Міністерство освіти і науки України

Запорізький національний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні
(назва факультету)

кафедра металургійного обладнання
(повна назва кафедри)

ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

На тему Модернізація кривошипного пресу з С-подібною станиною для підвищення якості штампування та стійкості штампового інструменту

Виконав: студент групи 6.1331

Залозний С.Ю.
(ПІБ) (підпис)

спеціальності

133 Галузеве машинобудування
(шифр і назва)

спеціалізація

(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма
Галузеве машинобудування
(шифр і назва)

Керівник Васильченко Т.О.
(прізвище та ініціали) (підпис)

Н.контроль Васильченко Т.О.
(прізвище та ініціали) (підпис)

Запоріжжя – 2025 року

Запорізький національний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні

Кафедра металургійного обладнання

Рівень вищої освіти бакалавр

Спеціальність 133 Галузеве машинобудування
(шифр і назва)

Спеціалізація
(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма Галузеве машинобудування
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедрою А.О. Власов

"____" _____2025_ року

Завдання
до випускної кваліфікаційної роботи бакалавра
Залозного Станіслава Юрійовича
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема бакалаврської роботи: Модернізація кривошипного пресу з С-подібною станиною для підвищення якості штампування та стійкості штампового інструменту
керівник бакалаврської роботи доц. Васильченко Т.О.
затверджені наказом вищого навчального закладу від "27" грудня 2024 року № 2031-с.
2. Строк подання студентом магістерської роботи 14 червня 2025 року.
3. Вихідні дані кваліфікаційної роботи техніко-економічні показники роботи листоштампувального цеху.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): 1. Загальна частина; 2. Спеціальна частина; 3. Експлуатаційна частина; 4. Охорона праці та техногенна безпека. Загальні висновки та рекомендації.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): 1. Прес кривошипний зусиллям 1000кН.Вид загальний – А1; 2.Прес кривошипний простої дії. Кінематична схема - 1А1; 3.Муфта – 1А1; 4. Гальмо – 1А1; 5. Диск-поршень – 1А3; 6. Втулка – 1А3; 7. Корпус – 1А3; 8.Диск ведений – 1А3.

6. Консультанти розділів магістерської роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1	Васильченко Т.О., доцент		
2	Васильченко Т.О., доцент		
3	Васильченко Т.О., доцент		
4	Васильченко Т.О., доцент		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів магістерської роботи	Примітки
1	Збір матеріалу на проєктування	13.05.2025–20.05.2025	
2	Групування та аналіз зібраного матеріалу. Уточнення завдань проєктування	21.05.2025 – 27.05.2025	
3	Виконання теоретичної частини проєкту	26.05.2025 – 29.05.2025	
4	Виконання графічної частини проєкту	30.05.2025 – 05.06.2025	
5	Написання та оформлення пояснювальної записки	06.06.2025 – 10.06.2025	
6	Перевірка проєкту консультантами	11.06.2025 – 13.06.2025	
7	Попередній захист проєкту	14.06.2025	
8	Переплітання пояснювальної записки	Згідно з графіком	
9	Захист проекту у ДЕК	Згідно з графіком	

Студент _____ С.Ю. Залозний
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник бакалаврської роботи _____ Т.О. Васильченко
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Залозний С.Ю. Модернізація кривошипного пресу з С-подібною станиною для підвищення якості штампування та стійкості штампового інструменту.

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти бакалавр за спеціальність 133 – Галузеве машинобудування, керівник Т.О. Васильченко. Запорізький національний університет, Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні, кафедра металургійного обладнання, 2025.

У бакалаврській кваліфікаційній роботі розглянуто питання удосконалення конструкції кривошипного листоштампувального преса з С-подібною станиною з метою підвищення точності процесу штампування та ресурсу штампового інструменту. Проаналізовано технічний стан базового преса К2130, визначено основні фактори, що впливають на жорсткість і точність обладнання. На основі проведених досліджень запропоновано конструктивні рішення щодо посилення станини, оптимізації вузлів напрямного пристрою та зменшення динамічних навантажень. Виконано інженерні розрахунки на міцність і жорсткість елементів преса, а також обґрунтовано вибір потужності приводу і параметрів маховика.

