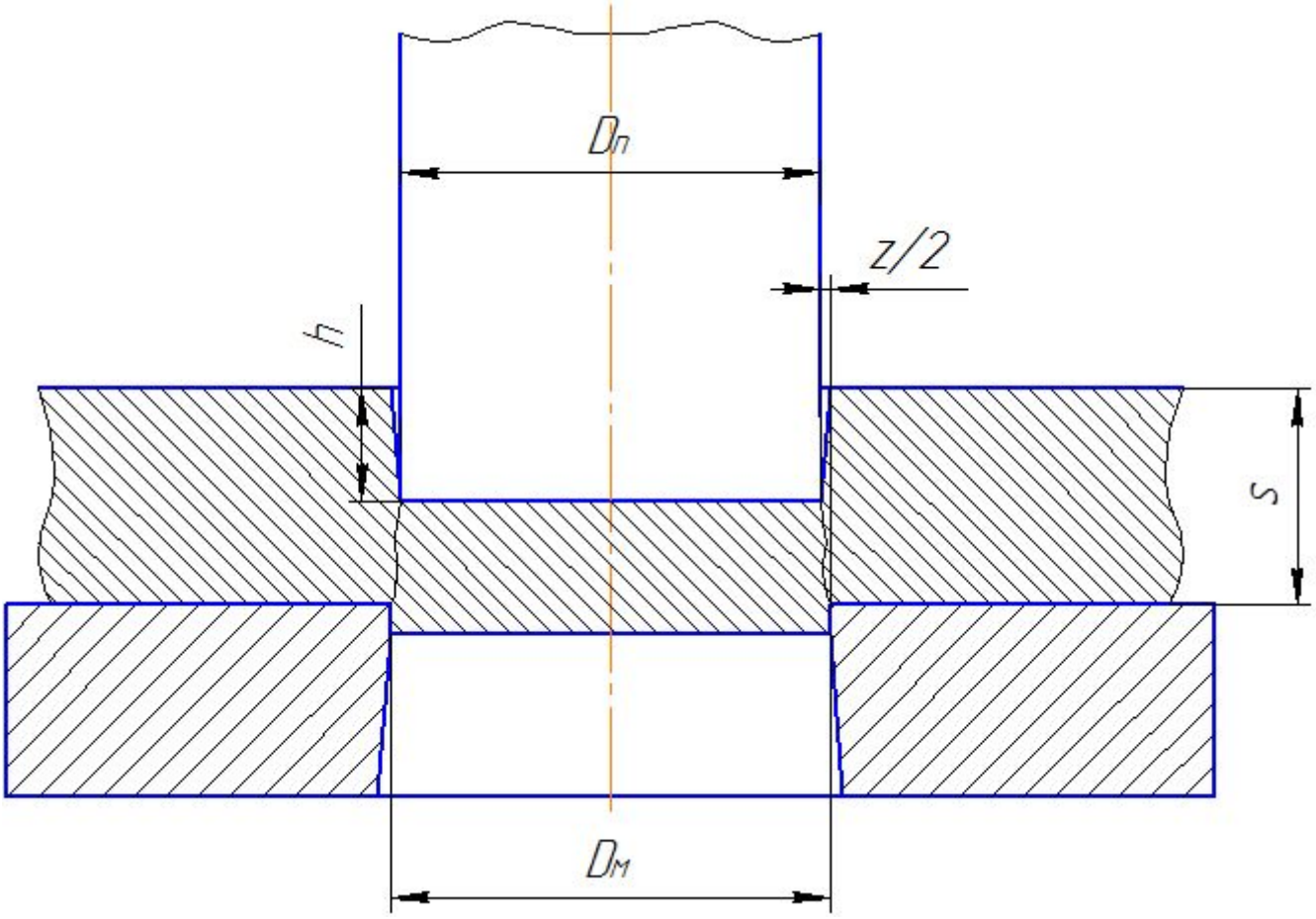


Рисунок 1.3 – Схема різки штампами

Процес різання протікає в три стадії.

Перша стадія - пружна деформація до початку пластичного деформування. Напруги на крайках інструмента досягають межі текучості і метал вдавлюється в отвір матриці.

Друга стадія - розвиток пластичної деформації. При проникненні інструменту в метал на певну глибину на ріжучих крайках виникають напруги, що перевищують межу текучості металу, що призводить до утворення зони зминання. Це зминання триває до тих пір, поки в металі чи не виникнуть напруги, достатні для зсуву металу і утворення тріщин.

Третя стадія - при подальшому переміщенні інструменту тріщини проникає в глибину і зусилля досягає максимального значення. У той момент, коли тріщини від верхнього і нижнього інструменту з'єднуються, процес поділу металу практично закінчується і зусилля миттєво знижується до мінімального, рівного зусиллю проштовхування вирубаного металу.

Глибина h проникнення інструменту до моменту з'єднання сколюючих тріщин залежить перш за все від роду металу, що розрізає. Для твердої сталі ця величина складає 16-24% від товщини матеріалу; для м'якої сталі - 40-50%; для міді, алюмінію - 80-90%.

1.2. Зусилля різання

Зусилля вирубки листової деталі в штампах з паралельними ріжучими крайками визначається за формулою [5, с. 57]

$$P = L \cdot s \cdot \tau_{cp}, \tag{1.1}$$

де L – периметр вирубуваного контуру;

s – товщина матеріалу;

$\tau_{ср}$ – опір зрізу, отримане в лабораторних (ідеальних) умовах.

Опір зрізу $\tau_{ср}$ залежить від ряду факторів, обумовлених властивостями матеріалу, формою і розмірами деталей і факторів, факторів, пов'язаних з конструкцією штампа, умов виконання процесу.

Фактори, пов'язані з матеріалом, формою і розмірами деталі: механічні властивості металу і глибина проникнення пуансона в метал; товщина вирубаного матеріалу; форма і розміри вирубаного контуру. Ці фактори називаємо технологічними.

Фактори, пов'язані з конструкцією штампа (конструктивні фактори): величина зазору; конструкція форми прохідного отвору матриці.

Умови виконання процесу вирубки: швидкість деформації (деформування); змащення матеріалу і інструменту; стан різальних крайок пуансона і матриці; ступінь твердості цих крайок та ін.

Розглянемо вплив кожного з цих факторів на величину опору вирубці $\tau_{ср}$.

1.2.1. Опір вирубці в залежності від механічних властивостей матеріалу

Опір вирубці, що отримується в лабораторних (ідеальних) умовах, τ_0 і t_0, складається з наступних двох доданків:

$$\tau_0 = \tau + \tau_{тр}; \tag{1.1}$$

$$t_0 = t + \tau_{тр}, \tag{1.2}$$

де τ і t, τ_0 і t_0 – умовний і справжній опір матеріалу зрізу – вирубці відповідно без урахування витрат на тертя і з урахуванням втрат на тертя в штампах;

$\tau_{тр}$ питомий опір силам тертя, що виникають на поверхні деталі внаслідок

наявності тертя матеріалу по інструменту.

Величина τ і t для більшості штампуємих (пластичних) металів (алюміній, мідь і ін.), а також стали м'якої і середньої твердості, у яких руйнування металу при вирубці відбувається шляхом зрізу, можна визначити як аналітично, користуючись енергетичної теорією пластичності, так і дослідним шляхом в лабораторних умовах. Встановлено, що зі збільшенням міцності матеріалів ($\sigma_в$, $S_в$) і зменшенням пластичности ($e_в$, $\varphi_в$, φ, h_m) опір вирубці збільшується.

Величина поглиблення пуансона в метал при вирубці в момент утворення сколюючої тріщин h_m може бути віднесена до показників пластичності металу, так як вона до певної міри характеризує здатність вирубуваного матеріалу до пластичних деформацій. Ця величина, таким чином, може служити характеристикою властивостей матеріалу.

Для кожного матеріалу при певному зазорі z поглиблення h_m є величиною постійною.

З практики відомо, що для твердих металів величина проникнення пуансона менше, ніж для м'яких металів. Вона залежить також і від товщини матеріалу: зі зменшенням товщини відносна глибина проникнення збільшується.

Таким чином, визначення величини h_m має виробляється при обліку роду матеріалу, його товщини і величини зазору.

Значення h_m для різних матеріалів складає від 40 до 60 % від товщини матеріалу для м’яких матеріалі, та від 20 до 650 % для твердих.

Значення питомої опору силами тертя $\tau_{тр}$ з деяким наближенням можна визначити як добуток радіальної напруги по поверхні зрізу вирубаного круга $q_{пр}$ на коефіцієнт тертя $f_{пр}$, тобто

$$\tau_{тр} = q_{пр} f_{пр} \ . \qquad (1.3)$$

Коефіцієнт $f_{пр}$ на основі наших дослідних даних при роботі без змащення коливається в межах 0,18-0,30, в середньому $f_{пр}$ = 0.25.

Істинне опір вирубці t_0 (яке відноситься до перетину в кожен даний момент часу F) можна визначити за формулою

$$t_0 = \frac{P}{\pi d(s-i)} \quad t_0 = \frac{P}{\pi d(s-h)}. \tag{1.4}$$

Значення t_0 можна визначити також за умовними τ_0 (віднесеним до первісної площі зрізу F_0), для чого слід скористатися формулою

$$t_0 = \tau_0\left(\frac{s}{s-i}\right) \quad t_0 = \tau_0\left(\frac{s}{s-h}\right). \tag{1.5}$$

Якщо для кожного знайденого значення t_0 визначити ступінь дефорації $\varphi_{вир}$, що виражається співвідношенням

$$\varphi_{вир} = \frac{h}{s} \quad \varphi_{вир} = \frac{F_0 - F}{F_0} = \frac{\pi ds - \pi d(s-i)}{\pi ds} = \frac{i}{s}, \tag{1.5}$$

то за значеннями t_0 і $\varphi_{вир}$, можна побудувати криві вирубки.

Як слідує з формул при ступенях деформації, відповідних глибині проникнення пуансона до моменту максимального зусилля, величини істинних напружень (t_0) значно більше умовних (τ_0). Отже, у розрахунках, необхідно користуватися першими.

1.2.2. Вплив товщини матеріалу s на τ_0

При одних і тих же механічних властивостей матеріалу зі збільшенням його товщини опір вирубці дещо зменшується. Це вплив пояснюється головним чином тим, що при вирубці товстих матеріалів створюються більш сприятливі умови для утворення зрушень, ніж при вирубці тонких матеріалів. Крім того, тонкі листи більш чутливі до дії різальних крайок штампу під час вирубки, внаслідок чого має місце більш сильне зміцнення (наклеп), ніж у товстих матеріалів.

1.2.3. Вплив форми та розмірів вирубаного контуру на τ_0

На підставі ряду дослідів можна зробити висновок, що зі збільшенням розмірів вирубних деталей опір вирубці дещо зменшується. Так, наприклад, в разі вирубки зі сталі товщиною від 0,5 до 3,5 мм круглих заготовок діаметром d = 30 мм, буде на 2-3 % більше, ніж при діаметрі d = 60 мм.

Форма вирубаного контуру також впливає на τ_0. Так, при вирубці круглих деталей дотичні напруження по всьому периметру розподіляються рівномірно; при складних контурах дотичні напруження в різних ділянках його будуть неоднакові. Крім того, при не круглої формі вирубки істотну роль може зіграти і нерівномірність розподілу зазору по контуру внаслідок складності контуру, що певною мірою впливає на опір вирубці.

Тому у всіх подібних випадках для того, щоб не ускладнювати розрахункової схеми, найзручніше прийняти деяку середню величину опору вирубці. Остання буде дорівнює відношенню зусилля вирубки (P) і площі зрізу (F_0).

1.2.4. Вплив величини зазору між матрицею та пуансоном z на τ_0

Величина зазору z надає істотний вплив на опір вирубці. Дослідами встановлено, що найменше (найвигідніших) зазору для кожного матеріалу і

товщини (5-15% від *s*, для s від 1 до 10-12 мм). При крайніх значеннях зазору - негативному ($z < 0$), нульовому ($z = 0$) і досить великому ($z > 20 \div 30$ % *s*) опір вирубці, а з ним і загальне зусилля вирубки *P* стають більшими, ніж при оптимальних значеннях зазору. Пояснюється це тим, що в подібних випадках, крім дотичних напружень, з'являються додаткові напруги від тертя і вигину, внаслідок чого загальний опір вирубці, яке визначається за наведеним напрузі, збільшується на 15-20 %. Звідси стає очевидною вигідність роботи при оптимальних зазору.

Зазор (або деякий інтервал їх), при якому опір і зусилля вирубки приймають мінімальні значення, називають оптимальним, або нормальним. Для кожного матеріалу і товщини існують свої оптимальні величини зазорів.

Оптимальний зазор відповідає такий вирубці, при якій тріщини, що йдуть від пуансона і матриці, сходяться. При цьому опір вирубці буде мінімальним. Вторинне поступове зниження зусилля *P* або τ_0 при збільшенні зазору понад 20-30 % від *s* може бути пояснено тим, що вирубка відбувається в цих випадках не тільки шляхом зрізу, а й в наслідок розтягування волокон. Останнє призводить до зменшення перерізу, що чинить опір деформації, а також до неодночасного зрізу по периметру вирубуваних заготовки, отже, і до спаду зусилля.

Робота при оптимальних зазорах характеризується не тільки мінімальним опором (і зусиллям) вирубки, а й тим, що сприяє отриманню найбільш задовільною форми поверхні зрізу і кращого співпадання розмірів вирубуваних деталі з розмірами матриці і пробивається отвори - з розмірами пуансона. Крім цього, при оптимальних зазорах стійкість штампів також більш високою.

1.2.5. Вплив конструкції матриці (форми прохідного отвору) на τ_0

Найбільш поширеними є матриці, робочий отвір яких виконано у вигляді циліндричного паска, і матриці з робочим отвором у вигляді конуса.

На підставі проведених досліджень можна зробити висновок, що при вирубці деталей в матриці з циліндричним паском опір вирубці вище, ніж при вирубці в матриці з конусом. Це пояснюється тим, що у матриць другого типу є більш вільний вихід деталей з робочого отвору. Тому при вирубці деталей на провал (через отвір) з успіхом застосовують подібну конструкцію. Матриці з робочим отвором у вигляді циліндричного паска застосовують зазвичай при вирубці зі зворотним виштовхуванням деталі (нема на провал), а також для точних робіт.

Всі наведені вище висновки зроблені для вирубки при так званих нормальних умовах, тобто при нормальному зазорі, при гострих ріжучих крайках пуансона і матриці, при невеликих швидкостях деформації, при наявності мастила і ін. Однак на практиці ці умови зазвичай не витримуються, внаслідок чого опір вирубці і загальне зусилля вирубки металу зростають.

1.2.6. Вплив умов роботи на τ_0

На опір вирубці також впливають швидкість деформування, мастило матеріалу і штампа, стан різальних крайок пуансона і матриці, ступінь твердості ріжучих крайок і ін.

Швидкість деформування. Швидкість деформування, під якою зазвичай розуміють швидкість переміщення повзуна преса, впливає на опір матеріалу вирубці. Проте точних і систематизованих відомостей в літературі з цього питання немає.

При розгляді операції різання (вирубку) на кривошипних (ексцентрикових) пресах слід мати на увазі, що швидкість руху повзуна залежить від кутової

швидкості головного валу, кута повороту кривошипа і величини відношення радіуса кривошипа R до довжини шатуна L.

Процес різання металу зазвичай здійснюється в той момент, коли повзун знаходиться поблизу нижньої мертвої точки. В цьому випадку різання заготовки відбувається при мінімальному заході пуансона в матрицю, а це обумовлює отримання порівняно малих величин швидкостей різання навіть при великих числах подвійних ходів повзуна преса.

Як показала практика ряду заводів, в разі роботи на пресах з підвищеною швидкістю при нормальних умовах (хороший стан різальних крайок, оптимальний зазор і ін.) Процес різання протікає без будь-яких істотних змін.

При одночасній вирубці і витяжці, коли процес різання здійснюється не в нижній мертвій точці, а при такому куті повороту кривошипа, при якому швидкості повзуна щодо великі, необхідно враховувати поправку на опір матеріалу різанні - вирубці.

Зі збільшенням швидкості вирубки величина τ_0 зростає. При цьому вона може бути визначена за формулою

$$\tau_{0v} = \alpha_v \tau_0 . \qquad (1.6)$$

Величина швидкісного коефіцієнта α_υ залежить від лінійної швидкості і ходу повзуна, а також від товщини вирубуваних заготовки.

При роботі на кривошипних (ексцентрикових) пресах з числом подвійних ходів повзуна (оборотів валу) n до 140 в хвилину, довжиною ходу H = 50 мм, швидкість (середня) переміщення повзуна υ_n = 0,18 м/с α_υ = 1,06÷1,09.

При роботі на швидкохідних штампувальних автоматах з числом подвійних ходів повзуна n, що доходить до 300 в хвилину, і υ_n = 0,50 м/с швидкісний коефіцієнт приймає значення α_υ = 1,10÷1,12; при n = 300÷600 об/хв і υ_n = 0,50÷0,75 м/с α_υ = 1,12÷1,15.

