

Центральноукраїнський національний технічний університет
Механіко-технологічний факультет
Кафедра машинобудування, мехатроніки і робототехніки

«Допущено до захисту»

Завідувач кафедри ММіР

к.т.н., доцент

_____ Андрій ГРЕЧКА

« ____ » _____ 2026 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти

на тему:

«Розробка оснащення для виготовлення деталі «Кронштейн»»

Виконав здобувач вищої освіти 3 курсу

групи ПМ-22-2

ОПП «Комп'ютерний інжиніринг технологій,
робототехніка і 3D-друк»

спеціальності 131 «Прикладна механіка»

_____ Вадим ЛОКОЦЬКИЙ

Керівник роботи к.т.н., доцент

_____ Віталій ШМЕЛЬОВ

Рецензент: к.т.н., доцент

_____ Віктор ПУКАЛОВ

Кропивницький 2026

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет	Механіко-технологічний
Кафедра	Машинобудування, мехатроніки і робототехніки
Рівень вищої освіти	перший (бакалаврський)
Галузь знань	13 Механічна інженерія
Спеціальність	131 Прикладна механіка
Освітньо-професійна програма	Комп'ютерний інжиніринг технологій, робототехніка і 3D-друк

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ММР
_____ Андрій ГРЕЧКА

«_____» _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти

Локоцький Вадим Анатолійович

1. Тема роботи: Розробка оснащення для виготовлення деталі «Кронштейн»

2. Керівник роботи: канд. техн. наук, доц. Віталій ШМЕЛЬОВ

Затверджено наказом ЦНТУ від 01.04.2026 року № 201-02

3. Строк подання роботи до захисту «20» червня 2026 р.

4. Мета та завдання випускної кваліфікаційної роботи:

Розробити оснащення для виготовлення деталі
«Кронштейн»

Завдання:

- Розрахувати геометричні параметри заготовки за переходами штампування
- Розрахувати розкрій металопрокату
- Розрахувати технологічні зусилля за операціями штампування та вибрати обладнання
- Розробити конструкції оснащення для виготовлення деталі «Кронштейн»
- Виконати технічне нормування

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	При- мітка
1	ВСТУП	Травень 2026	
2	Основні розділи	Травень 2026	
3	ВИСНОВКИ	Червень 2026	
4	ДОДАТКИ	Червень 2026	
5	Графічна частина та оформлення	Червень 2026	

Дата видачі завдання «____» _____ 2026 р.

Керівник роботи _____ Віталій ШМЕЛЬОВ
(підпис)

Завдання прийнято до виконання «____» _____ 2026 р.

Здобувач _____ Вадим ЛОКОЦЬКИЙ
(підпис)

Анотація

Вадим ЛОКОЦЬКИЙ. Розробка оснащення для виготовлення деталі «Кронштейн» : кваліфікаційна бакалаврська робота : спец. 131 Прикладна механіка / наук. кер. В. М. Шмельов ; Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. - Кропивницький : ЦНТУ, 2026. 39 с.

Кресленників – разом 3 аркуші формату А1.

Метою роботи є розробка оснащення для виготовлення деталі «Кронштейн».

У процесі виконання роботи було здійснено комплекс технологічних і конструкторських розрахунків, необхідних для забезпечення раціонального процесу штампування. Зокрема, виконано визначення геометричних параметрів заготовки за переходами штампування з урахуванням особливостей формоутворення деталі. Проведено розрахунок раціонального розкрою металопрокату з метою підвищення коефіцієнта використання матеріалу та зменшення відходів виробництва. Також розраховано технологічні зусилля за операціями штампування, що дозволило обґрунтовано підібрати необхідне обладнання та забезпечити надійність виконання процесу.

На основі виконаних розрахунків розроблено конструкції штампувального оснащення для виготовлення деталі «Кронштейн», які забезпечують стабільність технологічного процесу, необхідну точність виготовлення та зручність експлуатації. Окремо виконано технічне нормування операцій, що дозволяє визначити оптимальні витрати часу на виготовлення деталі та оцінити ефективність запропонованого технологічного процесу.

Практичне значення роботи полягає у розробці удосконаленого технологічного процесу виготовлення деталі «Кронштейн» та створенні конструкцій штампувального оснащення, які забезпечують підвищення продуктивності виробництва, зменшення витрат матеріалу та трудових ресурсів. Запропоновані рішення дозволили знизити собівартість виготовлення деталі, підвищити точність і стабільність технологічного процесу, а також скоротити кількість операцій і задіяного обладнання.

Ключові слова: штамп, пуансон, матриця, пуансон-матриця, кронштейн, переходи штампування, технологічний процес.

Annotation

Vadym LOKOTSKYI. Development of equipment for the manufacture of the "Bracket" part: qualifying bachelor's thesis: speciality 131 Applied mechanics / scientific director V. M. Shmelov; Central Ukrainian National Technical University - Kropyvnytskyi: CUNTU, 2026.39 p.

Drawings - a total of 3 sheets of A1 format.

The purpose of the work is to develop equipment for the manufacture of the "Bracket" part.

In the process of performing the work, a set of technological and design calculations was carried out, necessary to ensure a rational stamping process. In particular, the geometric parameters of the workpiece were determined by stamping transitions, taking into account the features of the part's shaping. A calculation of rational cutting of rolled metal was carried out in order to increase the material utilization rate and reduce production waste. Technological efforts were also calculated for stamping operations, which allowed us to reasonably select the necessary equipment and ensure the reliability of the process.

Based on the calculations, stamping equipment designs were developed for the manufacture of the "Bracket" part, which ensure the stability of the technological process, the required manufacturing accuracy and ease of operation. Separately, technical standardization of operations was performed, which allows us to determine the optimal time spent on manufacturing the part and assess the effectiveness of the proposed technological process.

The practical significance of the work lies in the development of an improved technological process for manufacturing the "Bracket" part and the creation of stamping equipment designs that ensure increased production productivity, reduced material and labor costs. The proposed solutions allowed to reduce the cost of manufacturing the part, increase the accuracy and stability of the technological process, and also reduce the number of operations and equipment involved.

Key words: stamp, punch, matrix, punch-matrix, bracket part, transitions of stamping, technological process.

Центральноукраїнський національний технічний університет
Механіко-технологічний факультет
Кафедра машинобудування, мехатроніки і робототехніки

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи на тему:

«Розробка оснащення для виготовлення деталі «Кронштейн»»

КРБ.ПМ.26.29.12.00.00

Виконав здобувач вищої освіти 4 курсу
групи ПМ-22-2

ОПП «Комп'ютерний інжиніринг
технологій, робототехніка і 3D-друк»
спеціальності 131 «Прикладна механіка»

_____ Вадим ЛОКОЦЬКИЙ

Керівник роботи к.т.н., доцент

_____ Віталій ШМЕЛЬОВ

Кропивницький 2026

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
Розділ 1. Розробка технологічного процесу штампування.....	12
1.1. Характеристика об'єкту виробництва.....	12
1.2. Розробка технологічного процесу виготовлення деталі «Кронштейн».....	9
Розділ 2. Розробка оснащення для виготовлення деталі «Кронштейн».....	31
2.1. Штамп суміщеної дії	31
2.2. Штамп для гнуття	33
ВИСНОВКИ.....	36
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	37
ДОДАТКИ.....	39

ВСТУП

Листове штампування виникло багато століть тому як технологічний спосіб виготовлення однотипних деталей заданої форми і розмірів, що застосовувався для виробництва предметів домашнього вжитку, прикрас та елементів озброєння. Значного технічного розвитку та поширення цей процес набув у другій половині XIX століття у зв'язку з переходом до масового виробництва деталей для озброєння, побутових виробів (зокрема газових ламп) та іншої продукції. Удосконалення технології листового штампування забезпечило істотне підвищення продуктивності праці та покращення експлуатаційних характеристик виготовлюваних виробів.