Ключові слова: КРИВОШИПНИЙ ПРЕС, С-ПОДІБНА СТАНИНА, ШТАМПУВАННЯ, ЖОРСТКІСТЬ, МОДЕРНІЗАЦІЯ, МІЦНІСТЬ

ABSTRACT

Zaloznyi S.Yu. Modernization of a crank press with a C-shaped bed to improve stamping quality and stamping tool stability.

Qualifying thesis for obtaining a bachelor's degree in higher education, specialty 133 - Industrial engineering, adviser T.O. Vasilchenko. Zaporizhzhia National University, Engineering Educational and Scientific Institute them. Yu.M. Potebni, Department of Metallurgical Equipment, 2025.

The bachelor’s qualification work addresses the improvement of the design of a crank-type sheet stamping press with a C-shaped frame in order to enhance stamping

accuracy and extend the service life of the die tooling. The technical condition of the base press model K2130 is analyzed, and the key factors influencing the rigidity and accuracy of the equipment are identified. Based on the conducted research, design solutions are proposed to reinforce the frame, optimize the guide mechanism components, and reduce dynamic loads. Engineering calculations have been performed to assess the strength and rigidity of the press components, and the selection of the drive power and flywheel parameters has been substantiated.

Keywords: CRANK PRESS, C-FRAME, STAMPING, RIGIDITY, MODERNIZATION, STRENGTH.

ЗМІСТ

ВСТУП 8
1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА 9
1.1 Характеристика листоштампувального цеху та класифікація обладнання цеху 9
1.2 Призначення та область застосування пресу 11
1.3 Принцип дії та технічна характеристика пресу 14
2 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА 23
2.1 Класифікація та характеристика станин кривошипних пресів 23
2.2 Загальна методика розрахунку на міцність та жорсткість станини відкритого типу 27
2.3 Розрахунок станини пресу К2130 на міцність та жорсткість 36
2.4 Пропозиції щодо модернізації станини с-побідного типу 40
2.5 Розрахунок потужності двигуна та моменту інерції маховика універсального відкритого листоштампувального одно кривошипного преса зусиллям 1 МН. 41
3 ЕКСПЛУАТАЦІЙНА ЧАСТИНА 46
3.1 Розробка компонувальної схеми кліщової подачі. 46
3.2 Розробка кінематичної схеми ролонниці з автоматичним розмотувальним пристроем 53
3.3 Розробка кінематичних схем виштовхувачів пресу; розробка циклограми 55
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА 58
4.1 Виявлення та оцінка шкідливих факторів виробничого середовища 58
4.2 Рекомендації щодо зниження впливу шкідливих факторів 60
4.3 Технічні рішення по гігієні праці і виробничій санітарії 63
4.4 Заходи пожежної безпеки 64
4.5 Заходи з техногенної безпеки 67
ВИСНОВКИ 71
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ 73
ДОДАТКИ 76

ВСТУП

У сучасному машинобудуванні штампувальні операції займають одне з провідних місць, оскільки забезпечують високу продуктивність, точність та економічність виготовлення деталей. Одним із ключових агрегатів, що широко застосовуються в галузі холодного і гарячого штампування, є кривошипний прес. Особливо поширеними є преси з С-подібною станиною, які завдяки своїй конструкції забезпечують зручність обслуговування та компактність розміщення в умовах цеху.

Однак, експлуатаційний досвід показує, що преси даного типу мають певні недоліки, зокрема — знижену жорсткість станини, що призводить до нерівномірного розподілу навантаження під час штампування. Це, в свою чергу, спричиняє зниження точності виготовлених деталей, передчасне зношування або поломку штампового інструменту, а також зменшення міжремонтного ресурсу обладнання. Враховуючи зростаючі вимоги до якості продукції та надійності технологічного оснащення, питання модернізації таких пресів набуває особливої актуальності.

Метою даної бакалаврської роботи є розробка технічного рішення щодо модернізації кривошипного преса з С-подібною станиною з метою підвищення жорсткості конструкції, забезпечення стабільних умов роботи штампового інструменту та покращення якості штампованих виробів.

У роботі проведено аналіз існуючих конструкцій кривошипних пресів, визначено основні причини зниження якості штампування та зносу інструменту, запропоновано конструктивні зміни в механізмі або станиною преса. Розглянуто також питання динамічних навантажень, вибору матеріалів, умов змащення та експлуатації обладнання після модернізації.