Мастило матеріалу і інструменту. Мастило при вирубці впливає на зусилля проштовхування деталі, а отже, і на зусилля вирубки і на опір вирубці.

На підставі проведених досліджень можна зробити висновок, що при роботі без змащення зусилля проштовхування зростає на 30-40 % в порівнянні з зусиллям проштовхування зі змазкою. Це призводить до збільшення загального зусилля вирубки на 3-6% в порівнянні з зусиллям при роботі з мастилом.

Стан різальних крайок інструменту також змащується на величині. Експериментально встановлено, що робота з тупими ріжучими крайками інструмента вимагає більший зусиль, ніж вирубка з гострими крайками. Це пояснюється тим, що у інструменту (пуансона, матриці) з притупленими ріжучими крайками збільшується кут різання (приймаючи значення більше 90° і площа зрізу внаслідок збільшення нахилу ліній сколювання за рахунок зростання зазору. Крім того, вирубують матеріал при тупих крайках інструмента отримує можливість більше затискатися в зазорі між матрицею і пуансоном.

1.2.7. Зв'язок між величинами τ_0 та $\sigma_в$

Для практичних розрахунків необхідно знати співвідношення між опором вирубці τ_0 (умовним) і тимчасовим опором розриву даного матеріалу $\sigma_в$ (умовним).

Експерименти, проведені автором, дають можливість зробити наступні вельми важливі для практики висновки.

Величина опору різання - вирубці для матеріалів товщиною від 0,50 до 4,0 мм при невеликих швидкостях деформування (0,15-0,20 мм/с) нижче їх межі міцності.

Опір вирубці (при одиничній роботі) в залежності від товщини і роду матеріалу, діаметра вирубаних деталі, величини зазору, а також і від інших розглянутих вище чинників становить:

τ_0

Для сталі……. ……(0,75÷0,90)$\sigma_в$

латуні Л62……..….(0,65÷0,75)$\sigma_в$

алюмінію м'якого……..…(0,75÷0,90)$\sigma_в$

алюмінію твердого……....(0,55÷0,70)$\sigma_в$

дуралюмина м'якого…….(0,65÷0,75)$\sigma_в$

дуралюмина твердого……(0,60÷0,65)$\sigma_в$

нержавіючої сталі 1Х18Н9 та 1Х13……..(0,68÷0,72)$\sigma_в$

титана марок ВТ1-1 і ВТ1-2……..…(0,65÷0,70)$\sigma_в$

Верхні граничні значення слід приймати для більш тонких матеріалів (s від 0,5 до 2 мм), нижні - для більш товстих (s від 2 до 4 мм і вище).

1.2.8. Визначення дійсних значень опору вирубці і загального зусилля вирубки

З викладеного вище видно, що в виробничих умовах, з урахуванням впливу перерахований факторів, дійсний опір вирубці $\tau_д$ і загальне зусилля вирубки $P_д$ будуть вище, ніж в лабораторних (ідеальних) умовах роботи. Їх значення можна визначити, скориставшись так званим диференціальним, або коефіцієнтним, методом.

Як відомо, цей метод полягає в тому, що дія кожного фактора, що впливає на шукану величину, враховується деяким певним коефіцієнтом: σ_1; σ_2; σ_3, … , σ_n.

Добуток зазначених коефіцієнтів дає загальний коефіцієнт k, який, як показали проведені автором досліди, коливається в залежності від умовної роботи в межах 1,0-1,3. Тоді дійсне опір вирубці $\tau_д$ визначиться з виразу

$$\tau_д = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_4 \alpha_5 \alpha_6 \tau_0 = k\tau_0 = (1.0 \div 1.3)\tau_0$$

$$\tau_д = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot \alpha_6 \cdot \tau_0 = (1{,}0 \div 1{,}3)\tau_0 \quad , \qquad (1.7)$$

Дійсне зусилля вирубки (в виробничих умовах) P, яке приймається як розрахункове зусилля $P_д$, для вибору обладнання, буде

$$\mathrm{P_р} = \mathrm{P_д} = usk\tau_0 = (1{,}0 \div 1{,}3)us\tau_0 \quad P = P_д = (1{,}0 \div 1{,}3)Ls\tau_0 \qquad (1.8)$$

Помноживши τ_0 на коефіцієнт k, отримаємо значення дійсного опору вирубці $\tau_д$. Глибина проникнення пуансона в метал в момент його поділу i_k буде на 10-20 % більше h_m.

1.3. Методи зниження технологічного зусилля

Із наведеного матеріалу витікає, що зменшення технологічного зусилля, та динамічного навантаження інструменту та обладнання при розподільних операціях можливе декількома методами.

По-перше, досить значний вплив на величину опору вирубки має величина зазору між частинами інструменту. В п. 1.2.4 вказано, що для зменшення зусилля, а також забезпечення найбільш благо приємних умов роботи інструменту необхідно чітко встановлювати та дотримуватись оптимальної величини зазору. Вибір оптимального значення зазору забезпечує отримання найкращої якості поверхні зрізу. Надалі в п. 3.5 буде більш детально розглянуто рекомендації по вибору оптимального значення зазору.

По-друге, використання матриці з конічною поверхнею робочого отвору зменшує сили тертя, тобто загального зусилля. Однак слід зауважити, що для таких матриць стійкість суттєво зменшується внаслідок більш швидкого зносу ріжучої частини.

Зменшення зусилля забезпечується виконанням розподільних операцій при меншій швидкості пуансону. Для цього окрім інших обставин рекомендується завжди розподільні операції виконувати при найменшому радіусі кривошипу, якщо це можливо, та найменшій швидкості двигуна.

Важливо при вирубних операціях використовувати відповідне технологічне мастило, що окрім зменшення сил тертя призводить до збільшення стійкості інструменту.

Однак найбільш важливим для зменшення зусилля та динаміки процесу є використання інструменту із скошеними робочими крайками, подібно до ножиців з похилими ножами.

1.4. Зниження технологічного зусилля при використанні інструменту із скошеними кромками

При вирубці (пробиванні) листового матеріалу штампами з паралельними ріжучими крайками процес різання починається одночасно по всьому периметру контуру, внаслідок чого зусилля різання може досягти досить значних величин, що перевищують зусилля, що допускається пресом.

Для полегшення умов різання, забезпечення плавної роботи преса і зменшення потрібного зусилля при вирубці застосовують штампи зі скошеними - похилими ріжучими крайками на пуансоні або на матриці.

Практично використовують три методи нахилу ріжучих кромок:

1. нахил кромок всередину (рис. 1.4);
2. нахил кромок зовні (рис. 1.5);

3. криволінійний нахил по дузі (рис. 1.6).

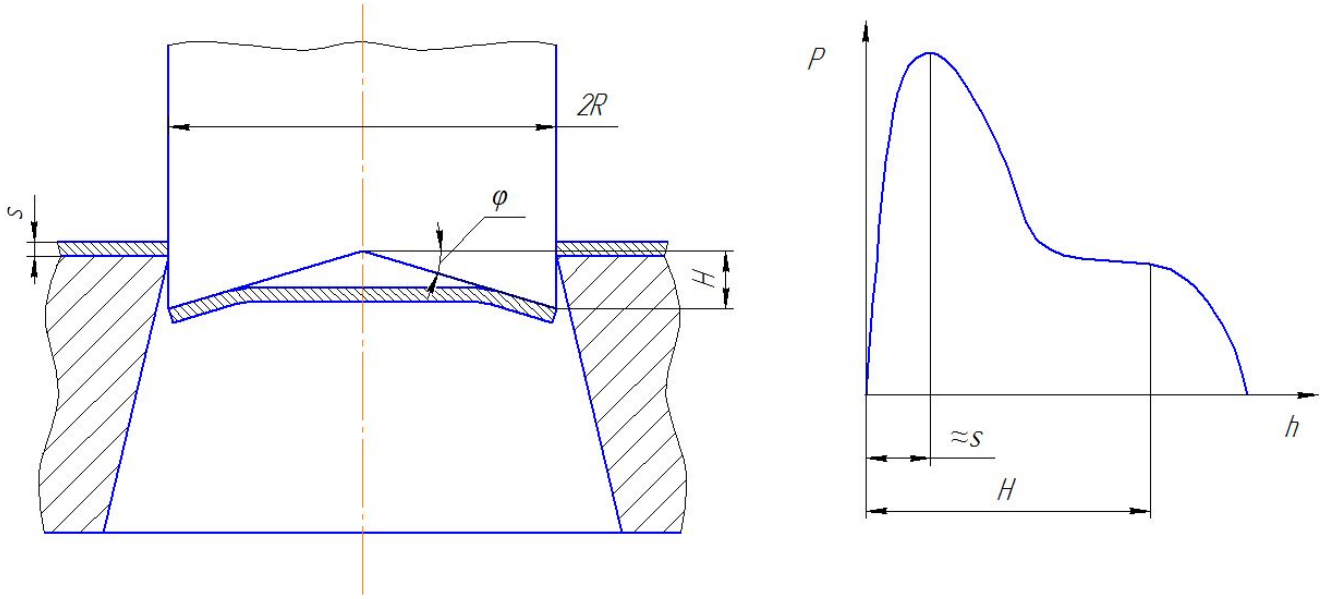


Рисунок 1.4 – Схема вирубки пуансоном зі скошеними кромками всередину

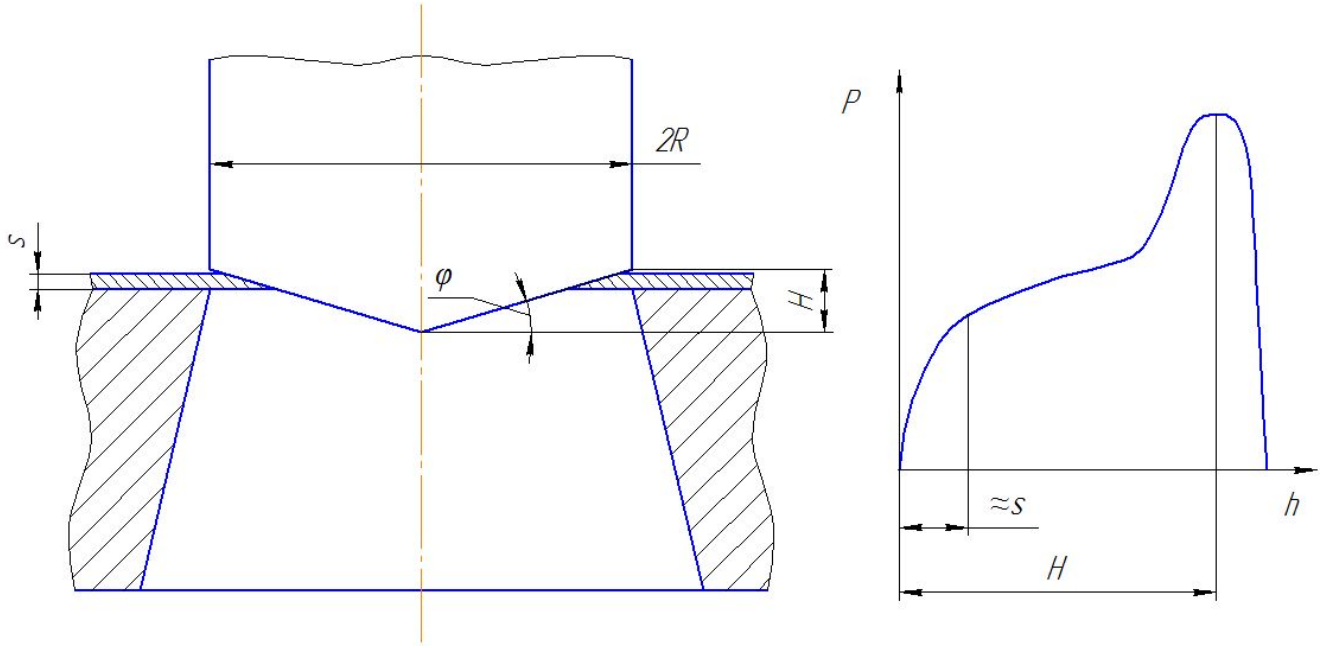


Рисунок 1.5 – Схема вирубки пуансоном зі скошеними кромками зовні

Технічні параметри інструменту та розрахункові формули для визначення максимального зусилля вирубки наведені в декількох наукових та довідкових джерелах [4, 5, 7-10].

Величину скоса матриці або пуансона H в таких штампах зазвичай приймають в межах (1–3)s, кут скосу – нахил φ відповідно – в межах 2–8° .Для матеріалів товщиною s до 3 мм приймають H = (3÷2) s, φ = 5÷2°°, тоді зусилля різання знижується на 45-30 % в порівнянні з зусиллям різання при роботі штампами з плоскими пуансонами.

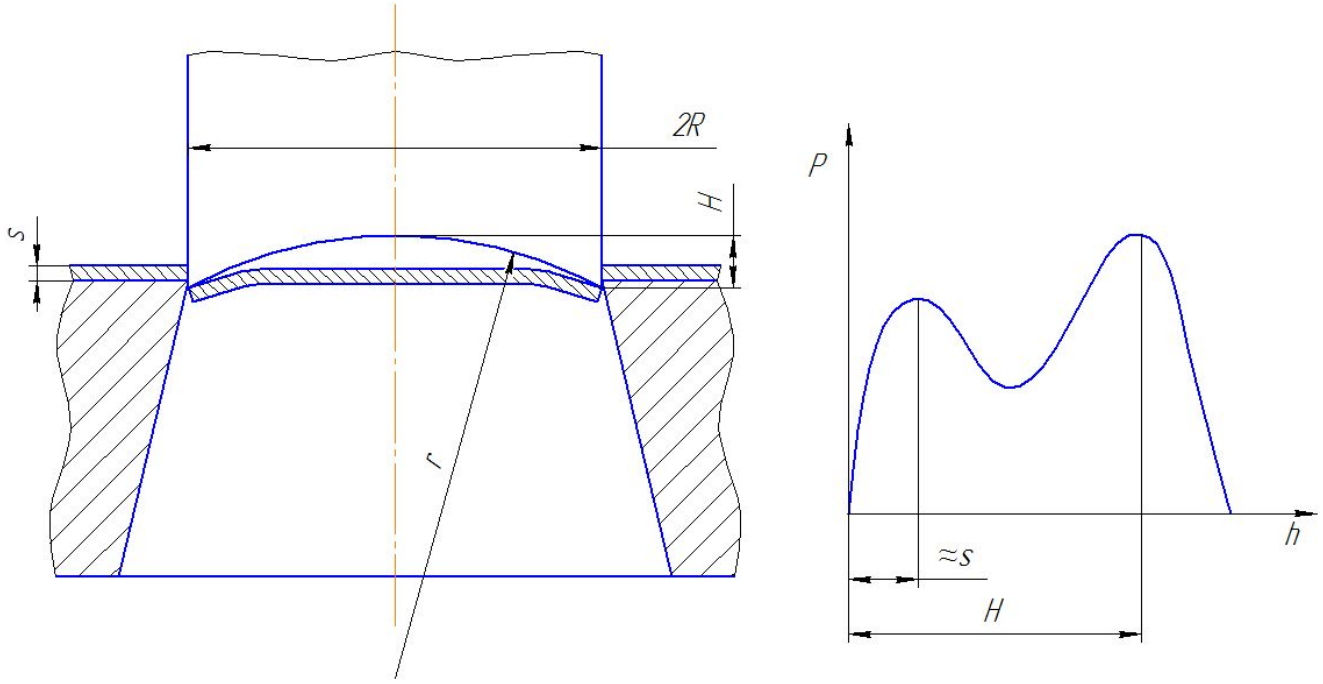


Рисунок 1.6 – Схема вирубки пуансоном з криволінійним скосом кромок

Для матеріалів товщиною понад 3–4 мм беруть H = (2÷1) s, φ = 8÷5°, при цьому зусилля вирубки знижується на 65-50 %.

Нахил (скіс) на матриці або на пуансоні краще робити двостороннім (як і показано на рис. 3.2, 3.3 та 3.4), так як наявність симетричного скосу з обох сторін перешкоджає виникненню бокових зусиль, що мають місце односторонньому схилі, який призводить до зарубаня різальних крайок інструменту.

Щодо залежностей для максимального зусилля варто відмітити велику різницю в роботах деяких авторів.

В одній з перших робіт по даному питанню [4, с. 11] зроблено аналіз аналітичних залежностей для визначення максимального зусилля. Вказано, що в деяких випадках результати відрізняються майже в три рази. В деяких випадках показна навіть повне неприйняття запропонованих залежностей. Приводяться причини, що зумовили велику різницю отриманих результатів.

В цій же роботі автор пропонує оригінальний метод розрахунку зусилля і роботи вирубки як певні об'єми, які відрізаються поверхнею що проходить через ріжучу кромку перпендикулярно площині різу.

В деяких випадках автори враховували не всі сили, що діють на інструмент. В інших – має місце різнобій щодо величини заходу пуансона в метал до кінця процесу розподілу металу та інші.