На початку XX століття листове штампування стало одним із ключових технологічних процесів в автомобілебудуванні, особливо при виготовленні кузовних деталей. У 30-х роках воно набуло широкого застосування в авіа- та суднобудуванні, а також у виробництві побутових машин. У 50-х роках значного розвитку ця технологія досягла в ракетобудуванні.

Деталі, отримані методом листового штампування, характеризуються високою міцністю при відносно малій масі та раціональною формою. Завдяки використанню пластичних матеріалів цей метод дозволяє виготовляти як складні тонкостінні деталі, так і масивні елементи, які складно або неможливо отримати іншими способами (наприклад, від стрілки годинника до довгомірних елементів рами вантажного автомобіля).

Поєднання листового штампування зі зварюванням дає змогу створювати нероз'ємні конструкції практично необмежених розмірів, що широко використовується у вагонобудуванні, суднобудуванні та інших галузях важкого машинобудування.

Як заготовки для листового штампування використовують стрічку, смугу або листовий метал. Як правило, штампування виконують у холодному стані заготовки. У випадках, коли матеріал має недостатню пластичність або при обмеженій потужності обладнання, застосовують гаряче штампування.

Основні операції листового штампування поділяються на розділові та формозмінні. Під час розділових операцій відбувається відокремлення частини заготовки внаслідок зсуву матеріалу по заданому контуру. До таких операцій належать відрізка, розрізка, вирубка, пробивка, проколка, обрізка, надрізка та зачистка.

Формозмінні операції характеризуються тим, що форма та розміри заготовки змінюються без руйнування матеріалу, шляхом його пластичної деформації та переміщення. До них відносяться гнуття, скручування, навивка, роздача, обтиск, відборткування, витяжка, рельєфне формування та інші подібні процеси.

Листове штампування здійснюється у штампах, які, як правило, складаються з нерухомої та рухомої частин. Вони несуть робочі елементи – матрицю та пуансон, при зближенні яких заготовка, розташована між ними, зазнає необхідної деформації. Обидві половини штампа закріплюються на пресі: нерухома – на столі преса, рухома – у повзуні (виконавчому механізмі).

Робочі елементи штамів виготовляють із інструментальних сталей, що забезпечує їх високу зносостійкість і міцність. У випадках дрібносерійного виробництва деталей з алюмінію та інших м'яких матеріалів можуть застосовуватися альтернативні матеріали, такі як пластмаси або пресована деревина.

Для здешевлення виробництва при невеликому обсязі виготовлення листоштампованих деталей, особливо великогабаритних, застосовують альтернативні технологічні рішення. У таких випадках матрицю можуть виготовляти з чавуну, сталі або бетону, а функцію пуансона замінює робоче середовище – вода або інша рідина, що міститься в контейнері, розташованому над заготовкою на матриці.

У результаті підриву порохового заряду у воді утворюється високий тиск, який передається на листову заготовку і забезпечує її деформування за формою матриці. Цей спосіб отримав назву вибухового штампування. Також застосовують метод із використанням електричного розряду, коли енергія

розряду через воду передається заготовці – такий процес називають електрогідравлічним штампуванням.

Окрім цього, заготовки можуть оброблятися у штампах, що мають лише одну робочу частину – матрицю або пуансон. У таких випадках тиск на заготовку створюється за рахунок розряду високовольтних конденсаторів, який формує швидкозмінне потужне магнітне поле. Цей метод відомий як електромагнітне штампування.

Точність деталей, отриманих методом листового штампування, у більшості операцій відповідає 3–4 класу точності. Окремі операції, такі як зачистка, спеціальні види вирубування та пробивання, витяжка з потоншенням і калібрування, дозволяють досягати 2 класу точності.

При холодному листовому штампуванні якість поверхні заготовок, як правило, зберігається. У випадку використання холоднокатаних матеріалів чистота поверхні деталей зазвичай відповідає 6–8 класу. При цьому питома міцність матеріалу, характерна для прокату, після штампування не знижується, а в окремих випадках навіть підвищується завдяки наклепу, що виникає під час формозмінних операцій.

Вартість виготовлення деталей, як правило, формується за рахунок вартості матеріалу та витрат на їх виробництво. При листовому штампуванні частка матеріалу в собівартості становить у середньому 80–85%, тоді як витрати на виготовлення – 15–20%.

Різноманітність методів листового штампування, застосування штампів різної конструкції (спеціальних і універсальних), а також використання відповідних матеріалів для їх виготовлення забезпечують економічно доцільне виробництво однакових деталей при будь-яких обсягах випуску.

Листове штампування є високопродуктивним процесом. Наприклад, на пресах із зусиллям 1 МН (100 тс) при ручній подачі заготовок зі стрічки годинна продуктивність становить 600–800 деталей, а при використанні валкової подачі – 3000–4000 і більше деталей за годину.

Таким чином, листове штампування дозволяє звести складні технологічні процеси до простих операцій пресування, забезпечує стабільну точність виготовлення деталей, мінімальну кількість операцій і переходів, низькі виробничі витрати, а також у ряді випадків підвищення питомої міцності матеріалу за рахунок наклепу. Крім того, метод характеризується відносно низькою вартістю штампового оснащення.

Методами листового штампування виготовляють деталі та готові вироби для різних галузей промисловості: приладобудування, суднобудування, автомобільної та авіаційної промисловості, годинникового виробництва тощо. Отже, тема бакалаврської роботи є актуальною, оскільки спрямована на підвищення ефективності та зниження собівартості виробництва штампованих деталей.

Мета роботи: розробити оснащення для виготовлення деталі «Кришка».

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі завдання: визначити геометричні параметри заготовки за переходами штампування; виконати розрахунок раціонального розкрою металопрокату; визначити технологічні зусилля за операціями штампування та підібрати відповідне обладнання; розробити конструкцію штампувального оснащення для виготовлення деталі «Кришка»; а також виконати технічне нормування операцій технологічного процесу.

Розділ 1. Розробка технологічного процесу штампування

1.1. Характеристика об'єкту виробництва

Причіп одновісний П-3,5-02 Цільнометалевий фургон (рис. 1.1.) призначений для перевезення вантажу вагою до 650 кг.



Рисунок 1.1 - Причіп П-3,5-02 цільнометалевий фургон

Таблиця 1.1. Технічна характеристика причепа П-3,5-02

Споряджена маса причепа, кг	350
Маса вантажу, що перевозиться, кг	650
Габаритні розміри кузова, мм	
- довжина	2450
- ширина	1560
- висота	1250
Колія коліс, мм	1800

1.2. Розробка технологічного процесу виготовлення деталі «Кронштейн»

1.2.1. Опис та технічна характеристика деталі

Деталь «Кронштейн» призначена для надійного з'єднання окремих елементів кузова причепа та забезпечення необхідної жорсткості конструкції під час експлуатації. Основною технологічною операцією при її виготовленні є процес гнуття заготовки на два порівняно невеликі кути, що формують необхідну просторову конфігурацію деталі. Оскільки під час виготовлення

кронштейна матеріал піддається пластичній деформації, важливо забезпечити достатню пластичність і технологічність металу для запобігання утворенню тріщин, розшарувань та інших дефектів у зоні згину.

З огляду на зазначені умови, найбільш доцільним є виготовлення деталі з маловуглецевої сталі. Такий матеріал характеризується високою пластичністю, доброю здатністю до холодного деформування та задовільними механічними властивостями. Крім того, маловуглецева сталь легко піддається механічній обробці, має хорошу зварюваність і є економічно вигідною, що особливо важливо для серійного виробництва деталей транспортних засобів.