Практична реалізація запропонованих заходів дозволить підвищити точність та якість виготовлення деталей, збільшити довговічність штампового інструменту, зменшити витрати на обслуговування та ремонт обладнання, що, в підсумку, сприятиме підвищенню ефективності виробництва.

1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1 Характеристика листоштампувального цеху та класифікація обладнання цеху

Пресова ділянка є ключовим елементом технологічного ланцюга листоштампувального заводу, оскільки забезпечує формування заготовок і деталей шляхом пластичної деформації металу. Основним призначенням пресової ділянки є виконання широкого спектру технологічних операцій: пробивка, вирубка, згинання, витягування, обтискання та інші процеси холодного штампування листового металу. Пресова ділянка інтегрована в структуру листоштампувального та тісно взаємодіє з іншими підрозділами підприємства — зокрема, із заготівельним, інструментальним та складальним цехами.

Обладнання пресової ділянки включає широкий спектр механічних, гідравлічних і гідромеханічних пресів, що відрізняються за зусиллям, типом приводу, числом точок дії, типом приводу повзуна та можливістю автоматизації. До основних одиниць обладнання належать кривошипні одностійкові та двостійкові преси зусиллям від 63 до 630 кН, гідравлічні преси зусиллям до 1600 кН, а також спеціальні лінії автоматизованого штампування, оснащені подавачами стрічки, накопичувачами, домірними станціями й системами контролю якості. Особливу роль відіграє також інструментальне оснащення — комплект штампів, пуансонів і матриць, які визначають геометрію готових виробів.

Організація роботи на пресовій ділянці, як правило, передбачає потокове розміщення устаткування із зонуванням за видами технологічних операцій та типорозмірами заготовок. Це дозволяє мінімізувати внутрішньоцехові переміщення матеріалів і забезпечити безперервність виробничого процесу. Операторський персонал проходить спеціальне навчання та постійний інструктаж з техніки безпеки, оскільки робота на пресовому обладнанні

пов'язана з підвищеною небезпекою через ризик травматизму, пов'язаний із рухомими частинами машин та високими зусиллями.

Ефективність роботи пресової ділянки значною мірою залежить від правильного підбору режимів штампування, технічного стану обладнання, точності налаштування інструменту та своєчасного технічного обслуговування. Застосування систем попередження перевантажень, сенсорного контролю зусилля, сучасних засобів візуалізації параметрів і автоматизації дозволяє значно підвищити надійність і безпеку процесу.

Технологічний процес у листоштампувальному цеху машинобудівного підприємства спрямований на формування деталей із листового прокату шляхом послідовного виконання механічних операцій з деформації матеріалу під тиском. Вихідним матеріалом у процесі є листовий метал, поставлений у вигляді рулонів або листів стандартного формату, що надходить до цеху зі складу металу.

Першим етапом технологічного процесу є підготовка матеріалу: розмотування рулону, випрямлення та обрізання заготовок до заданих розмірів. Для цього використовуються розмотувачі, вирівнювальні машини та листорізальні агрегати. Далі заготовки подаються на лінії штампування або вручну встановлюються в одиничні преси, залежно від типу виробництва — серійного або дрібносерійного.

Основні операції, що виконуються у процесі штампування, включають пробивку отворів, вирубку зовнішнього контуру, згинання по заданому радіусу, витягування форми, підгинання країв, перфорацію тощо. Кожна з цих операцій може виконуватись як на окремому пресі, так і в межах комплексного штампа, що працює в кілька ходів. Для забезпечення високої точності положення заготовки відносно інструменту використовуються напрямні, опори, упори та системи фіксації.

У разі потреби в автоматизації процесу застосовуються маніпулятори або транспортери, які подають заготовку до зони штампування, а також виводять готову деталь або обрізки після операції. Вироби після штампування

можуть направлятись на подальше доопрацювання: обробку кромок, знежирення, термообробку або фарбування — відповідно до вимог технічного процесу.

Контроль якості виконується як візуально, так і за допомогою калібрів, шаблонів або електронних вимірювальних систем. Важливою складовою процесу є моніторинг технічного стану пресового обладнання, перевірка правильності кріплення штампу, наявності мастила та стабільності тиску.