Цікаво провести аналіз залежностей, що пропонуються в роботах Романовського В.П. В першій роботі [8] пропонуються майже ті ж залежності що і в першоджерелі [4]. А от в наступному виданні [9] пропонуються зовсім інші залежності. Наприклад, при вирубуванні пуансоном з нахилом кромок всередину або зовні (рис. 1.4, 1.5) з початку рекомендується формула

$$P = 2(1 + 0{,}02\varphi)Ds\sigma_в \arccos\frac{H - h}{H},$$

а в роботі [9] пропонується формула

$$P = 0{,}6\pi Ds\sigma_{ср}.$$

Дивно, що в останніх роботах В.П. Романовський рекомендує такі надто спрощені залежності.

1.5. Зниження зусилля вирубки декількома пуансонами

При розподільних операціях одночасно декількома пуансонами, особливо при їх великій різниці в розмірах з метою зниження сумарного засилля і забезпечення стійкої роботи пуансонів рекомендується виконувати ступінчате розташування інструменту (рис. 1.7). такий прийом використовується також з метою запобігання крихкому руйнуванню і поломки малих по діаметру пуансонів, коли стає можливим здвиг верхньої частини штампу під дією зусилля для великих пуансонів. Окрім того такий прийом зменшує коробчатість деталей при одночасному вирубування великих по площі отворів. Величина різниці довжин *Δ* пуансонів від більшого до меншого рекомендується приймати від 0,7 до 1,1 товщини металу [8]. Менші значення коефіцієнту приймаються для більш товстих матеріалів.

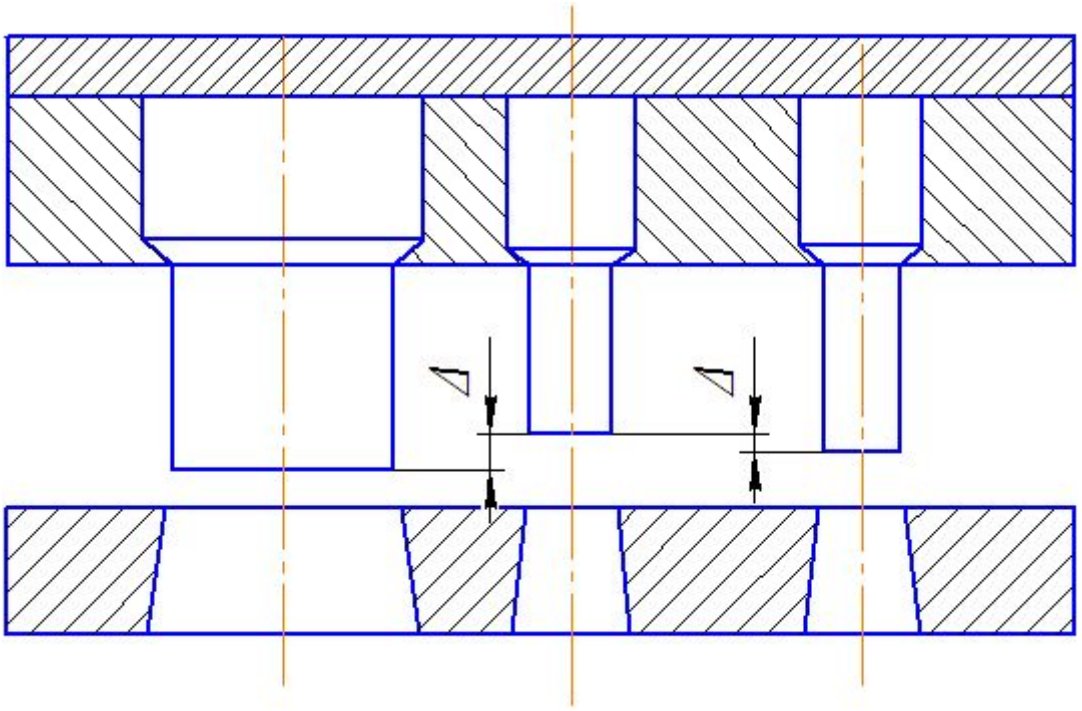


Рисунок 1.7 – Схема ступінчатого розташування пуансонів

1.6. Постановка задачі

Враховуючи найбільший вплив на величину максимального технологічного зусилля та динаміку процесу розподілу металу форми робочого інструменту в роботі розглядається питання розрахунку зусилля при використанні пуансонів та матриць з похилими робочими кромками.

Метою роботи є:

- отримання аналітичних залежностей для визначення поточного та максимального зусилля операції;
- визначення оптимальної геометрії інструменту;
- визначення положення пуансону при досягненні максимального зусилля.

2. МЕТОДИКА ТЕОРЕТИЧНИХ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Методика теоретичних досліджень

Теоретичний аналіз процесу розподілу металу інструментом з нахиленими ріжучими кромками виконано на основі теоретичних методів дослідження процесів обробки тиском. Процес розподілу металу розглядається як послідовний процес виникнення сколюючих тріщин та їх руху в глибину металу заготовки. Вважається, що до кінцевого розділення металу процес стабільний і характеризується монотонним переміщення зони деформації. При цьому передбачається, що розподіл металу описується такими ж залежностями, як і при різанні металу на ножицях з нахиленими ножами.

2.2. Методика експериментальних досліджень

Експериментальні дослідження виконувались для перевірки теоретичних розрахунків максимального зусилля деформації.

Вимірювання технологічного зусилля виконувалось методами тензометрії з фіксацією результатів на комп'ютері за допомогою аналого-цифрового перетворювача. Датчиком сигналу була месдоза, розташована під опорною частиною пуансону. Сигнал з напівмостової схеми підсилювався в тензометричному підсилювачі.

3. ЗНИЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ЗУСИЛЛЯ РІЗАННЯ МЕТАЛУ В ШТАМПАХ

3.1. Зусилля при вирубанні інструментом зі скошеними кромками

Передбачається, що процес різання інструментом зі скошеними крайками відбувається так само як і при використанні інструменту з паралельними кромками, таким чином спочатку відбувається впровадження пуансона в заготовку на деяку величину до моменту утворення тріщин. Далі відбувається відкол металу і вільне переміщення пуансона виробляє проштовхування відрізаної частини в матрицю.

Відмінність полягає в тому, що при вирубці листового матеріалу інструментом зі скошеними крайками процес різання відбувається по локальних зон, стан і розміри яких визначаються геометрією інструменту та величиною його впровадження в заготівлю.

В одній із перших робіт по розрахунку процесу вирубання нахиленим інструментом [4] пропонується метод визначення поточного значення зусилля вирубки за допомогою так званих умовних об’ємів, чисельно рівних зусиллю та роботі різання.

Зусилля різання нахиленим інструментом в загальному вигляді визначається за формулою

$$P = \frac{\lambda h s}{tg\varphi}\sigma_{cp}, \qquad (3.1)$$

де λ – коефіцієнт відношення середнього зусилля до максимального ($\lambda<1$);

h – глибина заглиблення пуансону в метал до моменту його сколу;

φ – кут нахилу ріжучої кромки.

Для визначення кута нахилу ріжучої частини інструменту будується розгортка лінії бокової поверхні інструменту, тобто лінії різу. Наприклад, для

пуансона з скосом кромок всередину така розгортка має вид, як показано на рис. 3.1.

Рівняння площини одного скосу $Z = \frac{H}{R}Y - H$.

Із рисунка 3.4 слідує, що $Y = R \cdot \sin\varphi$. Після розгортки лінії різу маємо $X = R \cdot \psi$, тобто $\psi = \frac{X}{R}$. Підставив в формулу рівняння площини маємо

$$Z = H \sin\frac{X}{r} - H \quad . \tag{3.2}$$

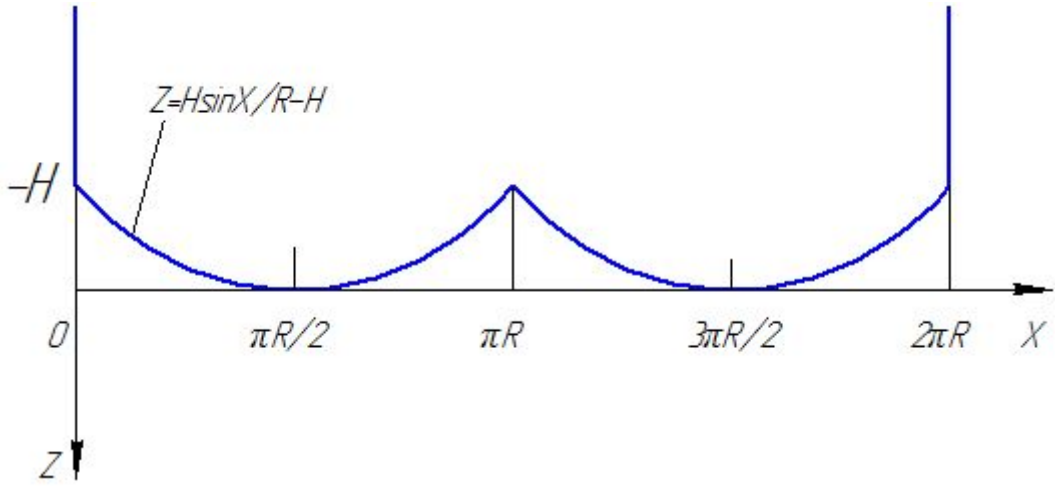


Рисунок 3.1 – Розгортка бокової поверхні пуансона з нахилом кромок всередину

Нехтуючи деякими похибками розрахунку нахилену площину різу провести через початок та кінець миттєвої дуги різання, як показано на рис. 3.2.

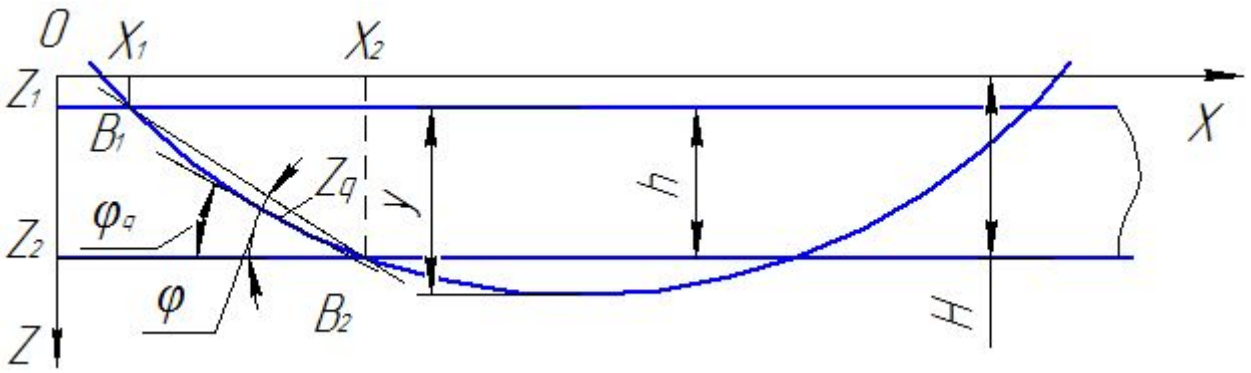


Рисунок 3.2 – Спрощене проведення площини різу

Тоді

$$tg\varphi = \frac{Z_2 - Z_1}{X_2 - X_1}. \qquad (3.3)$$

Із рисунку 3.2 видно, що

$$Z_2 = H - y + h, \quad Z_1 = H - y.$$

Відповідно до рівняння (3.5)

Знаходимо

$$X_2 = R\arcsin\frac{Z_2}{H} = R\arcsin\frac{H - y + h}{H},$$

$$X_1 = R\arcsin\frac{H - y}{H}.$$

Підставляючи отримані значення в формулу (3.6), матимемо

$$tg\varphi = \frac{h}{R\left(\arcsin\frac{H - y + h}{H} - \arcsin\frac{H - y}{H}\right)}.$$

Підставляючи це значення в формулу (3.4), будемо мати

$$P = \frac{4\lambda h s \sigma_{cp}}{tg\varphi} = 4\lambda R s \sigma_{cp}\left[\arcsin\left(\frac{H - y + h}{H}\right) - \arcsin\left(\frac{H - y}{H}\right)\right]. \qquad (3.4)$$

Оскільки проводячи площину різання через точки B_1 та B_2 (рис. 3.2) отримуємо кут нахилу ріжучої трохи більший, чим має місце насправді, зусилля буде трохи менше дійсного. Якщо ввести поправочний коефіцієнт рівний приблизно 1,2…1,3, то добуток цього коефіцієнту на λ буде рівний приблизно одиниці.

Для інструменту з циліндричним скосом кромок розгортка лінії різу має вигляд, показаний на рис. 3.3.

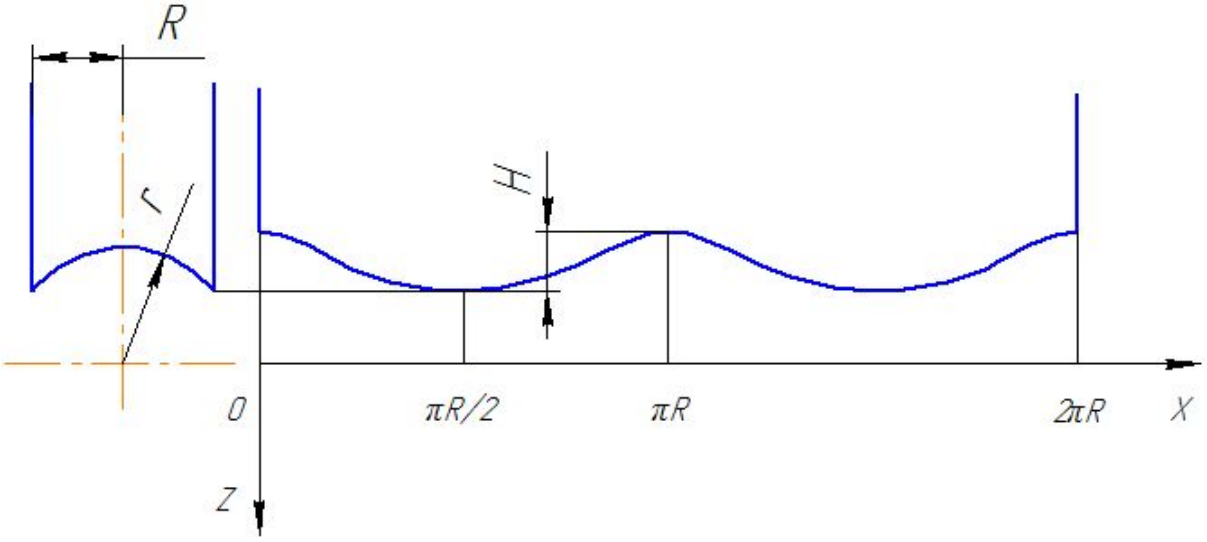


Рисунок 3.3 – Розгортка бокової поверхні пуансона з нахилом кромок всередину

Враховуючи сказане, залежності для розрахунку поточного зусилля можна визначити більш простим методом.

На рис. 3.5 показано положення інструменту зі скошеними крайками пуансона всередину після його впровадження y на величину, що перевищує товщину металу s. Різання металу відбувається одночасно в чотирьох зонах, що представляють собою дугу c_1c_2, обмежену кутами θ_1 та θ_2.

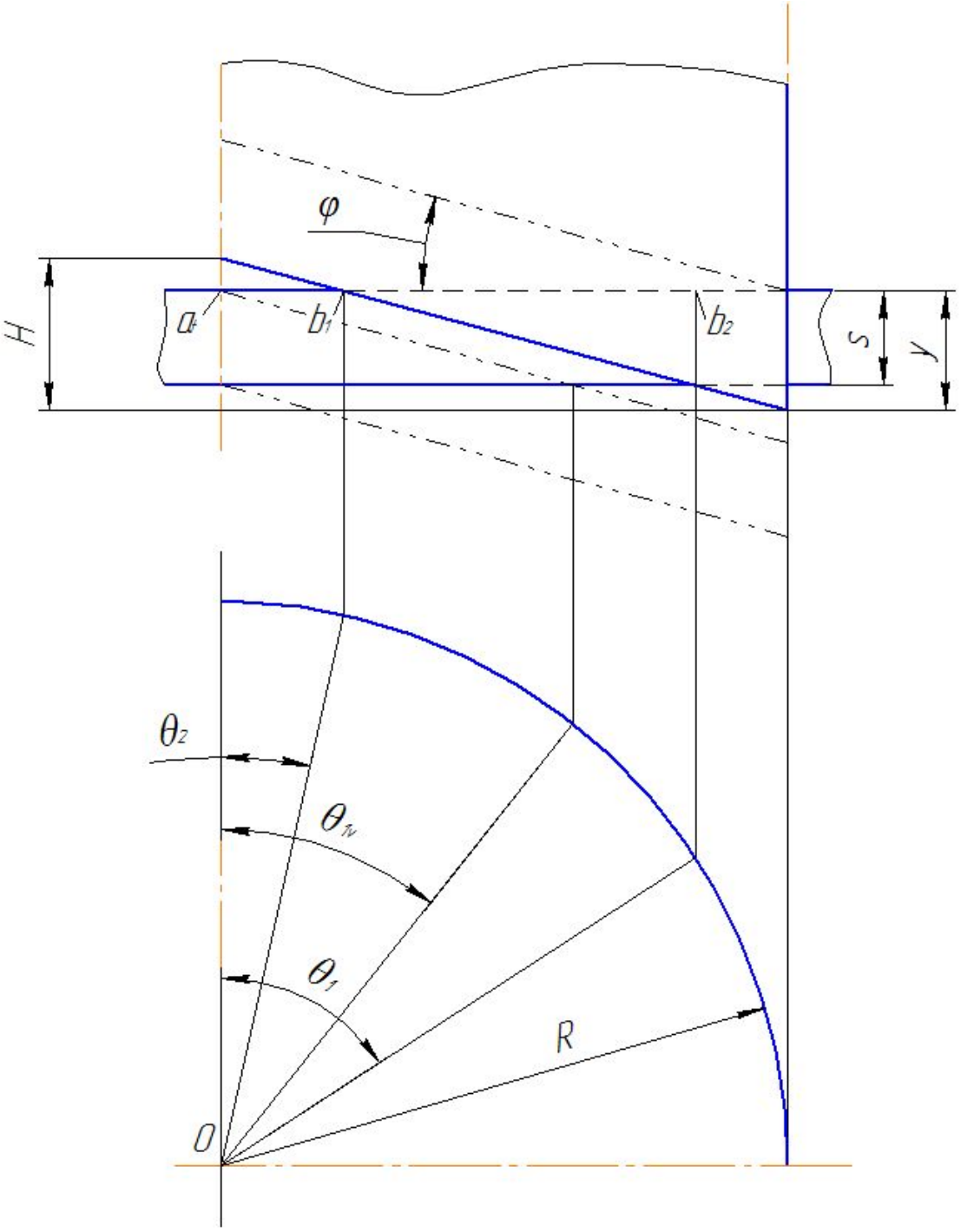


Рисунок 3.4 – Розрахунок зусилля різання пуансоном зі скосом кромок всередину

Кути визначаються в такий спосіб.