Використання маловуглецевої сталі дозволяє отримати якісний виріб із необхідними експлуатаційними характеристиками при мінімальних витратах на виготовлення.

$$Лист \frac{Б - ПН - 0 - 3,0 \text{ ГОСТ}19903 - 74}{2 - IV - БСтЗпс \text{ ГОСТ}165523 - 70}.$$

Таблиця 1.2. Механічні та фізичні властивості матеріалу [4]

Матеріал	σ_B , МПа	$\sigma_{3\%}$, МПа	δ_{10} %	γ , г/см ³
Сталь 3пс	440	250	30	7,85

1.2.2. Вибір та обґрунтування оптимального варіанту маршрутної технології

I варіант: базовий

1. Відрізання штаб від листа без оптимізації розкрою.
2. Вирубубання заготовки за контуром.
3. Пробивання двох фігурних отворів.
4. Пробивання чотирьох круглих отворів
5. Гнуття.

II варіант: проектний

1. Відрізування штаб від листа з оптимізацією розкрою.
2. Вирубубання, пробивання в штампі суміщеної дії.
3. Гнуття.

Вибираємо II варіант, так як він дозволяє:

- скоротити дві операції;
- скоротити два штампи;
- вивільнити двох пресувальників;
- підвищити коефіцієнт використання матеріалу;
- зменшити собівартість виготовлення деталі.

1.2.3. Розрахунок геометричних параметрів розгортки деталі

Визначаємо довжину розгортки деталі у відповідності до формули (рис. 1.2):

$$L_p = 2l_1 + 2l_2 + l_3$$

де

$$l_1 = AC - DC$$

$$AC = \sqrt{\left(\frac{180 - 92}{2}\right)^2 + 40^2} = 59,46 \text{ мм};$$

із $\triangle ODC$:

$$DC = OD \cdot \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} = (R + S) \cdot \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2}$$

$$R = 7 \text{ мм};$$

$$S = 3 \text{ мм}.$$

Із $\triangle ABC$:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{AB}{BC} = \frac{40 \cdot 2}{(180 - 92)} = 0,90$$

Тоді:

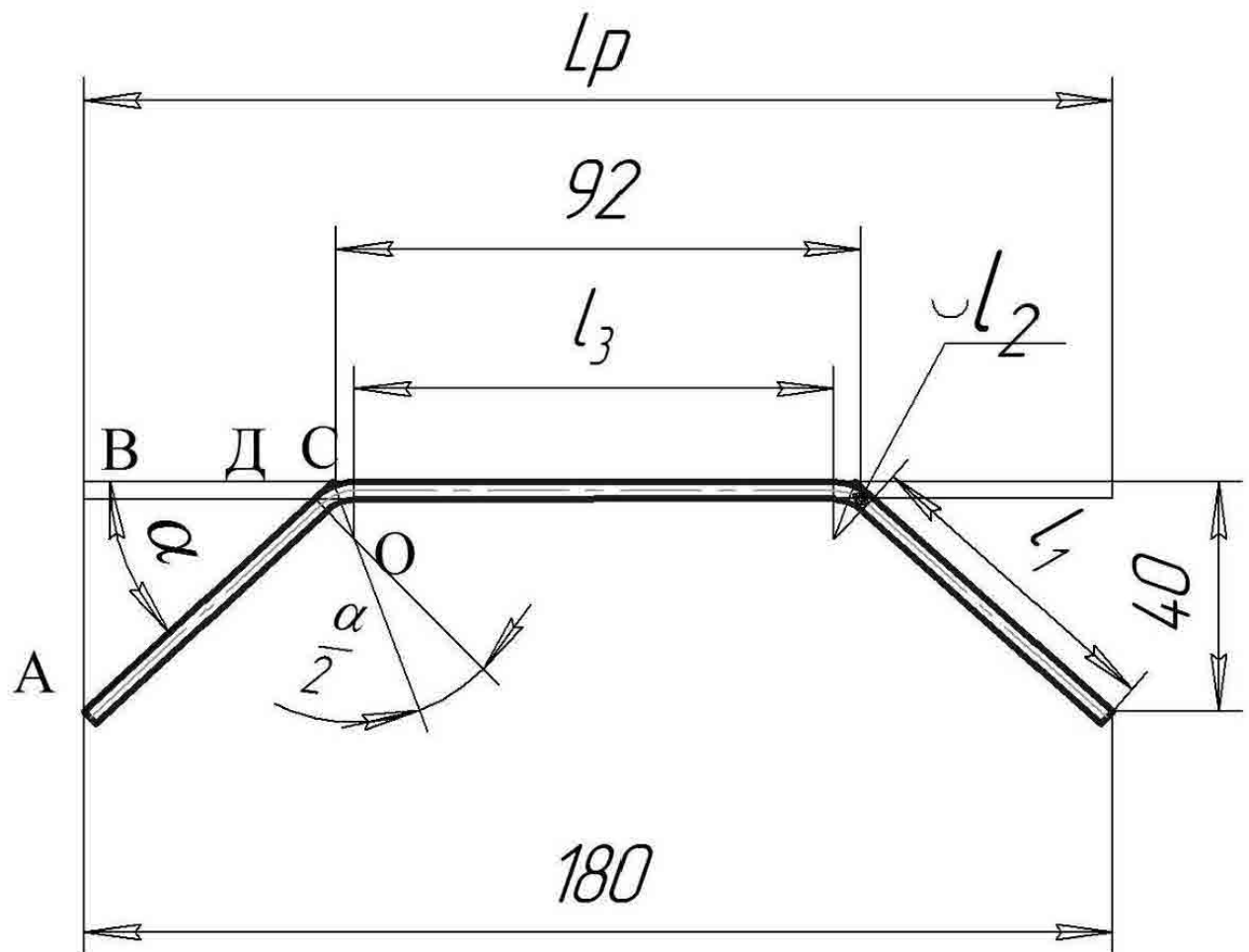


Рисунок 1.2 – До розрахунку довжини розгортки L_p вихідної заготовки

$$\alpha = 42^{\circ} 27'$$

$$\frac{\alpha}{2} = 21^{\circ} 8'$$

$$DC = (7 + 3) \cdot \operatorname{tg} \frac{42.27}{2} = 3,86 \text{ мм};$$

$$l_1 = 59,46 - 3,86 = 55,59 \text{ мм};$$

$$L_p = 2 \cdot 55,59 + 2 \cdot 6,86 + 84,268 = 209,1 \text{ мм}.$$

Приймаємо $L_p = 209 \text{ мм}$

1.2.4. Розкрій листового прокату

Деталь «Кронштейн» виготовляється з листового металопрокату товщиною 3,0 мм. Для вибору найбільш раціональної заготовки необхідно враховувати номенклатуру листового прокату, що випускається металургійною промисловістю. Відповідно до діючих стандартів, для листової сталі товщиною 3,0 мм передбачено 27 типорозмірів листів, які відрізняються геометричними розмірами та площею.

Одним із найважливіших етапів підготовки виробництва є розроблення схеми розкрою листового матеріалу. Від правильного вибору типорозміру листа та способу розміщення заготовок на ньому залежить коефіцієнт використання матеріалу, кількість відходів і, відповідно, собівартість виготовлення деталі.

Для оптимізації процесу розкрою листового прокату доцільно використовувати спеціалізовані програмні засоби автоматизованого проєктування та технологічної підготовки виробництва. Такі програми дозволяють виконувати комп'ютерне моделювання різних варіантів розташування заготовок на листі, автоматично визначати найекономічнішу схему розкрою та розраховувати коефіцієнт використання матеріалу. Застосування програмних засобів дає можливість суттєво зменшити кількість відходів металу, підвищити ефективність використання сировини та знизити витрати на виготовлення деталей у серійному виробництві.

Вихідні дані для розрахунку:

- довжина листа L [4];
- ширина листа A [4];
- товщина листа $S=3$ мм;
- міжконтурна перемичка a_1 , мм (рис. 1.3). $a_1=4,5 \dots 5$ мм [5];
- ширина заготовки $l=209$ мм;

- ширина штаби $B = 219$, мм;
- a - перемичка. $a = 5$ мм. [5].