Весь процес у цеху регламентується технологічними картами, маршрутними листами та стандартами підприємства. У разі багатономенклатурного виробництва впроваджується система швидкої переналадки обладнання, що дозволяє скоротити час між зміною виробів.

Таким чином, технологічний процес у листоштампувальному цеху забезпечує високопродуктивне та точне виготовлення великої кількості металевих деталей, які є базовими елементами для подальшого складання машинобудівної продукції.

1.2 Призначення та область застосування пресу

Кривошипні преси є одними з найпоширеніших видів штампувального обладнання, які використовуються для виконання різноманітних технологічних операцій, таких як пробивання, вирубування, згинання, витяжка, прошивання та формозміна листового металу. Зокрема, преси з С-подібною станиною і номінальним зусиллям 1 МН (1000 кН) належать до універсального обладнання середнього класу потужності та широко застосовуються в серійному і масовому виробництві.

С-подібна станина характеризується відкритою конструкцією, що забезпечує легкий доступ до робочої зони преса з трьох боків. Це суттєво спрощує операції налагодження, встановлення та знімання штампів, а також подачу й вивантаження заготовок, що є важливою перевагою під час організації автоматизованих та напівавтоматизованих ліній. Крім того, така

конфігурація дозволяє легко інтегрувати прес у технологічні потоки з використанням подаючих пристроїв, транспортерів та маніпуляторів.

Кривошипний прес із С-подібною станиною зусиллям 1 МН здатен працювати зі сталевими, алюмінієвими, мідними та іншими кольоровими сплавами в межах товщини матеріалу до 4–6 мм (залежно від операції). Найчастіше він використовується в таких галузях промисловості:

- **Машинобудування** – виготовлення деталей кузовів, кріпильних елементів, пластин, скоб, елементів кронштейнів та корпусів;
- **Автомобілебудування** – виробництво конструктивних елементів підвісок, амортизаторів, елементів трансмісії та обшивок;
- **Побутова техніка** – формування корпусів і панелей приладів, штампування монтажних пластин, кріплень;
- **Електротехнічна промисловість** – виготовлення контактних пластин, клем, шин та елементів електрошкафів;
- **Металообробка та інструментальне виробництво** – штампування заготовок під подальше фрезерування, шліфування чи термообробку.

Основними перевагами таких пресів є: компактність, висока точність ходу повзуна, можливість налаштування робочого ходу, сумісність з різними видами штампів, а також висока продуктивність при повторюваних операціях. Проте характерною особливістю С-подібної станини є її відносно низька жорсткість у порівнянні з двостійковими або рамними конструкціями, що обмежує їх використання при великих ексцентричних навантаженнях.

Таким чином, кривошипний прес із С-подібною станиною зусиллям 1 МН є ефективним засобом механізації штампувальних процесів у промисловості, особливо при потребі в гнучкості організації виробництва, швидкому переналагодженні та відносно середніх зусиллях деформування.

Кривошипний прес типу КД2130 є універсальним і призначеним для виконання широкого спектра розділювальних і формоутворювальних операцій холодного листового штампування. До основних розділювальних операцій належать (рис.1.1) : а) відрізання — повне поділ заготовки; б)

розрізання з утворенням відходу — часткове видалення металу; в) розрізання без відходу — поділ без вилучення матеріалу; г) вирубування — видалення частини матеріалу у формі деталі; д) надрізання — часткове розділення без повного відокремлення; е) проколювання — утворення наскрізного отвору; ж) пробивання — формування отвору з заданою геометрією; з) обрізання — видалення зайвого матеріалу по периметру; и) зачищення — остаточна обробка краю; к) висікання — видалення складної геометричної частини; л) просікання — локальне формування отвору без вилучення металу.