Відстань $a_f b_1$ дорівнює $a_f b_1 = R - \frac{y-h}{tg\varphi}$. Але кут φ за визначенням є $tg\varphi = H/R$.

Тоді з нижнього малюнка знаходимо

$$\theta_1 = \arcsin(\frac{H - y + h}{H}).$$

Аналогічно знаходимо

$$\theta_2 = \arcsin(\frac{H - y}{H}).$$

Таким чином, довжина дуги різання буде дорівнювати $R(\theta_1 - \theta_2)$. Використовуючи загальну формулу для розрахунку зусилля різання для чотирьох зон знаходимо зусилля різання пуансоном з крайками скошеними всередину

$$P = 4Rs\sigma_{cp}\left[\arcsin(\frac{H - y + h}{H}) - \arcsin(\frac{H - y}{H})\right]. \qquad (3.5)$$

Максимальне значення зусилля при $y = h$ буде дорівнювати

$$P_{\max} = 4Rs\omega_{cp}\arccos\frac{H - h}{H}. \qquad (3.6)$$

Для інструменту з крайками скошеними назовні (див. рис. 3.6) поточне зусилля різання визначається аналогічним чином

$$P = 4Rs\sigma_{cp}\left[\arcsin(\frac{y}{H}) - \arcsin(\frac{y - h}{H})\right]. \qquad (3.7)$$

Максимальне зусилля обчислюється по тій же формулі (3.6), але має місце при $y = H$.

Для інструменту з циліндричними скосами крайок (рис. 3.7) поточне зусилля деформації визначається аналогічним способом.

Довжина зони різання $l_1 l_2$ визначається довжиною дуги $r(\theta_1 - \theta_2)$. Кути θ_1 и θ_2 в свою чергу визначаються як

$$\theta_1 = \arcsin(\frac{r \cdot \sin\varphi_1}{R}), \qquad \theta_2 = \arcsin(\frac{r \cdot \sin\varphi_2}{R}).$$

Кути φ_1 и φ_2 визначаються як

$$\varphi_1 = \arccos\left(\cos\varphi_o + \frac{y-h}{r}\right), \qquad \varphi_2 = \arccos\left(\cos\varphi_o + \frac{y}{r}\right).$$

Таким чином поточне зусилля різання буде

$$P = 4Rs\sigma_{cp}\left[\arcsin(\frac{r \cdot \sin\varphi_1}{R}) - \arcsin(\frac{r \cdot \sin\varphi_2}{R})\right]. \qquad (3.8)$$

Максимальне зусилля обчислюється по формулі

При $y = h$

$$P_{\max} = 4Rs\sigma_{cp}\arccos\frac{\sqrt{r^2 - (r - H + h)^2}}{R}. \qquad (3.9)$$

При $y = H$

$$P_{\max} = 4Rs\sigma_{cp}\arccos\frac{\sqrt{r^2 - (r - h)^2}}{R}. \qquad (3.10)$$

Про диференціювавши два рази рівняння розгорнутої лінії ріжучої кромки можна обчислити радіус кривизни привоїв точках найменшої та найбільшої висоти контуру. В найвищій точці радіус кривизни становить $\rho_1 = r$ к, а в

найнижчій $\rho_2 = \sqrt{r^2 - R^2}$. Оскільки радіус ρ_1 більший чим ρ_2, то більший миттєвий периметр різання буде в верхній точці контуру. Тому максимальне зусилля різання слід очікувати в кінці процесу.

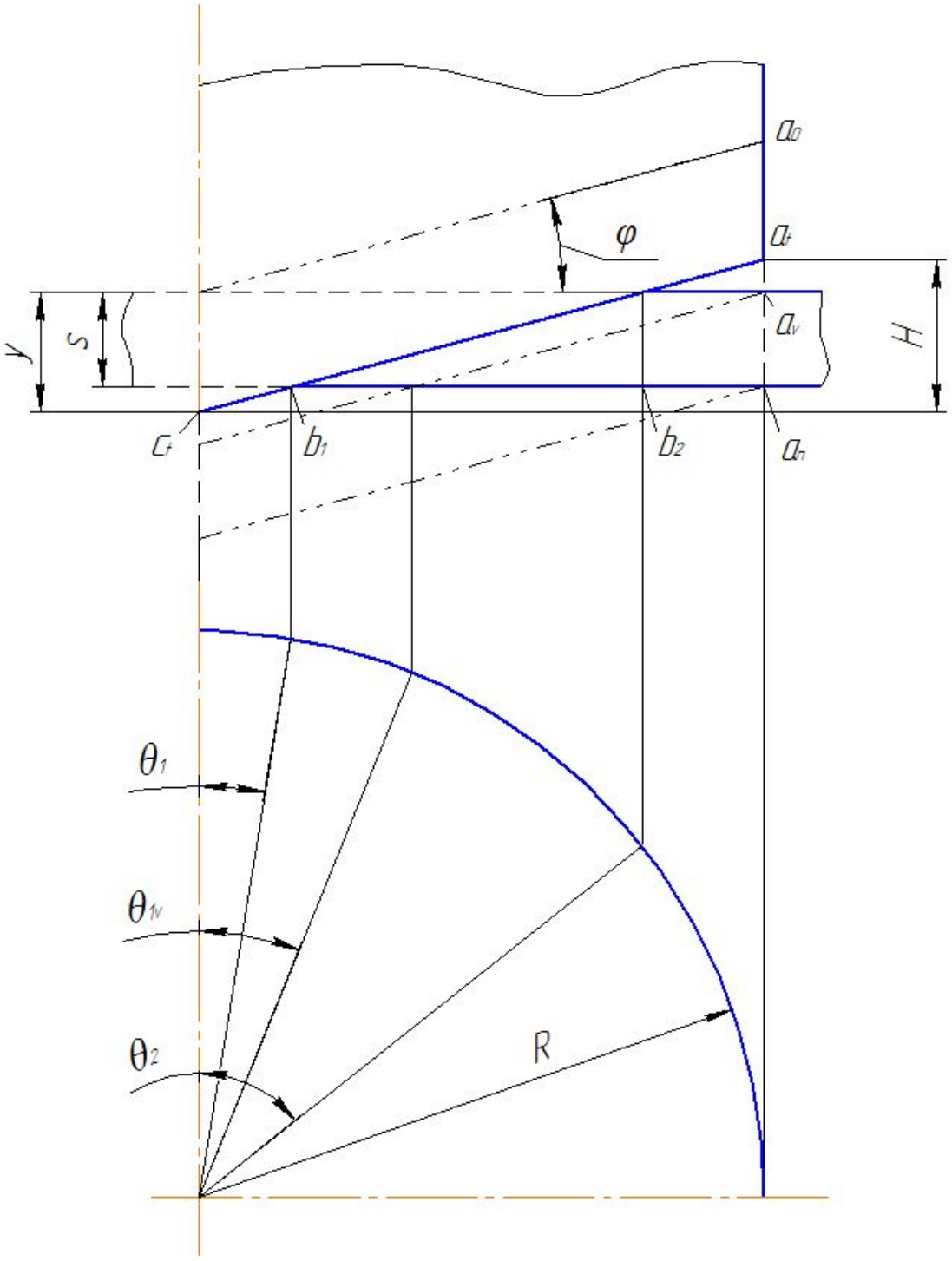


Рисунок 3.5 – Розрахунок зусилля різання пуансоном зі скосом кромок назовні

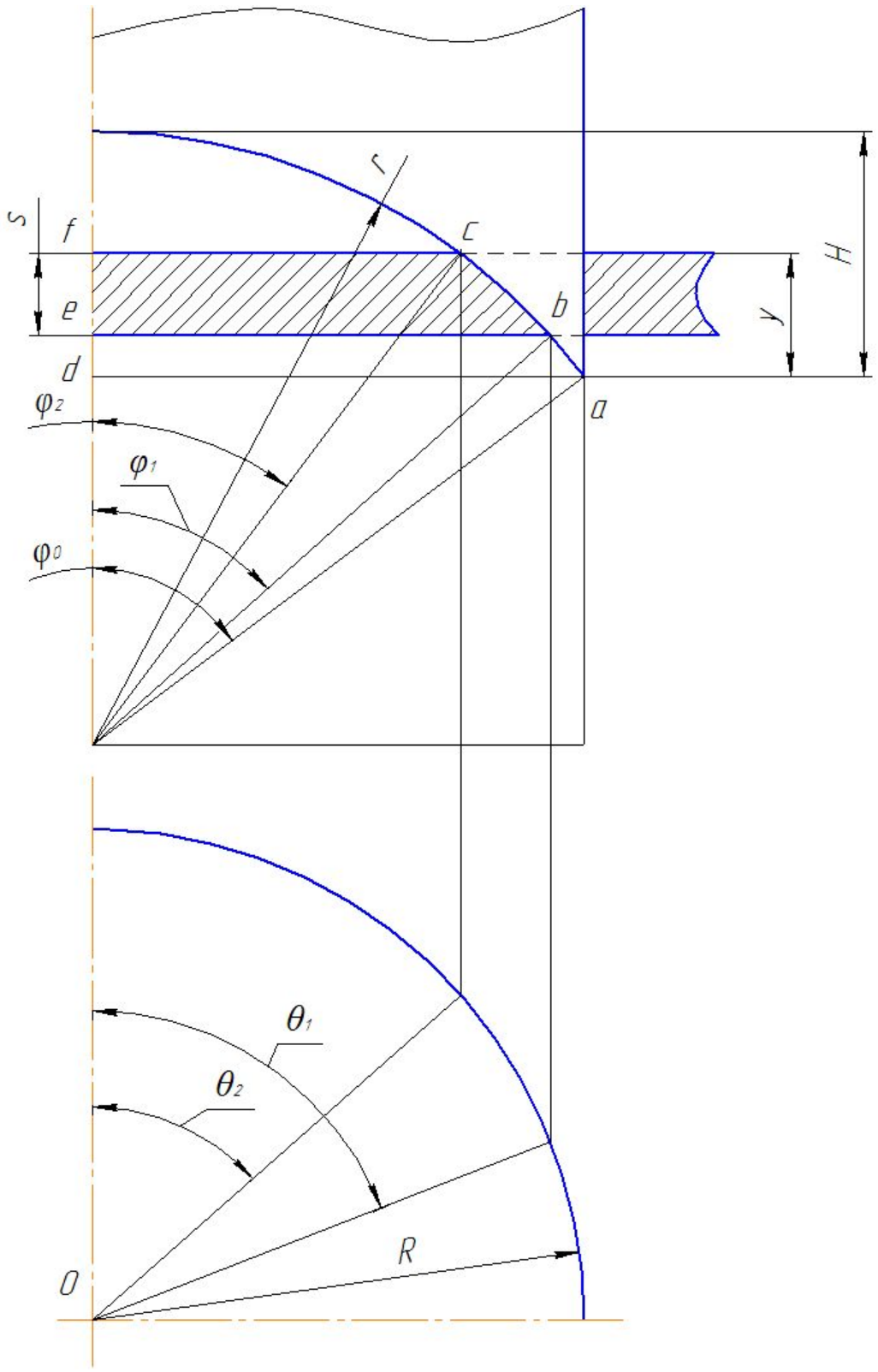


Рисунок 3.6 – Розрахунок зусилля різання пуансоном з циліндричним скосом кромок

Розрахункові залежності отримані при допущенні, що розподіл металу відбувається по нахиленій прямій, кут нахилу якої залишається незмінним, тоді як при більш детальному аналізі кут нахилу ріжучої кромки являється перемінним, тому є до певної міри наближеними.

Всі наведені залежності справедливі тільки для періоду, коли пуансон повністю занурений в заготовку нижньою частиною, але верхня ще продовжує занурюватися.

З рисунку 3.5 слідує, що до моменту коли нижня частина пуансона не завершить повне занурення в заготовку, тобто поки $y < h$ кут θ_1 буде постійним і рівним $\pi/2$.

Тоді на цьому етапі поточне зусилля буде визначатися по зміненій формулі (3.5)

$$P_1 = 4Rs\sigma_{cp}\left[\frac{\pi}{2} - \arcsin\left(\frac{H-y}{H}\right)\right]. \qquad (3.11)$$

Після того як пуансон повністю зануриться в заготовку, тобто при $y > H$ кут θ_2 стане рівним нулю і зусилля буде змінюватися за формулою

$$P_3 = 4Rs\sigma_{cp}\left[\arcsin\left(\frac{H-y+h}{H}\right)\right]. \qquad (3.12)$$

Аналогічним чином для скосу кромок назовні та при циліндричному скосі формули для розрахунку зусилля на першому та кінцевому етапах будуть мати вид

Скос кромок назовні

$$P_1 = 4Rs\sigma_{cp}\left[\arcsin\left(\frac{y}{H}\right)\right]; \quad (3.13)$$

$$P_3 = 4Rs\sigma_{cp}\left[\frac{\pi}{2} - \arcsin\left(\frac{y-h}{H}\right)\right]; \quad (3.14)$$

$$P_1 = 4Rs\sigma_{cp}\left[\arcsin\left(\frac{r\cdot\sin\varphi_0}{R}\right) - \arcsin\left(\frac{r\cdot\sin\varphi_2}{R}\right)\right], \quad (3.15)$$

де $\varphi_0 = \arcsin\frac{R}{r}$;

$$P_3 = 4Rs\sigma_{cp}\left[\arcsin\left(\frac{r\cdot\sin\varphi_1}{R}\right)\right]. \quad (3.16)$$

3.2. Робота при вирубанні інструментом з скошеними кромками

Теоретично робота вирубування любим інструментом має залишатися незмінною. Але ж при використанні інструменту із скошеними кромками окрім чисто вирубування має місце деформація згинання, томі величина роботи збільшується.

Для практичних розрахунків рекомендується залежність

$$A = xP(s + H), \quad (3.17)$$

де x – коефіцієнт, що приймається рівним для $H = s$ 0,5…0,6, а для $H > 2s$ рівним 0,7…0,8.

3.3. Вибір оптимального значення зазору між інструментами

Під технологічним зазором розуміють позитивну або негативну різницю робочих розмірів матриці і пуансона *z* (рис. 1.3).

Зазор, як зазначалося вище, робить сильний вплив на величину потрібного зусилля роботи вирубки, якість поверхні зрізу, точність одержуваної деталі, знос і стійкість штампа. У більшості випадків найбільше значення на практиці має якість виробу.

До останнього при вирубці деталей або пробиванні отворів пред'являються часто високі вимоги. Вони зводяться до того, щоб поверхня зрізу була чистою, без рваних і тріщин, без задирок; деталь по можливості повинна бути плоскою.

Вирішальний вплив на якість вирубці (пробивання) надає величина зазору. При нормальному зазорі, як зазначалося, тріщини, що йдуть від різальних крайок пуансона і матриці, збігаються, що і сприяє утворенню поверхні зрізу без рванина, тріщин і задирок. Верхня частина деталі має розміри, що відповідають розмірам пуансона, а нижня - матриці. Частина деталі, звернена до матриці, має характерний блискучий поясок з невеликим заокругленням в кутку; частина, звернена до пуансону, є злегка конічної і шорсткою. Бічна поверхня деталі (поверхня зрізу) виходить, таким чином, не строго вертикальної, проте за своїм виглядом цілком задовільною.

Слід зазначити, що задовільною поверхня зрізу має місце при гострих ріжучих крайках штампа навіть і при досить великих зазорах - до 30-40% від товщини.