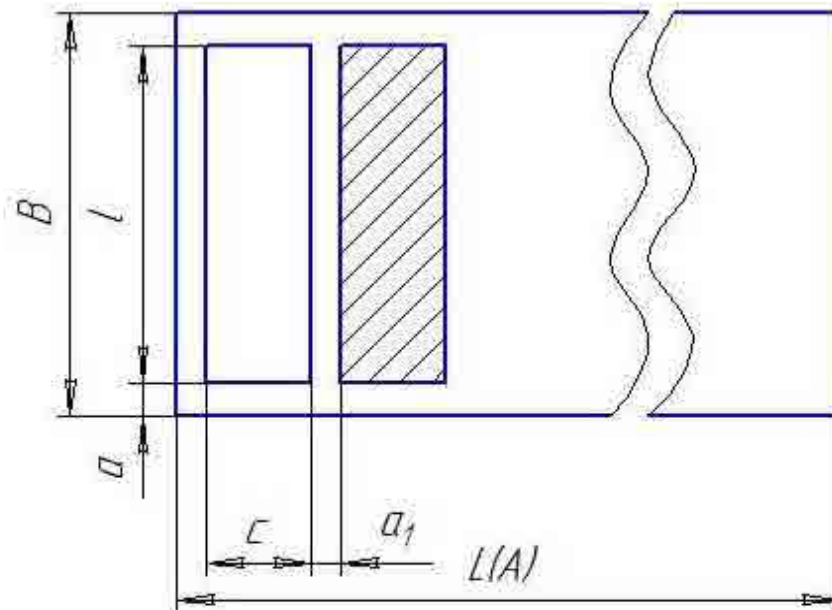


Рисунок 1.3 – Схема розкрою штаби

Визначаємо площу поверхні заготовки у відповідності до рис.

1.4:

$$F_s = F_1 - F_2 - F_3$$

де

F_1 – площа деталі;

F_2 – площа чотирьох отворів;

F_3 – площа двох отворів.

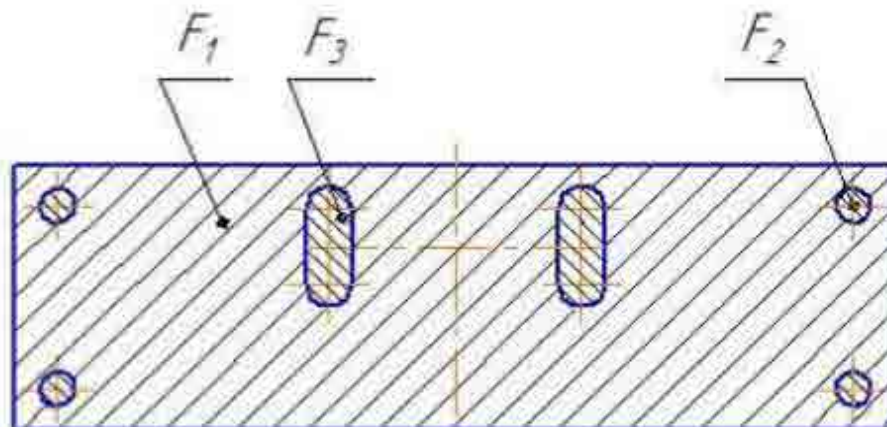


Рисунок 1.4 – До розрахунку площі поверхні заготовки

Визначаємо площу деталі:

$$F_1 = l \cdot c = 209 \cdot 65 = 13585 \text{ мм}^2;$$

Визначаємо площу круглих отворів Ø8,5мм:

$$F_2 = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 8,5^2}{4} = 56,75 \text{ мм}^2;$$

Визначаємо площу фігурних отворів:

$$F_3 = \pi \cdot 5,5^2 + 19 \cdot 11 = 304,03 \text{ мм}^2;$$

Тоді

$$F_3 = 13585 - 4 \cdot 56,75 - 2 \cdot 304,03 = 12749,94 \text{ мм}^2;$$

Густина матеріалу $\rho = 0,00785 \text{ кг/мм}^2$.

Оптимальний розмір листа і тип розкрою визначаємо за допомогою програмних засобів по найбільшому коефіцієнту використання матеріалу.

Для цього в програмі задаємо розміри листів товщиною 3мм зі сталі 3пс, що випускається металургійними заводами.

За результатами роботи програми вибираємо лист 2000x1600x3, який при повздовжньому розкрою забезпечує найбільший коефіцієнт використання матеріалу ($\eta = 81,7\%$). При цьому:

- кількість деталей із штаби – 23
- кількість штаб із листа – 9
- норма витрати матеріалу на одну деталь - 361

Схему розкрою листа представлено на рис. 1.5

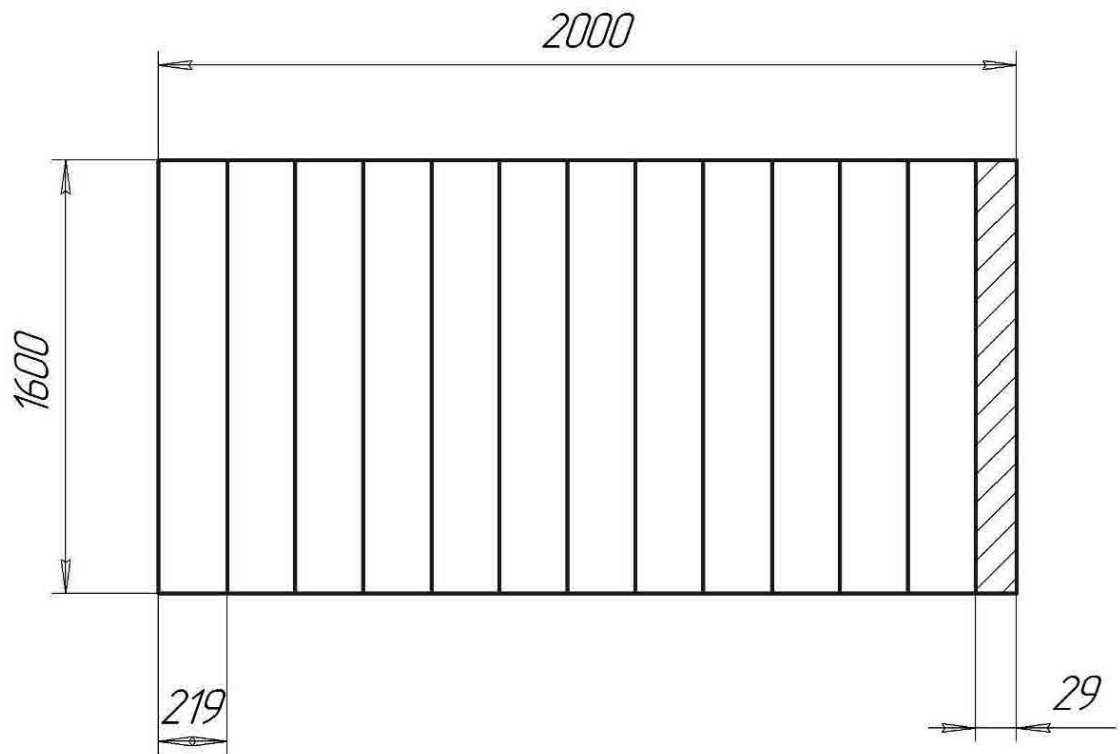


Рисунок 1.5 – Схема розкрою листа

1.2.6. Розрахунок технологічних зусиль за операціями штампування та вибір обладнання

1.2.6.1 Відрізування штаб від листа

Зусилля, необхідне для відрізання штаби від листового матеріалу на листових ножицях, визначають за відповідною розрахунковою формулою, яка враховує механічні властивості матеріалу, його товщину, довжину лінії різання та конструктивні особливості ножиць [2]:

$$P = 0,5 \frac{S^2}{\operatorname{tg} \varphi} \cdot \delta_s = 0,5 \frac{3^2}{\operatorname{tg} 5^\circ} \cdot 250 = 12871,8 \text{ Н}$$

де

S – товщина листа, $S = 3 \text{ мм}$;

φ – кут створу ножів ножиць $\varphi = 5^\circ$ [2].