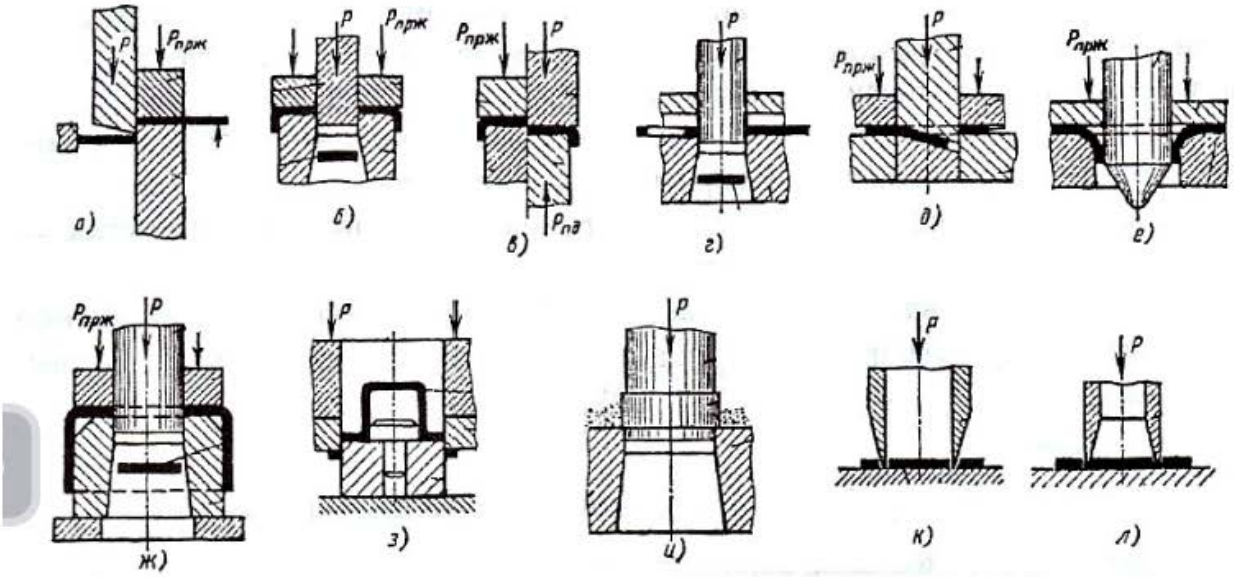


Рисунок 1.1 – Розділові операції

Окрім того, преси здатні виконувати основні формозмінювальні операції (рис.1.2), серед яких: а) згинання — зміна форми заготовки під певним кутом; б) завивання — обкочування або загинання краю у кільце; в) калібрування — уточнення геометричних розмірів; г) правлення — усунення викривлень; д) витяжка — витягування металу в об'ємну форму; е) витяжка з утоненням — формування з одночасним зменшенням товщини стінки; ж) комбінована витяжка — поєднання витяжки з іншими деформаційними процесами; з) відбортовка — утворення буртів; и) роздача — розширення отворів або частин; к) обтиснення — ущільнення металу; л) рельєфне формування —

створення опуклостей або втиснень; м) закатка — згортання країв або утворення замкнених форм; н) чеканка — високоточна або декоративна деформація; о) скручування — торсійне деформування частин заготовки.