При малому зазорі сколювальні тріщини не збігаються, а йдуть як би паралельно на деякій відстані один від одного. При остаточному розриві метал між цими тріщинами утворює рванина і шаруватість на поверхні зрізу. В результаті цього у верхній частині деталі утворюється другий блискучий поясок з

протягнутим задирок, нерівним зубчастим краєм і невеликим конусним розширенням догори.

У разі більшого зазору при дуже тонкому матеріалі (до 1,5 мм) відбувається втягування металу в зазор між матрицею і пуансоном з подальшим обривом. Виріб при цьому виходить з рваними заусенцями, що мають вид затягнутих країв. Дуже великі зазори (понад 40% від товщини) при вирубці більш товстих матеріалів призводять до утворення сильно закругленою крайки деталі з боку матриці і закругленою крайки отвору з боку пуансона.

На якості поверхні зрізу позначається і притуплення різальних крайок пуансона і матриці, а також нерівномірний розподіл зазору по контуру вирубки. В останньому випадку частина контуру може вийти задовільний, а інша - з задирок. Крім того, нерівномірний зазор приводить до затуплення частини різальних крайок.

Неправильний зазор і тупі ріжучі кромки штампа збільшують потрібне зусилля і роботу вирубки.

З усього викладеного вище випливає, що зазор при вирубці є найважливішим фактором.

Величина зазору залежить від ряду параметрів, з яких основними є: механічні властивості і товщина матеріалу, а також режим роботи преса, тобто число подвійних ходів повзуна в хвилину.

Залежно від роду і товщини матеріалу величина зазору коливається в межах від 4 до 18% товщини матеріалу. При виборі зазору прагнуть до встановлення оптимальної його величини, при якій задовольняються основні чотири умови:

1. найменше зусилля вирубки;
2. висока якість поверхні зрізу виробу;
3. найбільша точність штампування;
4. найбільш висока стійкість штампа.

При використанні більш товстого матеріалу діапазон оптимальних зазорів більше, ніж тонкого. Це пов'язано з меншим впливом затупления різальних крайок інструменту в міру його роботи на освіту задирок при вирубці товстих матеріалів. При порівняно гострих ріжучих крайках штампа тонкий матеріал також дозволяє виробляти роботу за певних інтервалах величини зазору.

Таким чином, якісна вирубка може проводитися в деякому інтервалі зазорів як для товстих, так і для тонких матеріалів. Тому доцільно встановити такі поняття:

Мінімальне значення оптимального зазору (для кожного матеріалу і товщини) z_{min} при якому торцева кромка зрізу стає майже перпендикулярній до площини деталі без помітного утворення задирок;

Максимальне значення оптимального зазору z_{max}, при якому поверхня зрізу залишається задовільною, хоча і не є вертикальною.

Так як у міру роботи (зносу) штампа зазор між матрицею і пуансоном збільшується, то для знову виготовленого штампа слід задавати зазор, близький до мінімального (z_{min}). Зазори задають в залежності від роду і товщини матеріалу. Зі збільшенням твердості і товщини матеріалу величина зазору в відсотковому відношенні до товщини матеріалу збільшується.

Зазор можна визначить із залежності

$$z = ms,$$

де m - змінний коефіцієнт, що враховує рід і товщину матеріалу.

Для ножиць, а також для односторонніх відрізних штампів зазор слід брати рівним половині величин z_{min}.

Оптимальна величина зазору z_{min} при вирубці на підвищеному числі подвійних ходів преса (n > 140 об / хв) повинна бути збільшена в порівнянні з табличними даними приблизно в 1,5-2,0 рази.

Дослідні дані показують, що для вуглецевої сталі товщиною до 2 мм оптимальна величина зазорів при роботі на швидкохідних пресах становить 15-20% від товщини матеріалу; при таких зазорах виходить в більш висока стійкість штампів.

Збільшення z_{min} забезпечує нормальний процес вирубки при підвищених швидкостях, так як в противному випадку буде мати місце "заїдання" пуансона в матриці, яке виходить внаслідок того, що пуансон і матриця, розігріваючи, не рівномірно збільшують свої розміри.

Встановлення напрямків зазору

Вище було відзначено, що величина вирубуваних деталі залежить від розміру матриці, а величина, що пробивається отвори - від розміру пуансона. Це дозволяє вивести правило, яке встановлює напрямок зазору в залежності від того, які розміри деталі необхідно витримати - зовнішні або внутрішні.

У разі вирубки зовнішнього контуру номінальні розміри деталі $D_н$ надаються матриці $D_м = D_н$, а зазор z здійснюється за рахунок зменшення розмірів пуансона $D_п$, тобто $D_п = D_н - z$. При пробиванні отвору його розміри $d_н$ надаються пуансону $d_п$, а зазор z здійснюється за рахунок збільшення розмірів матриці $d_м$, тобто $d_м = d_н + z$.

3.4. Практичні рекомендації по геометрії інструменту

Рекомендовані значення величину скоса матриці або пуансона H залежить від товщини матеріалу. По рекомендаціях В.П. Романовського [8] при товщині s менше 3 мм величина скосу H приймається менше $2s$, а для товщини від 3 до 10 мм – приблизно s. Кут нахилу поверхні φ при цьому складає при товщині менше 3 мм до 5°, а для більшої товщини – до 8°.

Згідно рекомендацій [4] зазвичай скоса матриці або пуансона H приймають в межах (1–3)s, кут скосу – нахил φ відповідно – в межах 2–8° .Для матеріалів товщиною s до 3 мм приймають $H = (3 \div 2)\ s$, $\varphi = 5 \div 2°$, тоді зусилля різання знижується на 45-30 % в порівнянні з зусиллям різання при роботі штампами з плоскими пуансонами.

Для матеріалів товщиною понад 3–4 мм беруть $H = (2 \div 1)\ s$, $\varphi = 8 \div 5°$, при цьому зусилля вирубки знижується на 65-50 %.

Нарешті в роботі [9] рекомендується приймати кут скосу 3…8°, величину скосу $H = (1 \ldots 3)s$.

3.5. Уточнення розрахункових формул максимального зусилля

Експериментальні перевірки теоретичних висновків проводилось шляхом вирубання циліндричних заготовок з декількох марок сталі. Замір зусилля проводився за допомогою месдози, тензометричного підсилювача та аналогово-цифрового перетворювача з регістрацією результатів на комп’ютері. Досліджувались сталеві заготовки з сталі 08, 20 та 25.

По-перше встановлено експериментальне значення величини втілення пуансону в заготовку h до моменту повного сколу металу. Для м’якої сталі 08 відношення h/s становить приблизно 0,64…0,66; для сталі 20 – 0,51…0,53.

Дослідження впливу швидкості вирубки на значення максимального зусилля ніякого впливу практично не виявило.

Закономірність зміни поточного зусилля майже повністю співпадає з теоретичними даними, як це показано в наступному розділ.

З урахуванням впливу всіх технологічних та конструктивних факторів рекомендується теоретичні розрахункові формули для максимального зусилля вирубки скорегувати за допомогою емпіричних коефіцієнтів.

Так, в роботі [4] при вирубуванні круглих отворів діаметром d рекомендується максимальне зусилля при скосі кромок всередину розраховувати по формулі

$$P = 2{,}4(1 + 0{,}02\varphi)s\sigma_{cp}d\arccos\frac{H-h}{H}. \qquad (3.18)$$

При скосі кромок зовні рекомендується формула

$$P = 2{,}4(1 + 0{,}02\varphi)^2 s\sigma_{cp}d\arccos\frac{H-h}{H}. \qquad (3.19)$$

При скосу кромок по циліндричній поверхні використовується формула

$$P = 2{,}4(1 + 0{,}02\varphi)s\sigma_{cp}d\arcsin\frac{\sqrt{r^2-(r-h)^2}}{R}. \qquad (3.20)$$

Кут φ в цих формулах використовується в градусах.

Вельми цікаво, що якщо в теоретичній частині майже всі автори стверджують, що максимальне засилля однакове як при скосі кромок всередину та зовні, то в вказаних формулах має місце суттєва різниця – вираз в круглих дужках в одних формулах в першій степені, в інших в квадраті.

Слід також зауважити, що значення зусиль, розрахованих по формулах (3.15)–(3.17) в порівнянні з зусиллями, розрахованими по теоретичних формулах просто збільшені на 30 %.

4. ПРИКЛАДИ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РОЗРАХУНКІВ

Як приклад нижче наведені результати розрахунків при вирубці круглої заготовки діаметром D = 100 мм з низьковуглецевої сталі 25 товщиною s = 2 мм.

За довідником [9] для сталі 25 напруга зрізу $\sigma_{ср}$ прийнято рівним 360 МПа.

Згідно рекомендацій п. 3.5 приймаємо кут нахилу скосу рівним 4°. Величина скосу H становить $H = \frac{D}{2} tg(4^{\circ}) = 3{,}496$ мм. Приймаємо величину коефіцієнту i_m занурення пуансону до сколу рівним 1, тоді повне переміщення пуансону від початку до кінця вирубування становить $y_{\max} = H + i_m \cdot s = 5.496$ мм.

Максимальне зусилля при вирубуванні пуансоном з прямими кромками по формулі (1.1) становить

$$P_{пр} = \pi D s \sigma_{ср} = \pi \cdot 100 \cdot 2 \cdot 360 = 2{,}262 \cdot 10^5 \text{ Н.}$$

При вирубування пуансоном із скошеними кромками максимальне зусилля по формулі (апр)

$$P = 2 \cdot D \cdot s \cdot \sigma_{ср} \cdot \arccos(\frac{H-h}{h}) = 2 \cdot 100 \cdot 2 \cdot 360 \cdot \arccos(\frac{3{,}496-2}{2}) = 1{,}625 \cdot 10^5 \text{ Н.}$$

Таким чином зменшення зусилля становить приблизно 30 %.

На рис. 4.1 приведено графік поточного значення зусилля вирубування для скосу пуансона всередину, який розраховано по формулі (3.1). для порівняння на рисунку наведено графік зусилля при вирубування плоским пуансоном (штрихова лінія).

Цілком ймовірно, що при нахилі кромок зовні, максимальне зусилля залишається незмінним. А от положення максимального значення зміщується з 2 мм до h = 3,496 мм.

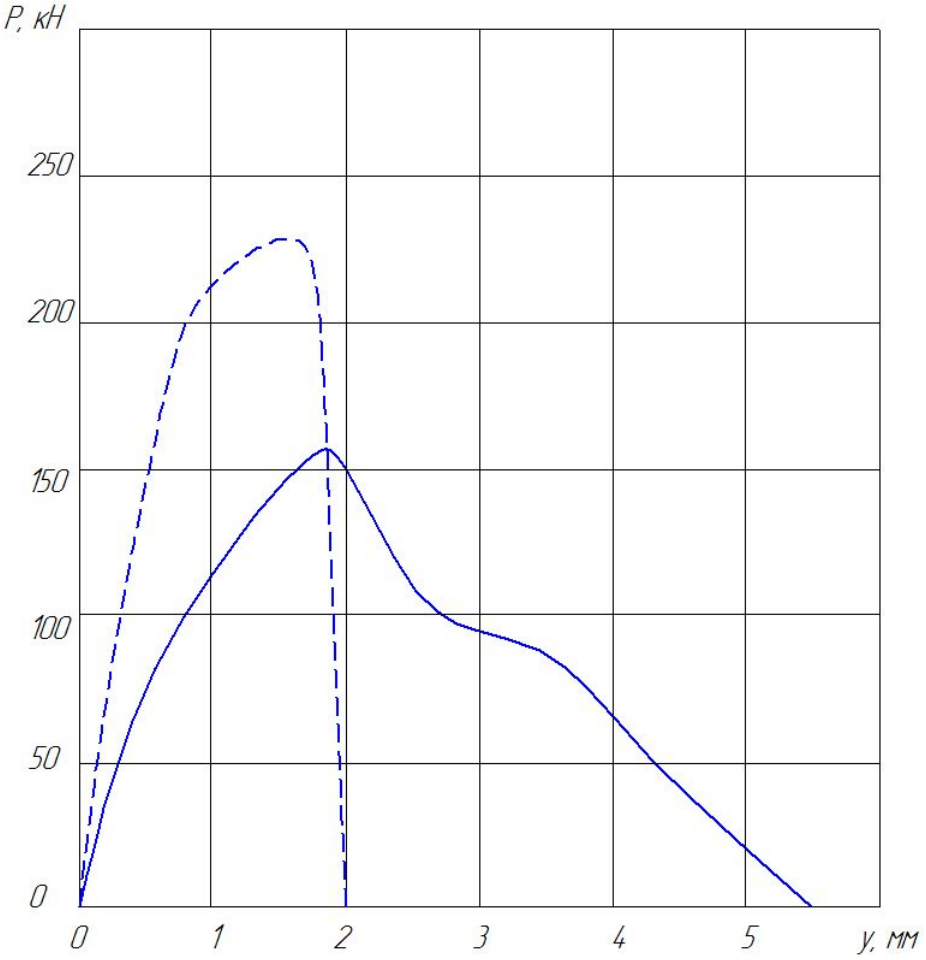


Рисунок 4.1 – Залежність поточного зусилля вирубування при скосі кромок всередину та плоским пуансоном

На рис. 4.2 показано вплив величини кута нахилу на значення максимального зусилля вирубування та повного ходу пуансона.

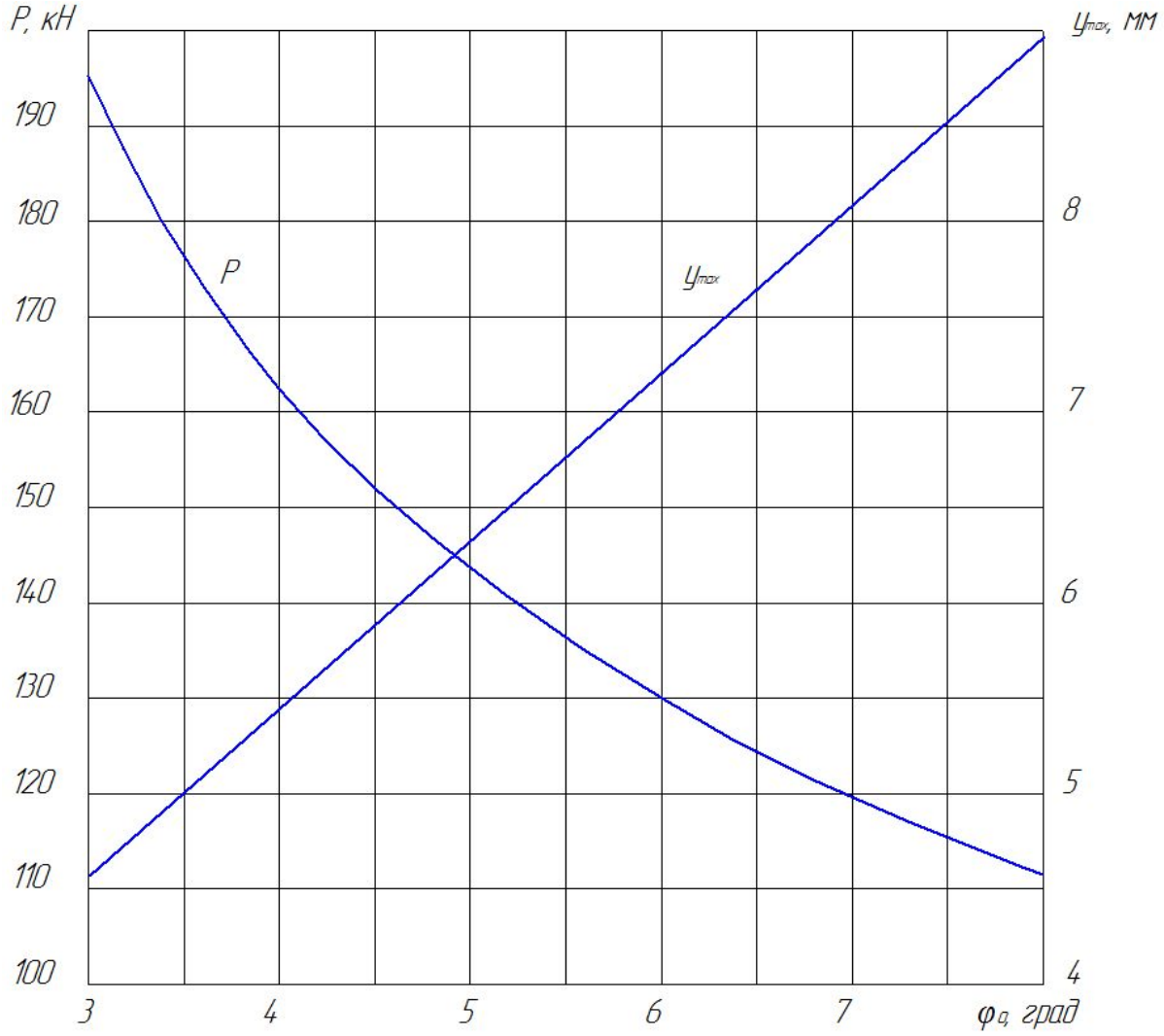


Рисунок 4.2 – Залежність максимального зусилля вирубування та повного ходу пуансона від кута нахилу поверхні

Як слідкує з рисунка, при нахилі поверхні до 8° зусилля зменшується майже на 50 %.