Вибір листових ножиць моделі НА3218 здійснюємо з урахуванням максимальної товщини оброблюваного листа та найбільшої довжини різку. Технічні характеристики даної моделі забезпечують можливість різання листового металу товщиною до 6,3 мм при максимальній довжині різку 2000 мм, що повністю відповідає вимогам технологічного процесу та гарантує надійне виконання операції відрізання. [6].

Технічна характеристика:

- найбільша товщина листа, що розрізається, мм6,3
- найбільша ширина листа, що розрізається, мм2000
- число ходів повзуна в хв.65
- потужність приладу, кВт3
- габаритні розміри, мм2340x1920x1320
- маса, т2,8

1.2.6.2. Вирубкування пробивання в штампі суміщеної дії

Зусилля штампування визначаємо за формулою:

$$P = P_B + P_n + P_{np}$$

де P_B - зусилля вирубкування заготовки за контуром, що розраховуємо за формулою:

$$P_g = \kappa \cdot L \cdot S \cdot \delta_s$$

κ - коефіцієнт, що враховує притуплення ріжучих кромek. Приймаємо $\kappa = 1,3$;
 L - довжина периметру різку.

$$L = 2 \cdot 65 + 2 \cdot 209 = 548 \text{ мм.}$$

Тоді:

$$P_s = 1,3 \cdot 548 \cdot 3 \cdot 250 = 534300 \text{ Н} = 534,30 \text{ кН.}$$

P_{np} – зусилля прошовування відходів від пробивання крізь поясок матриці, що визначається за формулою [2]:

$$P_{np} = k_{np} \cdot P_n \cdot n$$

де k_{np} – коефіцієнт, що враховує співвідношення між P_{np} і P_n . Приймаємо $k_{np} = 0,1$ [2, с.21]; P_n – зусилля пробивання двох фігурних отворів.

$$P_n = \kappa \cdot \Pi_1 \cdot S \cdot \delta_s$$

Π_1 – сумарний периметр двох отворів

$$\Pi_1 = 2 \cdot (2 \cdot 5,5 \cdot 3,14 + 2 \cdot 19) = 145,12 \text{ мм}$$

Тоді

$$P_n = 1,3 \cdot 145,12 \cdot 3 \cdot 250 = 141492 \text{ Н} = 141,492 \text{ кН.}$$

n – кількість деталей що знаходиться в пояску матриці

$$n = \frac{h}{S} = \frac{9}{3} = 3$$

h – висота пояска матриці. $h = 9 \text{ мм}$;

$$P_{np} = 0,1 \cdot 141,492 \cdot 3 = 42,42 \text{ кН.}$$

Зусилля пробивання 4 отворів Ø8,5мм

$$P_n = \kappa \cdot \Pi_1 \cdot S \cdot \delta_s$$

Π_1 – сумарний периметр двох отворів

$$\Pi_1 = 4 \cdot (\pi \cdot 8,5) = 106,81 \text{ мм}$$

Тоді

$$P_n = 1,3 \cdot 106,81 \cdot 3 \cdot 250 = 104140 \text{ Н} = 104,140 \text{ кН.}$$

n – кількість деталей що знаходиться в пояску матриці

$$n = \frac{h}{S} = \frac{9}{3} = 3$$

h – висота пояска матриці. $h = 9 \text{ мм}$;

$$P_{np} = 0,1 \cdot 104,140 \cdot 3 = 31,24 \text{ кН.}$$

Тоді

$$P = 534,3 + 141,492 + 42,42 + 104,14 + 31,24 = 853,59 \text{ кН.}$$

Вибираємо однокривошипний відкритий прес простої дії моделі КД2130В, виходячи з розрахункового зусилля штампування та габаритних розмірів штамп. Технічні характеристики даного преса забезпечують необхідний запас зусилля та достатні розміри робочого простору (стола і повзуна), що дозволяє безперешкодно розмістити штамп і виконувати операції штампування з дотриманням вимог технологічного процесу та безпеки.

Технічна характеристика:

- номінальне зусилля, кН.1000
- хід повзуна, мм130
- число ходів повзуна в хвилину90
- найбільша відстань між столом повзуном в його нижньому положенні, мм400
- розміри стола, мм:
 - зліва на право560
 - спереду назад850
- потужність двигуна привода, кВт7,8

1.2.6.3. Гнуття

Розраховуємо зусилля гнуття за формулою [2]:

$$P = 2,5 \cdot B \cdot S \cdot \sigma_B \cdot K_2,$$

де

B – ширина деталі (довжина лінії вигину). $B = 55$ мм;

S – товщина деталі. $S = 3$ мм;

K_2 – коефіцієнт для двох кутового гнуття

$K_2 = 0,13$ [2].

Тоді

$$P = 2,5 \cdot 55 \cdot 3 \cdot 250 \cdot 0,13 = 13406,25 = 13,4 \text{ кН}$$

Однокривошипний двостояковий ненахиляємий прес з нерухомим столом моделі K2126E обираємо для виконання технологічних операцій, виходячи з вимог до зусилля штампування та конструктивних особливостей виробу. Дана модель забезпечує необхідну жорсткість і точність роботи завдяки двостояковій конструкції, а також стабільність положення робочої поверхні за рахунок нерухомого столу, що дозволяє ефективно застосовувати прес у процесах холодного штампування.

Технічна характеристика:

- номінальне зусилля кН.400
- хід повзуна, мм:
 - мінімальний10
 - максимальний80
- число ходів повзуна хв.⁻¹140
- найбільша відстань між столом повзуном
нижнього положення, мм280
- товщина під штампової плити, мм80

- розмір стола
- зліва на право600
- спереду назад400
- потужність електродвигуна, кВт4,5

1.2.7. Технічне нормування

1.2.7.1. Відрізування листа на листових ножицях з оптимізацією розкрою.

План схема організації робочого місця різальника показана на рис. 1.6.

Вихідні дані:

- довжина листа – 2000 мм;
- ширина листа – 1250 мм;
- товщина листа – 3 мм;
- площа листа – $2,5 \text{ м}^2$;
- ширина штаби – 94 мм;
- кількість штаб із листа –21 шт.;
- вид розкрою поперечний;
- кількість ходів на хв. ножа листових ножиць - 65.

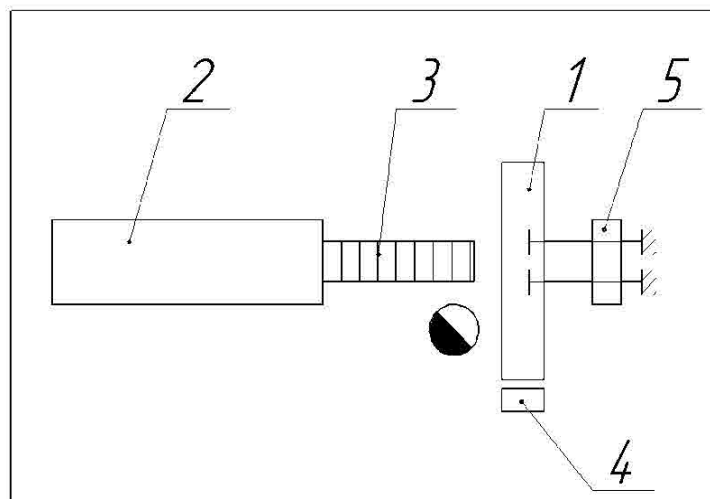


Рисунок 1.6 – План-схема організації робочого місця різальника:

- 1 - листові ножиці; 2 - стелаж з листами; 3 - рольганг; 4 - бункер для відходів; 5 - візок на рейках.

Таблиця 1.3. Розрахунок норми штучного часу [7.]