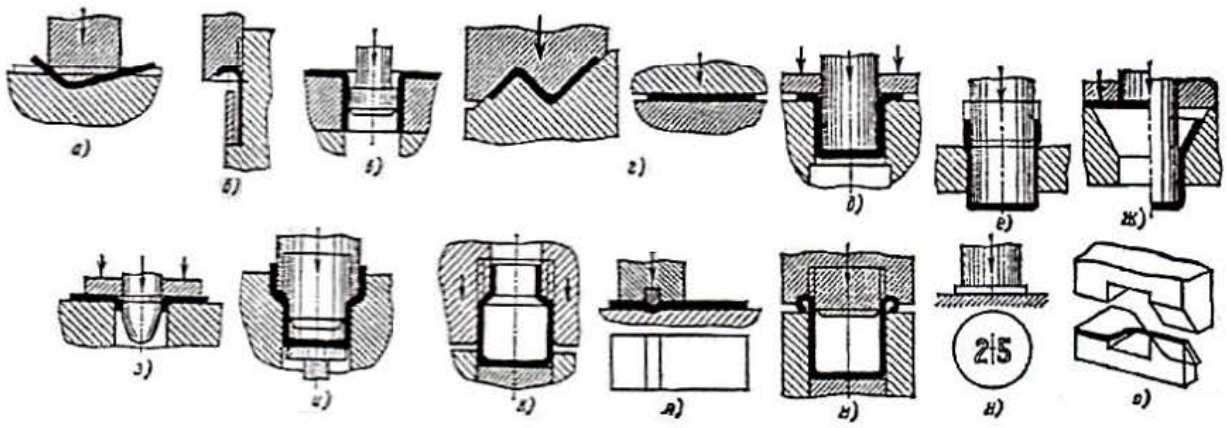


Рисунок 1.2 – Формозмінюючі операції

Варто зазначити, що розміри деталей і точність їх виготовлення обмежуються рядом технічних параметрів преса, а саме: розмірами штампового простору та ходом повзуна; максимально допустимим зусиллям, яке сприймає повзун; величиною роботи технологічної операції за один хід при обраній частоті включень. Категорично заборонено виконувати на пресах операції, зусилля або енергетичні характеристики яких перевищують допустимі межі — це може спричинити аварійні ситуації або поломку обладнання.

1.3 Принцип дії та технічна характеристика пресу

Кривошипний прес є механічною машиною, в основі роботи якої лежить система приводів, що складається з валів та передавальних механізмів – клинопасової та зубчастої передач. Обертальний момент, який створюється електродвигуном і маховиком, передається на головний вал за допомогою фрикційної муфти. Далі цей обертальний рух через кривошипно-шатунний

механізм перетворюється у зворотно-поступальний рух повзуна, що забезпечує виконання технологічних операцій штампування.

Прес моделі КД2130 з жорстко закріпленою (непохилою) С-подібною станиною призначений для виконання штампувальних операцій «на провал», а також інших видів розділового або формозмінювального штампування, де потрібне зусилля до 1000 кН (100 тонн). Завдяки простій та жорсткій конструкції цей тип преса надійний у роботі й забезпечує високу точність при виконанні повторюваних операцій.

Ось цілісний текст з адаптацією для дипломного проєкту українською мовою, у формі опису конструкції та технічних характеристик преса з позиціями:

Прес із С-подібною станиною номінальним зусиллям 1000 кН складається з основних вузлів: станини, приводу, повзуна, електрообладнання, систем змащування та системи керування.

1. Станина — литий чавунний елемент С-подібної форми, відлитий єдиним блоком разом із робочим столом. У нижній частині станини передбачена можливість встановлення пневматичної подушки для видалення деталей із нижньої половини штампа.

2. Привід пресів зусиллям до 1000 кН — одноступінчастий,. Передача зусилля здійснюється через клинопасову та зубчасту передачі.

3. Повзун — литий чавунний коробчастої форми, переміщується по призматичних напрямних, установлених на станині. З'єднання ползуна з ексцентриковим валом виконується за допомогою роз'ємного шатуна. Міжштамповий простір регулюється гвинтом і фіксується стопорними втулками; положення визначається за допомогою лінійки, закріпленої на станині. Повзун урівноважується двома пневмоциліндрами. Для захисту від перевантаження застосовується зрізна шайба. Деталі з верхньої половини штампа видаляються за допомогою жорсткого механічного виштовхувача. Верхня половина штампа кріпиться до ползуна за допомогою хвостовика.

4. Регулювання ходу повзуна здійснюється шляхом обертання ексцентрикової втулки, що входить у зачеплення з ексцентриковим валом. На лівому кінці ексцентрикового вала встановлено командоапарат.

5. Механізм зчеплення — багатодискова фрикційна муфта, об'єднана з гальмом у жорстку конструкцію. Увімкнення муфти здійснюється електропневматично через здвоєний триходовий клапан.

6. Система керування — кнопкова, з можливістю керування також педаллю. Передбачені режими наладки, автоматичного циклу, а також одиночного ходу.

7. Система змащення — рідинна, циркуляційна, автоматизована, що забезпечує безперервне змащення вузлів тертя.