На рис. 4.3 показані залежності для максимального зусилля і величини повного переміщення пуансону від радіусу кривизни циліндричного скосу пуансона при вирубанні того ж контуру діаметром 100 мм як і в попередньому прикладі. Залежності визначені за формулою (3.3). з рисунку слідкує, що максимальне зусилля в такому випадку складає від 25 до 35 % від зусилля при вирубування плоским пуансоном.

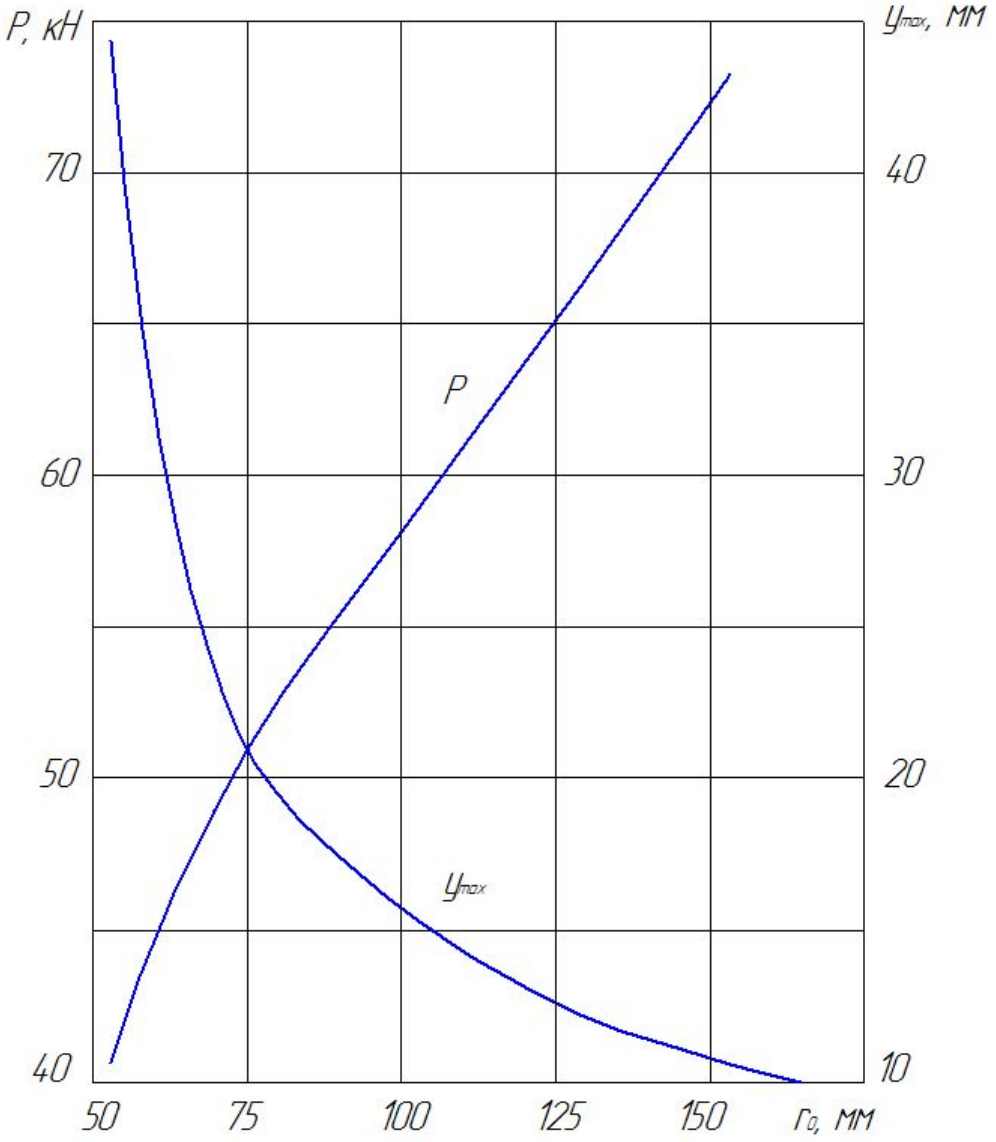


Рисунок 4.3 – Залежність максимального зусилля вирубування та повного ходу пуансона від радіусу закруглення пуансону

5. ВИБІР ПРЕСОВОГО УСТАТКУВАННЯ

При виборі преса виходять із наступних міркувань:

1) тип преса і величина ходу повзуну повинні відповідати технологічній операції;

2) номінальне зусилля преса повинне бути більше зусилля, необхідного для штампування;

3) потужність преса повинна бути достатньої для виконання роботи. необхідної для даної операції;

4) прес повинен мати достатню жорсткість (малу пружну деформацию), а для розділових операцій – також підвищену точність напрямних;

5) закрита висота преса повинна відповідати або бути більш закритої висоти штампа;

6) габаритні розміри стола й повзуну преса повинні давати можливість установки й закріплення штампів і подачу заготівель, а отвір у столі преса - дозволяти вільне провалювання відштампованих деталей (при штампуванні «на провал»);

7) число ходів преса повинне забезпечувати досить високу продуктивність штампування;

8) залежно від роду роботі повинна бути передбачена наявність

спеціальних пристроїв і пристосувань (буфер, виштовхувач, механізми подачі, тощо);

9) зручність і безпека обслуговування преса повинні відповідати вимогам техніки безпеки.

Таким чином, основними механічними параметрами для вибору преса є:

зусилля, робота, твердість, величина ходу, закрита висота й розміри стола преса.

Варто відрізняти завантаження преса по зусиллю від завантаження по потужності (по роботі). Перша лімітується міцністю колінчатого вала або зубчастих передач преса, а друга - живою силою махових мас, потужністю електродвигуна й припустимим його перевантаженням.

Недостатньо робити вибір преса тільки по зусиллю, тому шо можуть бути різні випадки перевантаження преса:

1) прес перевантажений по допускному зусиллю, у результаті чого відбувається деформація вала, а потім і поломка преса;

2) прес перевантажений по потужності, але не перевантажений по допускному зусиллю. У цьому випадку відбувається загальмовування й різке падіння частоти обертання маховика, шо викликає неприпустиме ковзяння електродвигуна, перегрів його обмотки й псування ізоляції. У результат такої нетривалої роботи електродвигун виходить із ладу.

Підбор преса по зусиллю роблять у такий спосіб. Зусилля, необхідне для виконання технологічної операції, знаходять по відповідних формулах, наведених у першому розділі. Визначають зусилля стиску буферів виштовхувачів, підсумують із технологічним зусиллям і порівнюють із номінальним зусиллям преса:

$$P_{пр} \square P + Q_б$$

Оскільки прес и виготовляють у певному інтервалі по номінальному зусиллю (0,063; 0,1; 0,16; 0,25; 0,4; 0,63; 0,8; 1; 1,25; 1,6; 2МН т.ін.), то звичайно при виборі преса розрахункове зусилля не відповідає точно номінальному зусиллю. Тому прес беруть свідомо більшого зусилля, ніж потрібно з розрахунку. Застосування більше потужного преса забезпечує підвищену жорсткість і менше пружинения станини, а отже, і більшу стійкість штампів, особливо для розділових операцій. Деякий надлишок зусилля проти розрахункового охороняє від поломки при випадковому попадінні більш товстої заготівлі, що має велике значення для гнуття з калібруванням, рельєфного й об’ємного штампування.

Величина зусилля, створюваного кривошипним пресом, змінна на всьому ходу преса, досягаючи найбільшого (номінального) значення наприкінці робочого ходу.

Звичайно каталожні й паспортні дані приводять номінальне зусилля. кривошипних пресів, створюване при куті α=20-30° Це необхідно враховувати у випадку операцій, що вимагають великої величини робочого ходу, тому що тиск, що розвивається пресом на початку операції, буде менше номінального. На (рис. 6.1) приведено зміну зусилля, що розвивається кривошипним пресом на протязі робочого ходу. На середині ходу зусилля становить від 40 до 50% від номінального. У зв'язку із цим необхідно вказати, що номінальне зусилля кривошипного преса, встановлене наприкінці робочого ходу, не може бути використане для глибокого витягування.

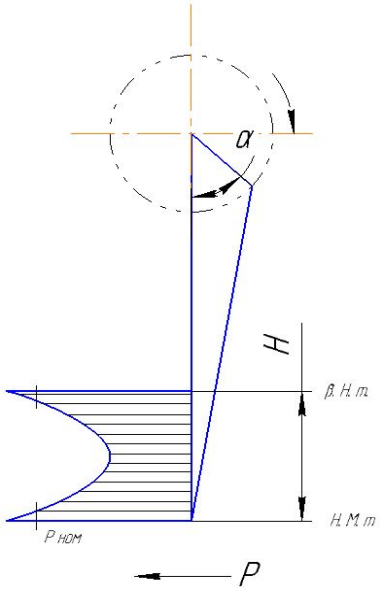


Рисунок 5.1 — Зусилля, створюване кривошипним пресом на протязі робочого ходу

Це виявляється з накладення графіка навантаження операцій на діаграму зусилля, що розвивається кривошипним пресом протягом робочого ходу (рис. 5.2).

На рис 5.2 накладена робоча діаграма процесу вирубки. на рис. 5.2, 6 - процесу гнуття, а на рис. 5.2. в – процесу витягування. У той час графіки процесів вирубки й гнуття не виходять за межі зусилля. що допускається пресом. Діаграма зусилля витягування виходить за ці межі й викликає значне перевантаження двигуна преса. Звідси випливає, що кривошипний прес при використанні його для витяжних робіт повинен бути узятий більшого номінального зусилля в порівнянні з розрахунковим.

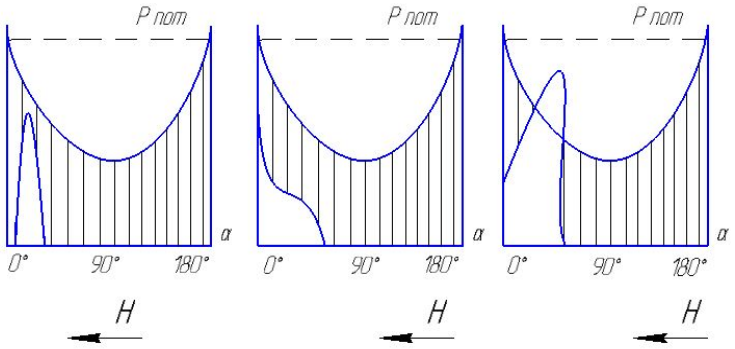


Рисунок 5.2 — Накладення робочих операційних діаграм на діаграму зусилля, утвореного кривошипним пресом

Приблизно можна вважати, що найбільше зусилля створюване кривошипним пресом при глибокому витягуванні повинне становити (0,5-0,6) $P_{ном}$; при неглибокому витягуванні (0,7-0,8) $P_{ном}$. При вирубці розділові операції внаслідок своєї специфічності пред'являють підвищені вимоги до жорсткості преса й також вимагають збільшення номінального зусилля преса в порівнянні з розрахунковими.

На рис. 5.3 наведена схема й діаграма допустимого зусилля кривошипного преса. Номінальне зусилля преса встановлюється по міцності кривошипного вала й для звичайних кривошипних пресів з однобічним приводом як правило береться рівним зусиллю, створюваному при куті повороту кривошипа α = 20-30°, що відповідає величині робочого ходу повзуну h_α h_a - (0,05-0,07)Н.

Рушійний момент визначається рівнянням:

$M = Pr \sin\alpha = Pb$

де r – радіус кривошипа,

α – кут повороту вала,

P – технологічне зусилля.

У такий спосіб наприкінці робочого ходу, при кутах α < 30°, допустиме зусилля преса обмежується міцністю станини й колінчатого вала, а при кутах α > 30° обмежується величиною допустимого рушійного моменту й міцністю зубчастих колес.

Найбільший рушійний момент, обумовлений міцністю зубчастих коліс. дорівнює (при sin α = 0,5).

У пресів з регульованим ходом, зменшення величини ходу дозволяє збільшити робоче зусилля в середній частині ходу повзуну й змінити наведену на (рис. 5.4) діаграму припустимого зусилля.

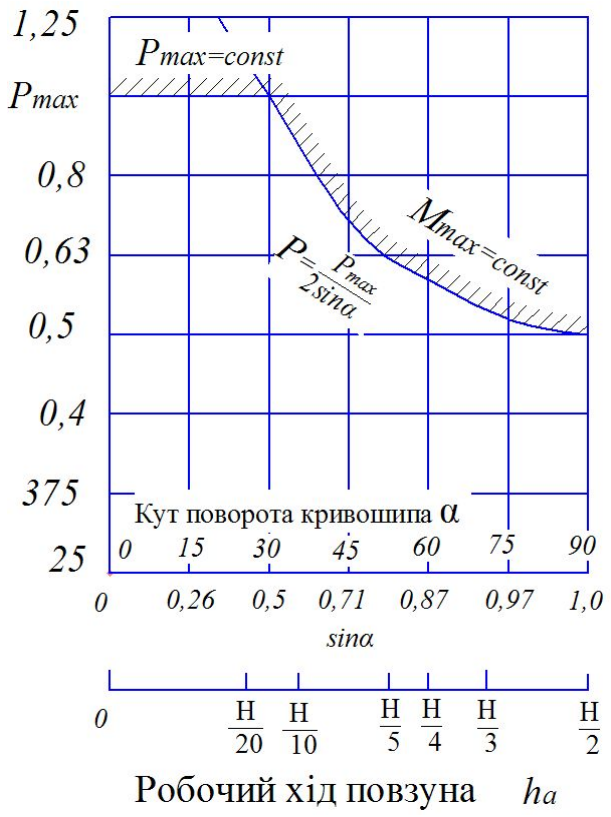


Рисунок 5.3 — Допустиме зусилля кривошипного преса

З рівняння рушійного моменту маємо P = 2M/(H * sin α). Чим менше

значення H_{max} H_{max} величини відрегульованого ходу при тім же рушійному моменті, тим більше зусилля P. В зв'язку з тим що зусилля преса нс може бути більше ніж зусилля, яке допускається міцністю, кривошипного вала, наведена вище рівність зберігається при збільшенні значення sinα і кута α. Отже, найбільше зусилля P_{max} P_{max} досягається при більшій величині кута повороту кривошипа.

На (рис. 5.4) наведені діаграми зміни допустимого зусилля преса з регульованим кодом: на (рис. 5.4. а) – для пресів з номінальним зусиллям при α = 30°, а на (рис. 5.4, 6) - для пресів з номінальним зусиллям при α = 20°. Чим менше відношення. H/H_{max} H/H_{max} тим вище крива допустимого зусилля в середній частині ходу преса й тим більше кут повороту кривошипа, при якому допускається найбільше зусилля преса.

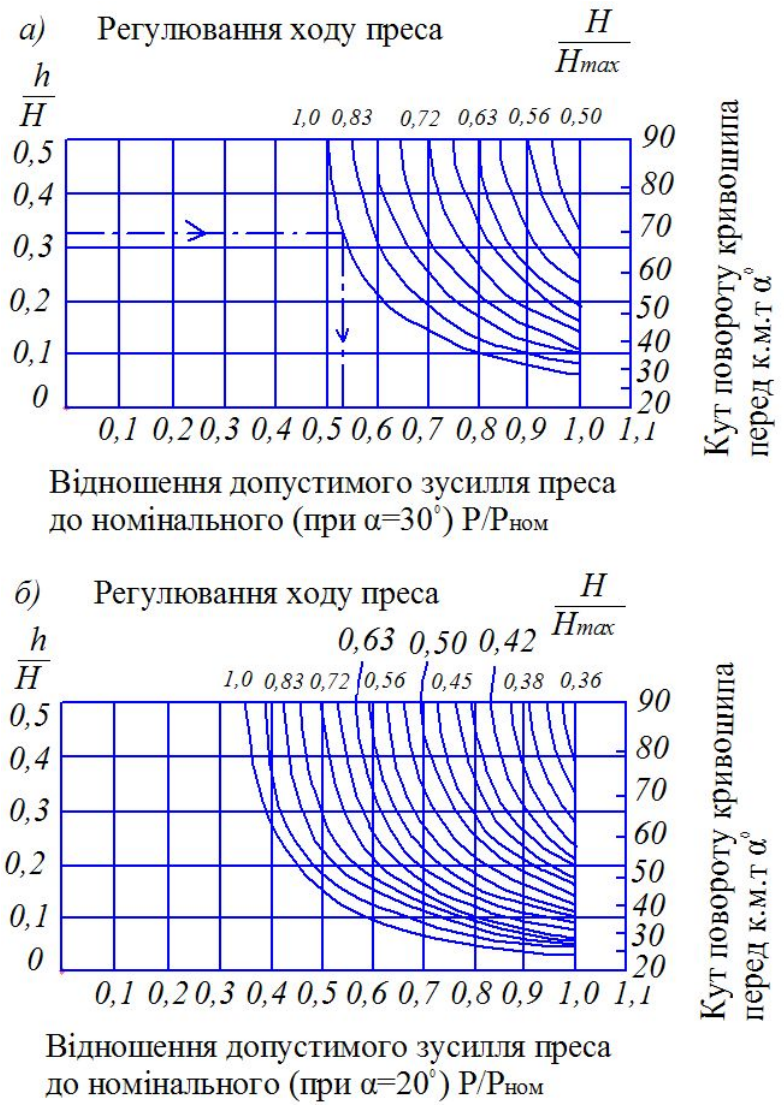
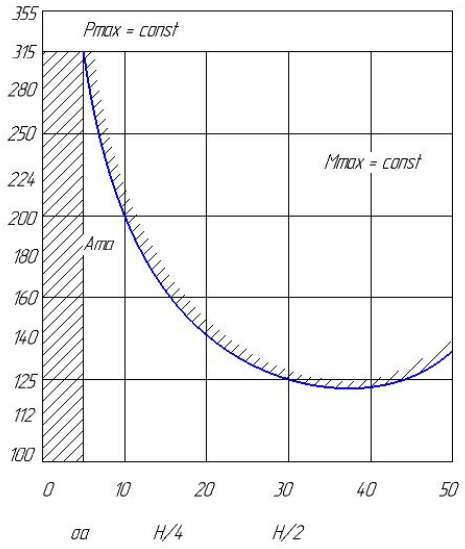


Рисунок 5.4 — Діаграма допустимого зусилля преса з регульованим ходом

При зменшенні величини ходу у два рази найбільше зусилля преса допустиме на протязі всього ходу повзуну. Це випливає з наведеної вище формули, у якій $H = H_{max}$ $H = H_{max}$, при куті α - 30° і sin α = 0,5. Якщо величину ходу зменшити у два рази ($H = 0{,}5H_{max}$ $H = 0{,}5H_{max}$), то для збереження рівності sin α варто збільшити вдвічі й прийняти його рівним одиниці, що відповідає куту повороту кривошипа α = 96°. Звідси треба, щоб у всіх випадках, коли це припустимо висотою необхідно відрегулювати й зменшити величину ходу преса.