№ карти	№ позиції, індекс	Найменування переходів	Час на 1 лист хв.		
			Основне T_o	Допоміжне T_d	
				перекрите	не перекрите
65	1г	Взяти лист зі стопи, встановити по задньому упору, відкласти чи проштовхнути заготовку за ножиці			$7,8:100=0,078$
66	5в	Іро двинути лист до упору			$2,3:100=0,023$
1	2а	Увімкнути ножиці			$0,015 \times 2=0,030$
2	18д	Відрізати заготовку	$0,015 \times 2=0,030$		
Разом:			0,030		0,031

Визначаємо норму штучного часу за формулою:

$$T_{ш} = (T_o + T_d) \cdot \left(1 + \frac{a_{обс} + a_{отл}}{100} \right),$$

де T_o – основний час, хв.;

T_d – допоміжний час, хв.;

$a_{обс}$ – час на обслуговування робочого місця у відсотках від оперативного часу

$$T_{от} = T_o + T_d;$$

$a_{отл}$ – час на відпочинок та особисті потреби у відсотках від оперативного часу.

$$\text{Тоді } T_{ш} = (0,030 + 0,131) \cdot \left(1 + \frac{3 + 9}{100} \right) = 0,180 \text{ хв. на 1 лист} = 0,09 \text{ хв./штабу}$$

Визначаємо норму штучного часу, за формулою:

$$T_{ш.к} = T_{ш} + \frac{T_{н.з}}{n_{ш}},$$

де $T_{н.з}$ – підготовчо заключний час на партію деталей в хв.;

$n_{ш}$ – кількість деталей в партії

Тоді $T_{ш.к} = 0,09 + \frac{15}{400} = 0,1275$ хв.

Визначаємо змінну норму виробітку.

$$H = \frac{T_{зм}}{T_{ш.к}} = \frac{420}{0,1275} = 3294 \text{ шт./зміну.}$$

1.2.7.2. Вирубування-пробивання в штампі суміщеної дії

План схема організації робочого місця штампувальника показана на рис.

1.7.

Вихідні данні:

- розмір штаби - 3х94х1250 мм;
- крок штампування – 65 мм;
- кількість деталей із штаби – 30 шт;
- число подвійних ходів преса в хв. – 32;
- тип штампу – простої дії;
- положення штампувальника – стоячі

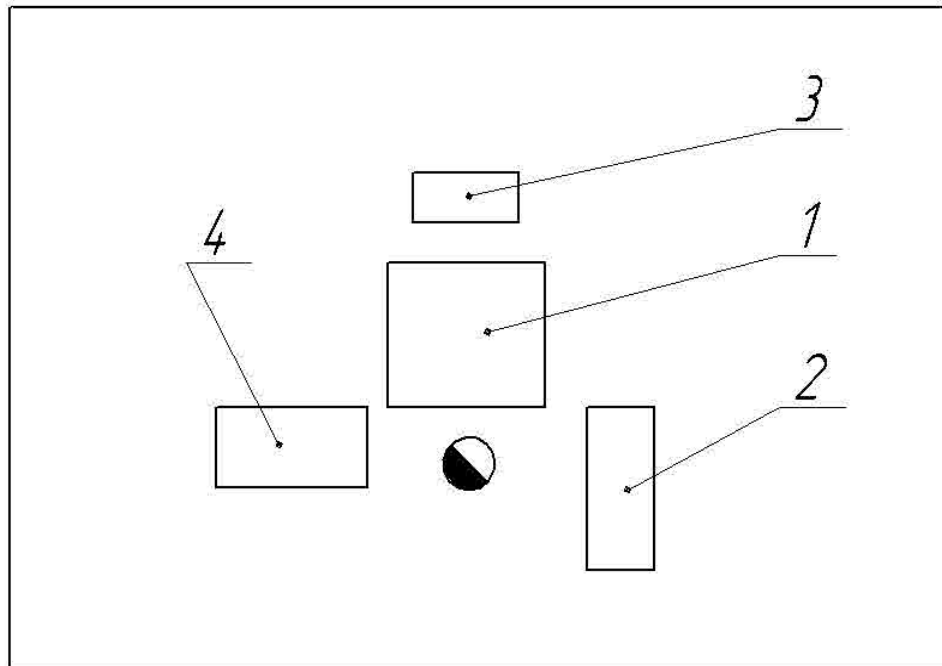


Рисунок 1.7 – План-схема організації робочого місця штампувальника:

1 - прес; 2 - стіл зі штабами; 3 - бункер для деталей; 4 - бункер для відходів

Таблиця 1.4. Розрахунок норми штучного часу [7.]

№ карти	№ позиції, індекс	Найменування переходів	Час на 1 лист хв.		
			Основне T_o	Допоміжне T_d	
				перекрите	не перекрите
29	1a	Взяти полосу, піднести і встановити в штамп			$\frac{6,1 \cdot 1,025}{100 \cdot 16} = 0,0039$
1	2a	Увімкнути прес			0,015
2	13a	Штампувати	0,059		
-	-	Вилучити деталь зі штампа в тару гачком			0,066
30	3e	Продвинути полосу на крок			$1,7/100=0,017$
45	4y	Відкинути відхід зі стола преса в тару			$4,9/100=0,049$
Разом:			0,059		0,1809

Визначаємо норму штучного часу за формулою:

$$T_{ш} = (T_o + T_d) \cdot \left(1 + \frac{a_{обс} + a_{отл}}{100}\right) = (0,059 + 0,1809) \cdot \left(1 + \frac{3+9}{100}\right) = 0,268 \text{ хв. на одну деталь.}$$

Визначаємо норму штучного часу, за формулою:

$$T_{ш.к} = T_{ш} + \frac{T_{н.з}}{n_{ш}} = 0,268 + \frac{15}{4400} = 0,239 \text{ хв. на одну деталь}$$

Визначаємо змінну норму виробітку.

$$H = \frac{T_{зм}}{T_{ш.к}} = \frac{420}{0,239} = 1757 \text{ шт./зміну.}$$

1.2.7.3. Гнуття в штампі простої дії

План схема організації робочого місця показана на рис. 1.8.

Вихідні данні:

- розмір заготовки 84х61х3 мм;
- площа заготовки – 2731,2 мм²;
- прес зусиллям – 400 кН;
- число подвійних ходів в хв. – 140;
- положення штампувальника – стоячи.

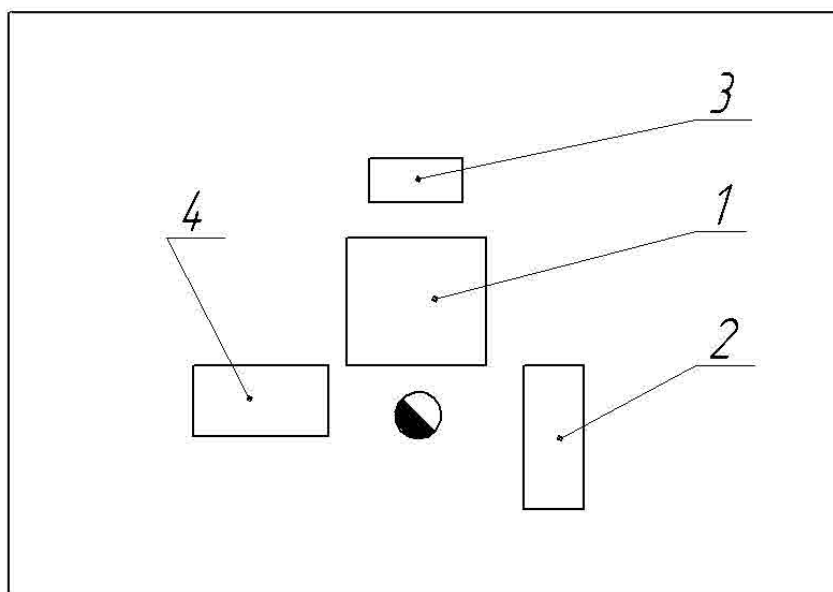


Рисунок 1.8 – План-схема організації робочого місця штампувальника:

1 - прес; 2 - стіл зі штабами; 3 - бункер для деталей; 4 - бункер для відходів

Таблиця 1.5. Розрахунок норми штучного часу [7.]