Технічні характеристики преса:

- Номінальне зусилля, МН — 1,0
- Хід ползуна, мм:
  - максимальний — 130
  - мінімальний — 10
- Частота неперервних нерегульованих ходів, $хв^{-1}$ — 100
- Розмір стола, мм — 950×630
- Отвір у столі, мм:
  - зліва направо — 420
  - спереду назад — 280
  - діаметр — 360
- Виліт (відстань від осі ползуна до станини), мм — 340
- Максимальна відстань між столом і ползуном у нижньому положенні при найбільшому ході, мм — 400
- Світла відстань між стійками станини, не менше, мм — 400
- Діапазон регулювання міжштампового простору, мм — 100
- Товщина підштампової плити, мм — 100
- Максимальна кількість ходів у режимі одиночного ходу, $хв^{-1}$ — 45
- Потужність головного електродвигуна, кВт — 9

- Габаритні розміри, мм — 1850×1555×2725
- Маса преса, кг — 6950.

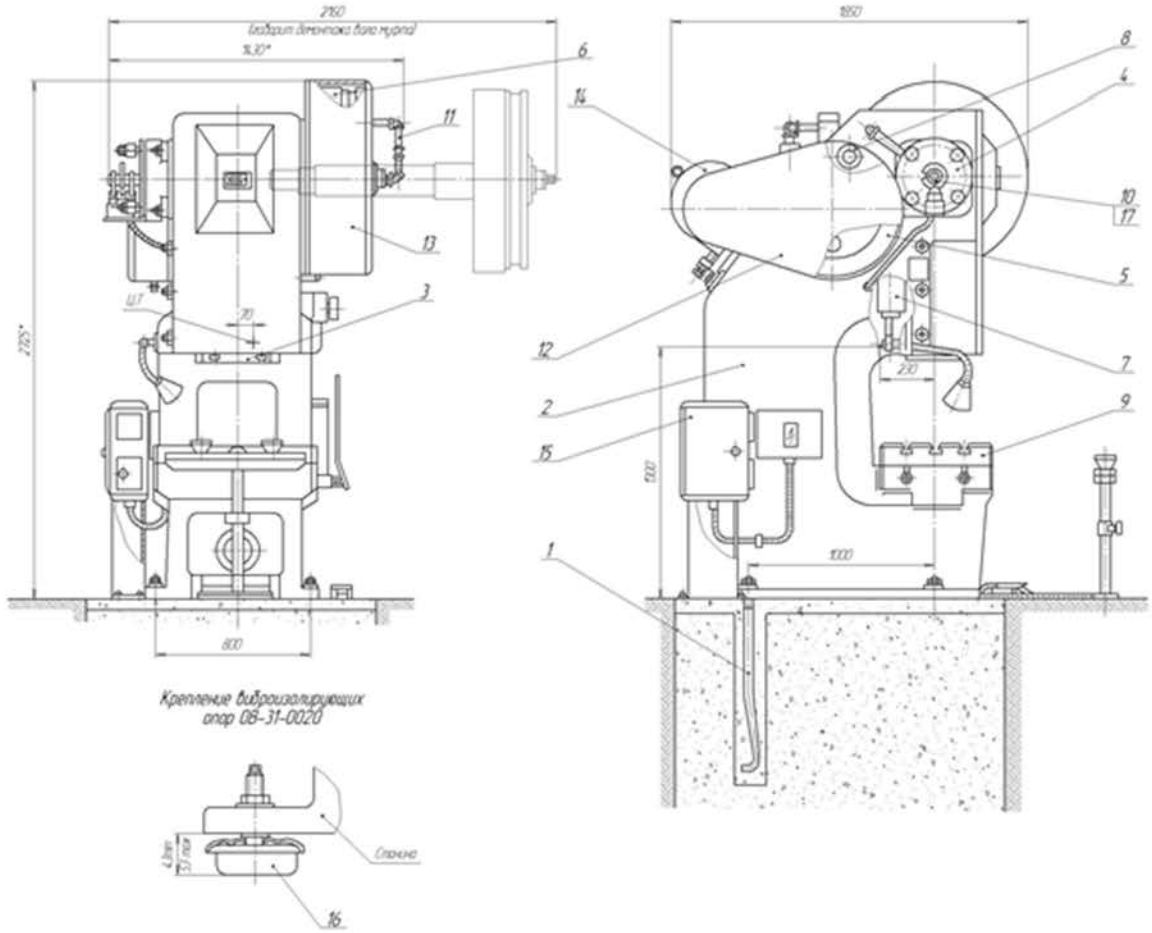
Загальний вид пресу представлений на рис. 1.3 та 1.4.