На рис. 5.5 наведені схема і діаграмма допустимого зусилля кривошипно-колінчастого(карбувального) преса. Припустиме зусилля на повзуні визначається залежністю:

$$P = \frac{M_{max} \sin(\delta + \gamma) \cos\eta}{r \sin(\eta + \varepsilon) \sin(\alpha - \gamma)}$$



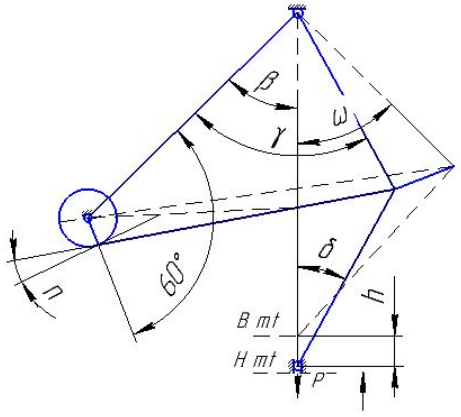
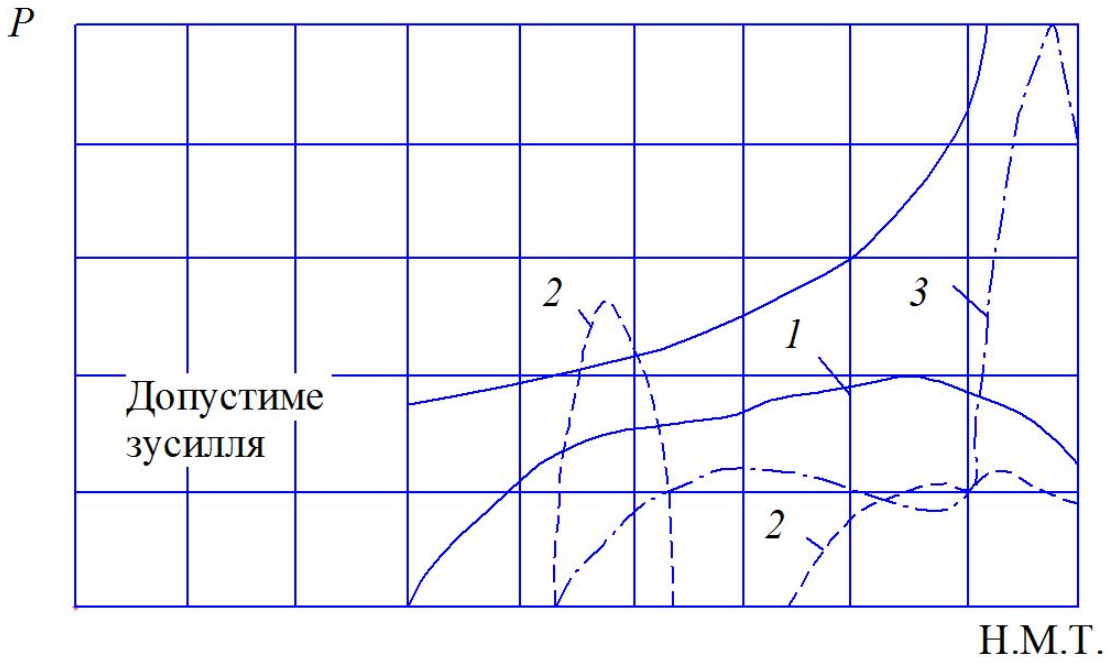


Рисунок 5.5 — Допустиме зусилля кривошипного — колінчастого (чеканочного); схема : б — діаграма припустимого зусилля

Номінальне зусилля преса вибирають у відповідності з каталожними або паспортними даними. При відсутності паспортних даних або при модернізації старих пресів їх зусилля може бути визначене по міцності колінчатого вала залежно від його діаметра. Для суміщених операцій вирубування й витягування або вирубування, витягування й обрізання — можливе перевантаження преса, оскільки вирубка виконується задовго до досягнення припустимого зусилля номінальної величини. На рис. 5.6 наведений такий випадок: крива 2, що відповідає операції вирубування, виходить за межі припустимого зусилля преса при даному куті повороту кривошипа.



1 — витягування; 2 — вирубування і витягування: 3 — гнуття з калібруванням

Рисунок 5.7 — накладення робочих діаграм на діаграму допустимого зусилля преса

З наведеного рисунку 5.6 виходить, що небезпечним є не перевищення номінального зусилля наприкінці ходу (у к.н.п.), а вихід за межі допустимого зусилля преса сумарного зусилля витяжних переходів. На рисунку 6.8 показані

накладення робочих діаграм окремих переходів штампування на багато позиційному пресі-автоматі й графічна побудова кривої сумарного зусилля. Із співставлення кривої допустимого зусилля преса й сумарного зусилля витягування видно необхідність вибору преса більшого номінального зусилля.

Після вибору преса по зусиллю необхідно перевірити придатність преса по потужності (роботі).

Робота деформування визначається по формулах, наведеним у першому розділі. Знайдені значення роботи підсумовують з роботою буфера і виштовхувача й порівнюють із роботою, що може зробити прес за один робочий хід.

Робота, здійснювана пресом, складається з корисної енергії маховика (махових коліс) і витрат на тертя й пружне деформування станини преса. Енергія, що віддається електродвигуном, витрачається в основному на подолання шкідливих опорів і відновлення втраченої кутової швидкості махових мас.

Маховик преса при різкому збільшені робочого зусилля віддає раніше накопичену енергію на виконання необхідної деформації, полегшуючи роботу електродвигуна. При цьому відбувається зменшення кутової швидкості обертання маховика (разом з валом і приводними шестернями), що може бути представлене через відповідне зменшення миттєвої частоти обертання.

Нижче приведено наближені формули для визначення корисної енергії маховика (роботи, виробленої пресом).

Корисна робота преса, використовувана для виконання технологічної операції, дорівнює втраті живої сили при падінні частоти обертання й становить лише частку кінетичної енергії маховика.

При допустимому падінні частоти обертання махових мас можлива робота преса (корисна енергія маховика) становить [15]:

$$A = \frac{n_0^2 - n_1^2}{7100} GD^2 \text{, Н*м}$$

де G – вага маховика, кг;

D – діаметр інерції маховика, м (приблизно зовнішній діаметр);

n_0 n_0 і n_1 n_1 – номінальна й мінімальна допустима частота обертання маховика, об/хв.

Частоту обертання n_1 n_1 можна виразити величиною падіння частоти обертання у відсотках: $n_1 = \left(\frac{100-p}{100}\right)n_0$ $n_1 = \left(\frac{100-p}{100}\right)n_0$ і користуватися формулою:

$$A = \frac{n_0^2\left[1-\left(1-\frac{p}{100}\right)^2\right]}{7100}GD^2$$, Н*м

При роботі одиночними ходами преса допустиме зменшення швидкості й частоти обертання складає 20% тоді $A_0 = \left(GD^2 n_0^2\right)/1970$ $A_0 = (GD^2 n_0^2)/1970\ H\cdot м$, Н*м, а при безперервній роботі преса (з автоматичною подачею) при допустимому зменшенні швидкості на 10%:

$$A_0 \approx \left(GD^2 n_0^2\right)/3740$$, Н*м

Таким чином, величина корисної роботи, що може виконувати прес при безперервному режимі роботи, майже у два рази менше, ніж при роботі того ж преса одиночними ходами.

6. ЕКОНОМІЧНІ АСПЕКТИ ПРОБЛЕМИ

Практичні результати використання скошеного інструменту показують, що такий прийом доцільно використовувати в певних випадках, коли складаються важкі умови експлуатації обладнання та інструменту.

Так, зниження зусилля за рахунок нахилу кромок добре знижує динамічне навантаження системи прес-штамп від різкого падіння зусилля після сколу. Як було раніше вказано, в діючому виробництві преси при розподільних операціях використовують не більше чим на 40…60 % від номінального зусилля.

В тих випадках, коли максимальне зусилля вирубки плоским інструментом досягає величини більше 70…80 % номінального зусилля пресу. Скошення кромок є єдиним методом для створення запасу міцності пресу та інструменту.

В певних випадках за допомогою скошених кромок інструменту можна скоротити число необхідних операцій. Наприклад, при надрізанні та вигину відокремленої частини ці дві операції можна виконувати одним пуансоном.

Дуже важливим фактом є та обставина, що при скосі кромок зовні максимальне значення зусилля має місце при малих кутах повороту головного валу пресу. При таких умовах забезпечується найбільша міцність валу і, головне, найменший крутильний момент, який визначає витрати енергії на операцію. Важливо мати на увазі, що для використання інструменту з скошеними кромками завжди потрібний збільшений робочий хід повзуна. Тому при виборі пресу необхідно враховувати не тільки максимальне значення зусилля вирубки, а й обов’язково робити перевірку до допустимих зусиллях валу та зубчатої передачі.

На кінець, зниження максимального зусилля сприяє підвищенню стійкості інструменту і, як наслідок, зменшенню собівартості продукції.

7 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

У розділі надані основні заходи з охорони праці при впровадженні результатів дослідження на ділянці холодного штампування.

7.1 Аналіз потенційних небезпек

- Можливість ураження електричним струмом. Головними причинами може бути невиконання правил електробезпеки, несправного обладнання, обрив захисного заземлення, може призвести до електричних травмування або смерті.
- Можливість отримання механічних травм при випробуванні на науково-дослідну ділянку, зокрема, в результаті порушення правил з охорони праці.
- Можливість отримання механічних травм через відсутність надійних огороджень і відсутність захисних пристроїв, запобігаючи аварійні ситуації.
- Небезпеки, пов'язані з використанням ПК та іншої офісної техніки при виконанні робіт, що супроводжуються напругою зору і уваги можуть привести до інтелектуальної, емоційної і тривалої статичної навантаженні; а також підвищення рівня електромагнітного, рентгенівського, ультрафіолетового та інфрачервоного випромінювання.
- Незадовільні параметри повітряного середовища в робочій зоні, в наслідок не ефективної роботи систем опалення та повітрообміну може привести до зниження працездатності і загальних захворювань.
- Незадовільність освітлення приміщень дослідних лабораторій, як правило, пов'язане з виходом з ладу або надмірної забрудненості освітлювальних приладів, що може привести до погіршення зору, і як наслідок, зниження здатності розрізняти об'єкти.

- Можливість загорянь, причиною яких є порушення правил пожежної безпеки, витік горючих газів, коротке замикання можуть спричинити пожежу.
- Небезпеки, які пов'язані з умовами праці в надзвичайних ситуаціях при недотриманні інженерно-технічних заходів, спрямованих на підвищення стійкості виробничих об'єктів до впливу ударної хвилі.

7.2 Заходи по забезпеченню безпеки

Основні заходи для виключення можливості ураження електричним струмом:

- Організаційні - до роботи з електроустановками допускаються особи не молодше 18 років, які пройшли навчання і перевірку знань з електробезпеки, згідно НПАОП 40.1.-1.01-97 "Правила безпечної експлуатації електроустановок".

- Технічні - використання захисного заземлення. Станини пресів, корпуси електродвигунів та інші металеві частини заземлені та занулені відповідно до ГОСТ 12.1.030-81. ССБТ. «Електробезпека. Захисне заземлення. Занулення». Всі електроустановки повинні мати мережевий вхідний вимикач, що дозволить повністю зняти напругу з електроспоживачів, згідно ГОСТ 12.4.155-85 ССБТ «Устройство защитного отключения. Классификация. Общие технические требования».

Основні заходи для виключення можливості отримання механічних травм:

- Організаційні - проведення інструктажів з охорони праці, при використанні виробничого обладнання. Перевірка знань і атестація персоналу, згідно з НПАОП 0.00.-4.12-05 "Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці" -, НПАОП 0.00-4.12-05. «Типового положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань з охорони праці»

- Технічні - використання кожухів, якими закривають обертаються або переміщаються частини механізмів згідно НПАОП 27.4-7.15-86 «Огородження

рухомих частин устаткування. Загальні технічні вимоги». Також застосування огороджень згідно з "Оборудование производственное. Ограждения защитные" - ГОСТ 12.2.062-81. ССБТ. Конструкція огороджень повинна попереджати потрапляння кінцівок в зону деформування, але також давати можливість безпечного обслуговування штампа.

Основні заходи при роботі з персональним комп'ютером:

При роботі з персональним комп'ютером з метою зниження нервово-емоційного напруження, стомлення зорового аналізатора, поліпшення кровообігу мозку, попередження стомлюваності, передбачені спеціально обладнані приміщення - кімнати психологічного розвантаження, а також необхідно встановлювати певний режим праці і відпочинку, перерви 10 хв. через кожну годину.

7.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії

Для забезпечення належних метеорологічних умов (або мікроклімату), згідно з ДСН 3.3.6-042-99 "Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень" визначають наступні параметри: температура повітря, відносна вологість, швидкість руху повітря і тиск, що і показано в таблиці 7.1.

Таблиця 7.1 – Метеорологічні умови в робочому приміщенні

Період року	Температура °С	Відносна вологість %	Швидкість руху, м/с
Холодний	18-22	40-60	0,1-0,3
Теплий	20-23	40-60	0,1-0,4

Для підтримки необхідної температури повітря і компенсації втрат в холодну пору року, передбачаються пристрої систем опалення, суміщеного з припливною вентиляцією.У теплий період року в робочому просторі необхідно

виконувати природну вентиляцію поєднану з штучної механічної загально обмінної вентиляцією.Для ефективної роботи системи вентиляції, згідно ГОСТ 12.4.021-75. ССБТ "Системи вентиляційні. Загальні вимоги" та СНиП 2.04.05-91 "Отопление, вентиляция и кондиционирование", необхідно виконувати наступні санітарно-гігієнічні вимоги:

- система вентиляції не повинна викликати перегрів або переохолодження робочих;

- система вентиляції не повинна створювати шум на робочих місцях;

- система вентиляції повинна бути електро- і вибухобезпечної.

Для зниження шкідливого впливу шуму рекомендується:

- використання ЗІЗ ("беруші") згідно з "Засоби індивідуального захисту органів слуху. Загальні технічні вимоги та методи випробувань"- ГОСТ 12.4.051-87. ССБТ. Нормування виробничого шуму здійснюється згідно з "Шум. Общие требования безопасности" - ГОСТ 12.1.003-83. ССБТ. Виробнича вібрація при тривалій дії на організм людини може привести до вібраційної хвороби. Нормування виробничої вібрації проводять згідно ГОСТ 12.1.012-90 "Вибрационная безопасность. Общие требования". Для зменшення впливу вібрації на організм людини, все обладнання встановлюють на спеціальні вібропоглинаючі фундаменти. Згідно ГОСТ 12.1.012-90. ССБТ "Вибрационная безопасность. Общие требования", методи віброзахисту з організаційних ознаками діляться на колективні та індивідуальні.

Колективні методи віброзахисту передбачають такі заходи:

- зменшення вібрації в джерелах її виникнення - всі рухомі деталі верстатів і агрегатів ретельно врівноважені, а для зменшення динамічних сил, які створюють вібрації, деталі змащуються;

- зменшення параметрів вібрації на шляхах її поширення від джерела збудження;

- організаційно-технічні - планово-попереджувальний ремонт і контроль за вібраційними параметрами;

- гігієнічні та лікувально-профілактичні.