№ карти	№ позиції, індекс	Найменування переходів	Час на 1 деталь		
			Основне T _о	Допоміжне T _д	
				перекрите	не перекрите
40	2ж	Взяти заготовку і встановити в штамп по шпильках			6/100=0,06
1	2а	Увімкнути прес			0,015
2	13а	Штампувати	0,059		
44	3ш	Зняти деталь, і скинути в ящик			2,2/100=0,022
45	1ф	Зіштовхнути відхід зі штампа			0,78/500=0,00156
Разом:			0,059		0,09856

Визначаємо норму штучного часу за формулою:

$$T_{ш} = (T_o + T_d) \cdot \left(1 + \frac{a_{обс} + a_{отл}}{100} \right) = (0,059 + 0,09856) \cdot \left(1 + \frac{3 + 9}{100} \right) = 0,176 \text{ хв/дет}$$

Визначаємо норму штучно-калькуляційного часу, за формулою:

$$T_{ш.к} = T_{ш} + \frac{T_{н.з}}{n_{ш}} = 0,176 + \frac{15}{4400} = 0,179 \text{ хв/деталь}$$

Визначаємо змінну норму виробітку.

$$H = \frac{T_{зм}}{T_{ш.к}} = \frac{420}{0,179} = 2346 \text{ шт/зміну.}$$

КАРТА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЛИСТОВОГО ШТАМПУВАННЯ									
Деталь		Коринтеїн							
Креслення		Кількість штук на виріб		Кількість штук на виріб		Партія, штук		Кількість карт	
КРБ.ПМ.26.29.12.00.00		КРБ.ПМ.26.29.12.00.00		КРБ.ПМ.26.29.12.00.00		КРБ.ПМ.26.29.12.00.00		КРБ.ПМ.26.29.12.00.00	
Міністерство освіти і науки України Центральноукраїнський національний технічний університет Кафедра "Машинобудування, мехатроніка і робототехніка"		Ст.Змс		Ширини стрічки		Укладені		Кількість карт	
Довжина листа		2000		Довжина стрічки		-		1	
Ширини листа		1600		Маса деталі		0,322		Дата	
Кількість деталей із штабі		3		Норми витр. матер. на 1 деталь		0,361		12.06.26	
Кількість штабів із листа		9		Кількість деталей з рулоном		-			
Кількість деталей із листа		21							
Коефіцієнт закрутки листа		189				Керівник		Дата	
Коефіцієнт закрутки листа		81,7				Шашельов		12.06.26	
№ операції		Найменування операцій та переходів		Обладнання		Прикосування, пристрої		Інструмент	
10		Різнання листа на штаби		Ножиці НА 3218В		Штанген-циркуль, лінійка		Ножи	
20		Вирубування, пробивання		Прес К2130В		Штанген-циркуль, лінійка		Штамп-вальник IV розряд	
30		Гнуття		Прес К2126Е		Штанген-циркуль, лінійка		Штамп-вальник III розряд	

Розділ 2. Розробка оснащення для виготовлення деталі «Кронштейн»

2.1. Штмп суміщеної дії

2.1.1. Призначення штамп

Штмп суміщеної дії призначений для одночасного виконання вирубування за контуром деталі «Кронштейн» та пробивання отворів, що забезпечує поєднання кількох операцій в одному робочому циклі. Це дозволяє підвищити продуктивність процесу, зменшити кількість переходів та забезпечити точне взаємне розташування елементів деталі.

2.1.2. Склад штамп

Штмп складається з наступних деталей і вузлів:

- нормалізованого блоку з двома направляючими вузлами ковзання (поз. 1,14);
- вирубної матриці (поз.3);
- пуансон-матриці (поз. 13), що виконує функції вирубного пуансона та пробивної матриці;
- пробивних пуансонів (поз.8, поз. 16);
- рухомого знімача (поз. 10) для знімання відходу від штаби с пуансон-матриці;
- виштовхувала поз. 9;
- буфера поз. 11;
- упора поз. 15.

2.1.3. Робота штампа

Штамп працює таким чином. Штаба подається в штамп між направляючими упорами поз.15 над знімачем поз. 10. При ході повзуна в низ відбувається спочатку вирубування заготовки деталі «Кронштейн» за контуром за допомогою пуансон-матриці поз. 13 та вирубної матриці поз. 3 з подальшим пробиванням двох фігурних отворів пуансонами поз. 8 та чотирьох круглих отворів пуансоном поз. 16. При ході повзуна в гору здійснюється зняття штаби із нижньої частини штампа рухомим штовхачем поз. 10, який спрацьовує під дією буфера 11.

Деталь падає на перемичку штаби і вилучається із робочої зони штампа гачком.

2.1.4. Розрахунок пуансона для пробивання отвору діаметром 8,5 мм на міцність

Розрахунок пуансона на міцність здійснюємо для меншого з пуансонів із умови:

$$P_{\text{доп}} \geq P_n ,$$

де $P_{\text{доп}}$ - допустиме навантаження на стиснення;

P_n – потрібне технологічне зусилля штампування.

$$P_n = 1,3 \cdot \pi \cdot 8,5 \cdot 3 \cdot 1 \cdot 250 = 26035,95 \text{ Н}$$

Допустиме навантаження на стиснення та усталеність робочої частини пуансона визначаємо за формулою [10]

$$P_{\text{доп}} = \varphi \cdot F_{\kappa} [\sigma]_{\text{ст}} ;$$

Де φ - коефіцієнт пониження допускаємого напруження що залежить від умов гнучкості. При співвідношенні

$$\frac{\mu h}{I_{\text{min}}} = \frac{0,7 \cdot 20}{2,25} = 6,22 \quad \varphi = 0,80 \text{ [10];}$$

F_k - площа контакту робочого торця пуансона із матеріалом, що штамнують. При $S/d = \frac{1}{8,5} = 0,12 \leq 1$, площа контакту приймається рівною площі пояса шириною $0,5S$ по усьому периметру робочого торця пуансона [10].

Для круглого контуру

$$F_k = \frac{\pi \cdot S \cdot (2d - S)}{4} = \frac{\pi \cdot 3 \cdot (2 \cdot 8,5 - 3)}{4} = 32,99 \text{ мм}^2;$$

$[\sigma]_{ст.}$ – допускаєме напруження на стиснення $[\sigma]_{ст.} = 1600 \text{ МПа}$ [10, с.33].

Тоді

$$P_{дон} = 0,80 \cdot 32,99 \cdot 1600 = 42227,2 \text{ Н.}$$

Так як $P_{дон} > P_n$, умова усталеності виконується.

2.2. Штамп для гнуття

2.2.1. Призначення штампа

Штамп для гнуття призначений для виконання операції гнуття деталі.

2.2.2. Склад штампа

Штамп складається з наступних деталей та вузлів:

- нормалізованого блоку з заднім розташуванням напрямних вузлів ковзання (поз. 1,5,20,21);
- гнуттєвих вставок поз. 3;
- пуансон поз. 11 який виконує гнуття;
- вставки притискача поз. 6;

- система виштовхування деталі з нижньої частини штампа, яка включає в себе ступінчатий гвинт поз. 6, шайбу поз. 8, стакан поз. 7.

2.2.3. Робота штампа

Штамп працює таким чином. Заготовка деталі «Кронштейн» встановлюється в штамп із позиціонуванням по напівматрицях. При ході повзуна вниз здійснюється операція гнуття деталі. Під час зворотного ходу повзуна вгору виконується знімання деталі з пуансона за допомогою знімача (поз. 4).