До засобів індивідуального віброзахисту відносяться рукавиці які гасять вібрацію і спеціальне взуття - ГОСТ 12.1.012-90.

Для забезпечення нормованої освітленості (6-7 розряд зорових робіт, норма - 200лк) проведен наступний розрахунок. Розрахунок загального рівномірного штучного освітлення:

1. На науково-дослідний ділянці застосовують комбіноване освітлення (загальне об'єднане з місцевим). Розряд зорової роботи - II, подразряд зорових робіт В. Вибір системи освітлення залежить від зорових робіт і визначається за державними будівельними нормами України [ДБН В.2.5-28-2006 “Природне і штучне освітлення ”].

2. Визначення рівня нормованої освітленості (Ен). За кількісну характеристику освітленості в приміщенні береться найменша освітленість, яка залежить від: розряду зорових робіт (IIв), фону (середній), контрасту об'єкта з фоном (середній), системи освітлення (комбіноване). Ен = 200 лк.

3. Як джерело світла на науково-дослідну ділянку використовують люмінесцентні лампи денного освітлення ЛД 80.

4. Тип світильників – ЛСП, розповсюдження світла переважно пряме (косінусне). IP - 64 (ступінь захисту світильників за міжнародними стандартами), 6 - пиленепроникність, 4-захист від бризок. Коефіцієнт світильника L/h = 1,3. Частка світлового потоку світильника, яка спрямована в нижню півсферу - 60-80% (для приміщень, в яких стіни та стеля мають високий коефіцієнт відбиття).

5. Коефіцієнт запасу k_z= 1,6 (запиленість менше 1 мг/м). Коефіцієнт нерівномірності (мінімального) освітлення z z=1,1 – люмінесцентні лампи низького тиску.

6. Оцінка коефіцієнтів відбиття поверхонь приміщення, для приміщень з незначним виділенням пилу.

7. Чисельне значення індексу приміщення:

$$i = \frac{AB}{h(A+B)} = \frac{309{,}97}{4{,}6(17{,}98+17{,}24)} = 1{,}9 \qquad (6.1)$$

де, А – довжина приміщення, м;

В – ширина приміщення, м;

h - висота розміщення світильників над робочої поверхнею, м.

$$h = H - h_п - h_з \quad h = H - h_п - h_з \qquad (6.2)$$

де, Н – висота приміщення, м;

$h_п$ – висота робочої поверхні над підлогою, м;

$h_з$ - висота звисання світильників від стелі, м.

Розрахунок проводимо за такими формулами, так як невідома:

а) кількість рядів світильників в приміщенні:

$$N_p = \frac{B}{(H-h_п)\cdot\left[\frac{L}{h}\right]} = \frac{17{,}98}{(5{,}5-0{,}8)\cdot 1{,}3} = 2{,}9 \qquad (6.3)$$

Результат округляємо до цілого в більший бік: Np = 3

б) Максимальна допустима відстань між рядами світильників:

$$L_{max} = \frac{B}{N_p} = \frac{17{,}98}{3} = 5{,}9 \quad L_{max} = \frac{B}{N_p} = \frac{17{,}98}{3} = 5{,}9 \text{ м} \qquad (6.4)$$

в) Висота підвісу світильника над робочої поверхнею:

$$h = \frac{L_{max}}{\left[\frac{L}{h}\right]} = \frac{5,9}{1,3} = 4,6 \quad h = \frac{L_{max}}{\left[\frac{L}{h}\right]} = \frac{5,9}{1,3} = 4,6 \quad м$$

(6.5)

г) Висота свисання світильників від стелі:

$$h = 5,5 - 0,8 - 4,6 = 0,1 м \quad h_з = H - h_п - h = 5,5 - 0,8 - 4,6 = 0,1$$

(6.6)

8. Значення коефіцієнта використання світлового потоку η вибираю в залежності від виду джерела світла, типу вибраного світильника, коефіцієнтів відбиття поверхонь приміщення і індексу приміщення: η = 56%.

9. Визначення світлового потоку лампи і загальної кількості світильників:

а) сумарний потік освітлюваної установки:

$$\Phi_{\Sigma} = \frac{E_n \cdot S \cdot K_z}{\eta} = \frac{200 \cdot 309,97 \cdot 1,6 \cdot 1,1}{0,56} = 194838 \qquad (6.7)$$

де ФΣ - розрахункове значення сумарного світлового потоку в приміщенні, лм;

E_n - нормоване значення освітленості, лк;

S - площа поверхні, що освітлюється, м^2;

k_z - коефіцієнт запасу;

z - коефіцієнт нерівномірності (мінімального) освітлення;

η - коефіцієнт використання світлового потоку.

б) максимальна відстань між рядами і сусідніми світильниками в ряду:

$$L_{max} = \left[\frac{L}{h}\right] \cdot h = 1,3 \cdot 4,6 = 5,9 \quad L_{max} = \left[\frac{L}{h}\right] \cdot h = 1,3 \cdot 4,6 = 5,9 \quad м$$

(6.8)

в) кількість рядів світильників в приміщенні:

$$N_p = \frac{B}{L_{max}} = \frac{17,24}{5,9} = 3 \quad N_p = \frac{B}{L_{max}} = \frac{17,24}{5,9} = 3$$

(6.9)

г) умовна загальна кількість світильників у приміщенні, виходячи з позиції розташування їх у вершинах квадрата:

$$N = \frac{AB}{L_{max}^2} = \frac{309,97}{5,9^2} = 8,9 = 9 \quad N^* = \frac{AB}{L_{max}^2} = \frac{309,97}{5,9^2} = 8,9 = 9$$

(6.10)

д) світловий потік умовного джерела світла:

$$\Phi_л = \frac{\Phi_\Sigma}{N_л} = \frac{194838}{18} = 10824,3 \text{ лм} \qquad (6.11)$$

гДе де $N_л$ $N_л$ - загальа кількість ламп в приміщенні, шт;

$$N_л = N \cdot n = 9 \cdot 2 = 18 шт. \qquad (6.12)$$

$$N_л = N^* \cdot n = 9 \cdot 2$$

n n - кількість ламп в світильнику.

е) з додатка Б вибираю тип стандартної лампи з найближчим значенням фактичного світлового потоку лампи $Ф_л$ і знаходжу коефіцієнт m (співвідношення між розрахунковим світловим потоком лампи і фактичним світловим потоком обраної стандартної лампи $Ф_л$).Обираю лампу ЛД80, Фл = 4300 лм.

Обираю лампу ЛД80, $Ф_л$=4300 лм.

$$m = \frac{\Phi_л^*}{\Phi_л} = \frac{10824,3}{5800} = 1,86 \quad m = \frac{\Phi_л^*}{\Phi_л} = \frac{10824,3}{5800} = 1,86$$

(6.13)

ж) оптимальна кількість світильників в приміщенні:

$$N = N^* \cdot m = 9 \cdot 1,86 = 16,74 = 18 шт. \qquad (6.14)$$

$N_л = 18 \cdot 2 = 36 шт.$ $N_Л = 18 \cdot 2 = 36$

(6.15)

10. Загальна розрахункова освітленість в приміщенні створюється при застосуванні стандартних ламп: 214 лк

При правильному Вибори типу і кількості стандартних ламп повинна виконуватися умова

$$E_р = (-10 + 20)\% \cdot E_н лк \qquad (6.16)$$

$E_р = +7\% \cdot 200$ - умова виконується

11.Загальна потужність освітлюваної установки:

$P_\sum = N_л \cdot P_л = 36 \cdot 80 = 2880 Вт$ $P_\Sigma = N_л \cdot P_л = 36 \cdot 80 = 2880$ Вт

(6.17)

где $P_л$– потужність обраної стандартної лампи.

12. Виконую ескіз розташування світильників на плані приміщення, враховуючи розмір світильників.

На рисунку 7.1 показана схема розташування світильників

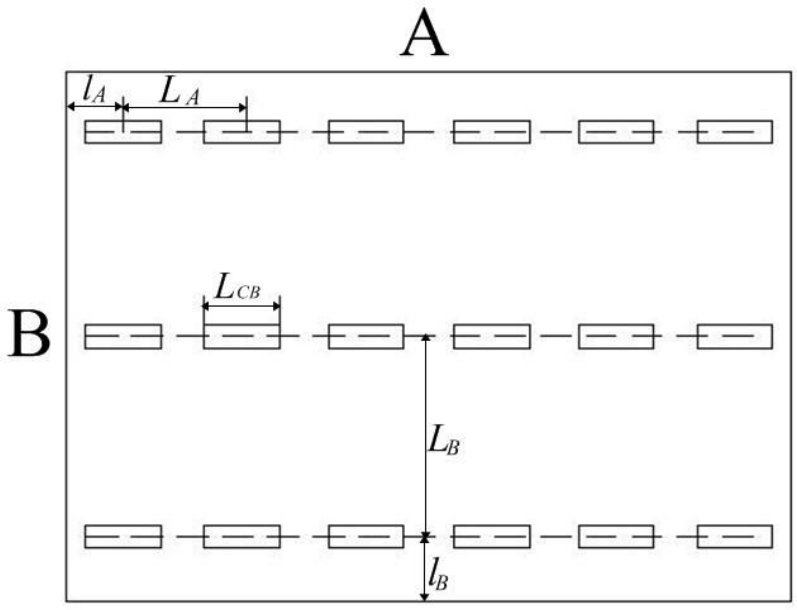


Рисунок 7.1 – Схема розміщення світильників у виробничому приміщенні

7.4 Заходи щодо забезпечення пожежної безпеки

Згідно з НАПББ 03.002 - 2007 "Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежній та пожежній небезпеки" дана ділянка відноситься до категорії Д, до виробництва, в якому в обігу знаходяться вогнетривкі матеріали в холодному стані. Система запобігання пожеж включає, перш за все, два основних напрямки: запобігання формуванню горючого середовища і виникнення в цьому середовищі (або внесення в неї) джерела запалювання. Необхідно стежити, щоб поблизу пожежонебезпечних місць не було і іскор, а в разі виявлення негайно вжити заходів до їх усунення. Причинами пожежі на ділянці може бути коротке замикання в електросистемі. Тому, згідно з НАПБ.03.001-2004 "Типові норми належності вогнегасників" встановлюємо пожежний щит, до складу якого входить: лом, багор, лопата, два конусних відра, вогнегасники, кошма (протипожежне полотно), ящик з піском і совкової лопати. Вогнегасник ВВК-2 відноситься до углеродокіслотним, які використовуються для гасіння електроустановок під напругою, а також різних речовин. Вогнегасник ВП-2А - порошковий і служить для гасіння дерева, пластмаси і лужних металів. Пісок використовують в місцях розлиття хімічних речовин.

7.5 Заходи забезпечення безпеки в надзвичайних ситуаціях

З метою забезпечення стійкості роботи об'єктів і галузей народного господарства розроблені Норми ІТМГО. Норми проектування інженерно-технічних заходів цивільної оборони сприяють вирішенню всіх основних завдань цивільної оборони, спрямованих:

- на забезпечення захисту населення, робітників і службовців;

- на зниження можливих руйнувань і втрат у надзвичайних умовах;

- підвищення стійкості роботи об'єктів і галузей народного господарства в надзвичайних умовах;

- на створення умов, що сприяють успішному проведенню рятувальних робіт в осередках ураження.

Ці норми поширюються на всі галузі народного господарства, на всі великі міста і важливі об'єкти, розташовані в містах і за їх межами, а також сусідню до них територію, на якій можливе руйнування промислових споруд і поразки людей. Основні заходи у вирішенні завдань підвищення стійкості роботи промислових об'єктів:

- підвищення міцності і стійкості найважливіших елементів об'єктів і вдосконалення технологічного процесу;

- підвищення стійкості матеріально-технічного постачання;

- підвищення стійкості управління об'єктом;

- розробка заходів щодо зменшення ймовірності виникнення вторинних факторів ураження і збитків від них;- підготовка до відновлення виробництва після поразки об'єкта.

Оцінка стійкості основних елементів інженерно-технічного комплексу, від яких залежить робота об'єкта, полягає у визначенні виду можливого руйнування кожного з основних елементів інженерно-технічного комплексу та у виявленні нестійких елементів. При оцінці ефективності захисту робітників і службовців в разі сильного вибуху визначають можливу кількість уражених і вид травм людей на території господарського об'єкта. Оцінка стійкості систем управління і постачання (електроенергією, газом, водою, сировиною, комплектуючими виробами тощо) полягає у визначенні ступеня їх порушення в разі вибуху. Крім того, оцінюють ступінь підготовленості господарського об'єкта до відновних робіт. Висновок про стійкість господарського об'єкта в цілому складають після аналізу отриманих результатів. Якщо все основні елементи інженерно-технічного

комплексу та систем господарського об'єкта виявляться стійкими і по прогнозам не буде великої кількості уражених робітників і службовців, то робота господарського об'єкту вважається стійкою в разі вибуху. Якщо хоча б один основний елемент інженерно-технічного комплексу або система господарського об'єкта виявляться за прогнозом нестійкими, робота об'єкта в цілому визнається нестійкою. Аналогічний висновок робиться, якщо в разі вибуху можливі загибель або великі втрати робочих і службовців.

Таким чином рекомендовані основні заходи з охорони праці:

- проведення інструктажу з охорони праці та техніки безпеки, використання виробничого устаткування, перевірка знань і атестація персоналу;
- оснащення працівників спец одягом та засобами індивідуального захисту;
- застосування захисних огороджень;
- проведення навчань правилам електробезпеки, перевірка знань і атестація персоналу на використання захисного заземлення. Станини пресів, корпуси електродвигунів та інші металеві частини повинні бути заземлені та занулення;
- внаслідок використовуваних технологій виготовлення, безперервності виробництва і його специфіки необхідно встановлювати певну кількість перерв;
- для захисту працівників від підвищеного шуму рекомендується забезпечувати робочих беруші;
- для захисту працівників від вібрації, рекомендується застосування спеціальних фундаментів, які гасять вібрацію, а так само спеціального взуття;
- для того, що б уникнути виникнення пожеж необхідно стежити за справністю електросистем, проводити щоденне прибирання робочих місць від мастильних і обтиральних матеріалів, не дозволяти куріння в робочому приміщенні;
- проведення інструктажів, а також практичних занять з цивільної оборони.

8. ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Найбільш ефективним методом зниження зусилля при вирубуванні листових матеріалів є виконання інструменту з скошеними ріжучими кромками.

При оптимальному виборі параметрів контуру (кут нахилу кромок до 3–6 °) максимальне значення зусилля зменшується на 30–50 %.

Важливою обставиною є також те, що момент досягнення максимального зусилля досягається при досить значному зануренні пуансона в метал. А при скосі кромок зовні максимальне зусилля має місце взагалі близько кінця процесу.

Таких характер зміни зусилля значно полегшує умови роботи штампів та обладнання, так як практично зникає явище різкого падіння зусилля після сколу, що значно зменшує динамічні явища при вирубування. Це дозволяє використовувати преси меншого зусилля для виконання розподільних операцій без погіршення умов їх роботи.

Певними недоліками використання інструменту з скошеними кромками є вигинання отриманих заготовок та певне зменшення стійкості кромок в найбільш напруженій частині інструменту.

Деяке збільшення роботи вирубування не приводить до важливих проблем, так як всі розподільні операції характеризуються невеликою роботою деформації.

9. ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. ГОСТ 2.424-80. Правила выполнения чертежей штампов листовой штамповки.
2. ГОСТ 3.1701-79. Правила записи операций и переходов.
3. Журавлев В.Н., Николаева О.И. Машиностроительные стали. Справочник. Москва : Машиностроение, 1981. 391 с.
4. Звороно Б.П. Расчет и конструирование штампов для холодной штамповки. Москва : Машгиз, 1949. 196 с.
5. Зубцов М. Е. Листовая штамповка Москва : Машиностроение, 1967. 504 с.
6. Ковка и штамповка : Справочник. В 4-х т. Ред. совет: Е. И. Семенов и др. Т. 4. Листовая штамповка. М.: Машиностроение, 1988. 568 с.
7. Малов А.Н. Технология холодной штамповки. Москва : Машиностроение, 1969. 568 с.
8. Романовский В. П. Технология холодной штамповке. Москва : Оборонгиз, 1958. 375 с.
9. Романовский В. П. Справочник по холодной штамповке. – 6-е изд. Ленинград : Машиностроение, 1979. 520 с.
10. Справочник конструктора штампов: Листовая штамповка. Под ред.Л. И. Рудмана. Москва : Машиностроение, 1988. 496 с.
11. Стеблюк В. И. и др. Технология листовой штамповки. Курсовое проектирование. Київ : Вищ. шк., 1983. 280 с.
12. Еленев С. А. Холодная штамповка. Москва : Высш. шк., 1988. 238 с.
13. Мещерин В. Т. Листовая штамповка. Атлас схем. Москва : Машиностроение, 1975. 227 с.
14. Скворцов Г. Д. Основы конструирования штампов для листовой штамповки. Подготовительные работы. Москва : Машиностроение, 1974. 356 с.

15. Скворцов Г.Д. Основы конструирования штампов для листовой штамповки. Конструкции и расчеты. Москва : Машиностроение, 1976. 374 с.