При досягненні повзуном крайнього верхнього положення здійснюється виштовхування деталі з нижньої частини штампа. Зусилля від рухомого виштовхувача преса передається через буфер (поз. 10) і вставку-притискач (поз. 4). Після цього деталь падає на дзеркало штампа і видаляється з робочої зони за допомогою гачка.

ВИСНОВКИ

1. Розроблено технологічний процес виготовлення деталей «Кронштейн» із впровадженням заходів щодо його оптимізації. Зокрема, запропоновано раціональний розкрій металопрокату та суміщення операцій вирубування і пробивання в одному штампі. Це дозволяє суттєво знизити норму витрати матеріалу на одну деталь, підвищити коефіцієнт використання металу, вивільнити двох пресувальників, скоротити кількість технологічного оснащення (штампів), а також підвищити точність виготовлення деталей за рахунок зменшення кількості установок і переходів. Додатково досягається зменшення виробничих витрат та підвищення ефективності використання обладнання.

2. Розроблено штампи оригінальної конструкції для виконання операцій вирубування-пробивання та гнуття деталі «Кронштейн». Конструктивні рішення забезпечують надійну роботу оснащення, стабільну якість виготовлення деталей, зручність обслуговування та підвищену продуктивність процесу штампування.

3. Виконано комплекс робіт із розробки графічних елементів штампового оснащення для виготовлення деталі «Кронштейн», включаючи оформлення необхідної конструкторської документації, що забезпечує можливість виготовлення, складання та подальшої експлуатації штампів у виробничих умовах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Боков В.М., Кришкін Б.Б., Мірзак В.Я., Носуленко В.І., Чумаченко О.С., Шепельський М.В. Дипломне проектування / Під ред. В.І. Носуленка. – Кіровоград: ТОВ «Імекс-ЛТД», 2005. – 148 с.
2. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя: В 3-х т. 5-е изд., перераб.-М.Машиностроение, 1980.-723 с.-Т1.
3. Справочник по оборудованию для листовой штамповки / Л.И. Рудман, А.И. Зайчук, В.Л. Марченко и др.; Под ред. Л.И.Рудмана.-К. : Технжа, 1989. – 231 с.
4. Чухліб В. Л. Технологія процесів листового штампування : навч.-метод. посібник / В. Л. Чухліб, О. А. Юрченко, А. В. Ашкелянець ; Нац. техн. ун-т "Харків. політехн. ін-т". – Електрон. текст. дані. – Харків, 2021. – 76 с..
5. Технологія холодного штампування. Курсове проектування. Листове штампування : навч. посіб. / В. М. Боков, В. Я. Мірзак ; КНТУ - Кіровоград : Імекс, 2010 - 250 с.
6. Кузнечно-штамповочное оборудование / А.Н.Банкетов, Ю.А. Бочаров, Н.С. Добринский и др.: Под ред. А.Н.Банкетова, Б.Н.Ланского. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1982, -575 с.
7. ГОСТ 10026-75. Прессы однокривошипные закрытые простого действия. Основные параметры и размеры.
8. Кваліфікаційна робота за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти : метод. рекомендації до виконання кваліфікаційної роботи за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти спец. 131 «Прикладна механіка» / [уклад. : К. Щербина, В. Шмельов, О. Скрипник, А. Гречка, О. Кузик] ; М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т, каф. машинобудування, мехатроніки і робототехніки, каф. матеріалознавства і ливарного виробництва. – Кропивницький : ЦНТУ, 2024 – 16 с.
9. Кваліфікаційна робота за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти : метод. рекомендації з оформлення кваліфікаційної роботи : спец. 131 Прикладна механіка / [уклад. : В. А. Мажара, А. І. Гречка, В. В. Свяцький та ін.] ; М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т, каф.

машинобудування, мехатроніки і робототехніки. Кропивницький : ЦНТУ, 2024. – 40 с.

10. Боков В.М. Конструювання та виготовлення штампів. Штмп як об'єкт проектування. – Кіровоград: Поліграфічно-видавничий ТОВ «Імекс ЛТД», 2005. – 236 с.

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

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

13. Дубина В. І. Технологія холодного штампування : конспект лекцій. Електронна версія. Запоріжжя : ЗНТУ, 2007. 70 с.

14. Орлюк М. В. Вишневський П. С. Технологія холодного штампування та конструювання штампів : навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 80 с.

15. Технологічні процеси за фахом. Кування і штампування : навч. посіб. / Кухар В. В. та ін. Маріуполь : ПДТУ, 2017. 144 с.

16. Холодне листове штампування : навч. посіб. / Убизький М. М., Кулик О. В., Фесенко А. Г., Шевчук Д. І. Дніпропетровськ : РВВ ДНУ, 2008. 124 с.

17. Швець С. В., Сєдінкін Л. М. Штампи та прес-форми, конструювання та технологія виготовлення : навч. посіб. Суми : Вид-во СумДУ, 2005. 118 с.

18. Шепельський М. В. Теорія та проектування процесів холодного штампування : навч. посіб. Кіровоград : КНТУ, 2005. 262 с.

19. Технологічні процеси за фахом. Кування і штампування : навчальний посібник / В. В. Кухар, Б. С. Каргін, О. С. Аніщенко, С. Б. Каргін, А. Г. Присяжний. – Маріуполь : ПДТУ, 2017. – 144 с.

20. Боков, В. М. Витягування циліндричних деталей із не суцільного матеріалу / В.М. Боков, О.Ф. Сіса, І.І. Павленко // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин : загальнодерж. міжвід. наук.-техн. зб. – Кропивницький : ЦНТУ, 2021. – Вип. 51. – С. 147-168.

21. Мажара В.А. Система автоматизованого проектування

технологічного оснащення / В.А. Мажара, К.К. Щербина, А.М. Артюхов, С.А. Тененика, І.С. Шестаков // Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. – Кропивницький : ЦНТУ, 2024. – Вип. 54. – С. 12-23.

22. Шмельов, В. М. Оптимізація якісних характеристик поверхонь робочих деталей розділових штампів в умовах розмірної обробки електричною дугою / В.М. Шмельов // Загальнодержавний міжвідомчий науковотехнічний збірник. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. – Кіровоград: КНТУ, 2014. –вип. 44, ч. І. – С. 170-176.

23. Шмельов, В. М. Електрична дуга як інструмент для розмірної обробки спряжених пар робочих деталей розділових штампів / В.І. Носуленко, В.М. Шмельов // Збірник наукових праць КНТУ /техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація/ Вип.25. Ч.1. Кіровоград: КНТУ 2012. – С. 140-144.

24. Шмельов, В. М. Особливості фізичного механізму електричної ерозії в умовах розмірної обробки електричною дугою спряжених пар робочих деталей розділових штампів / В.М. Шмельов // Збірник наукових праць КНТУ /техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація/ Вип.24. Ч.1. Кіровоград: КНТУ 2011. – С. 111-114.

25. Шмельов, В. М. Розрахунок виконавчих розмірів електродів-інструментів для виготовлення способом розмірної обробки електричною дугою робочих деталей розділових штампів суміщеної дії / В.І. Носуленко, В.М. Шмельов // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Серія машинобудування. – К.: НТУУ «КПІ». – 2011. Вип.62. – С. 125-129.

26. Шмельов, В. М. Розділовий штамп суміщеної дії з моноблочною матрицею-пуансоном / В.І. Носуленко, В.М. Шмельов // Збірник наукових праць КНТУ /техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація/ Вип.23. Кіровоград: КНТУ 2010. – С. 111-114.

27.Шмельов, В. М. Технологічні характеристики розмірної обробки електричною дугою спряжених пар робочих деталей штампів суміщеної дії / В.І. Носуленко, В.М. Шмельов, О.С. Чумаченко // Збірник наукових праць КНТУ /техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація/ Вип.23. Кіровоград: КНТУ, 2010. – С. 3-7

ДОДАТКИ