Рисунок 1.3 – Прес кривошипний К2130



Рисунок 1.3 (продовження) – Прес кривошипний К2130



1-заземлення, 2 –станина, 3 – повзун, 4 – гальмо, 5 – колесо, 6 – муфта, 7 – врівноважувач, 8 – відвід, 9 – стіл, 10 – вісь, 11 – повітрепровід, 12, 13 – кожух, 14 – двигун, 15 – ресивер, 16 – опора,17 - шайба

Рисунок 1.4 – Загальний вид пресу 2130

Ось глибоко переформульований текст українською мовою, з описом принципу дії кривошипного преса без позицій, у стилі, придатному для включення до дипломної роботи:

Принцип дії кривошипного преса

Кривошипний прес функціонує на основі перетворення обертального руху електродвигуна в поступальний рух ползуна, необхідний для виконання штампувальних операцій. Привід преса реалізується за допомогою електродвигуна, який встановлюється безпосередньо на корпусі машини. Обертання від вала двигуна передається на маховик через клинопасову передачу. Маховик виконує функцію накопичення енергії та її стабілізації в системі, забезпечуючи рівномірну роботу обладнання.

З маховика крутний момент передається на головний (ексцентриковий) вал преса. При його обертанні створюється зворотно-поступальний рух ползуна, що досягається за допомогою кривошипно-шатунного механізму. Ползун виконує робочий хід, здійснюючи контакт із верхньою половиною штампа, та повертається у вихідне положення.

У конструкції ползуна передбачено механізм регулювання закритої висоти, який дає змогу точно виставляти положення штампа залежно від висоти заготовки. Цей механізм особливо важливий при монтажі та налагодженні штампувального інструменту.

Для забезпечення стабільності та точності роботи, а також уникнення перекосів, у пресі застосовано систему врівноваження ползуна, яка компенсує дію його маси та сили інерції під час зворотно-поступального руху. Виштовхування готової деталі з верхньої половини штампа здійснюється за допомогою вмонтованого жорсткого механічного виштовхувача, що приводиться в дію окремим механізмом.

Муфта зчеплення, що відповідає за передавання обертання з привода на головний вал, є багатодисковою фрикційною конструкцією. Її керування

здійснюється через електропневматичну систему, яка забезпечує перемикання режимів роботи: налагоджувального, одиночного або автоматичного циклу.

Окремим елементом системи безпеки та контролю руху є гальмо, розміщене на головному валу. Воно зупиняє обертання приводу після завершення робочого циклу або у випадку аварійної зупинки. Нижня половина штампа закріплюється на робочому столі преса, який є жорстко інтегрованим із литою станинною конструкцією.

Таким чином, узгоджена робота всіх механізмів забезпечує надійну, стабільну та безпечну експлуатацію кривошипного преса при виконанні широкого спектра штампувальних операцій.

1.4 Аналіз конструктивних особливостей та недоліків конструкцій обладнання

Кривошипні преси з С-подібною станинною конструкцією широко використовуються у штампувальному виробництві завдяки простоті обслуговування, відкритому робочому простору та компактності. Станина такого типу, як правило, відливається з чавуну або сталі як монолітна конструкція, що поєднує стіл і вертикальні елементи в єдине ціле. Вона виконує функцію несучого елемента, що сприймає навантаження, яке виникає під час штампування.

Попри свою поширеність, С-подібна форма станини має низку суттєвих недоліків, які обмежують її ефективність і довговічність. Основна проблема — недостатня жорсткість конструкції в поперечному напрямку. У процесі роботи, особливо при штампуванні з високими зусиллями (до 1 МН), така станина схильна до деформацій у вигляді прогину або зсуву, що призводить до перекосу ползуна, нерівномірного навантаження на штамп і зниження точності обробки деталей.

Ще одним суттєвим недоліком є схильність до утворення мікротріщин у зонах концентрації напружень, особливо в кутах перерізів та місцях переходу від

горизонтальних до вертикальних елементів. Через це знижується ресурс станини та підвищується ризик аварійної відмови обладнання. Також спостерігається зменшення стабільності роботи преса при високій частоті ходів, коли вібрації та ударні навантаження значно впливають на геометричну точність з'єднань.

Існуючі конструкції не передбачають ефективних засобів для компенсації деформацій, що унеможливлює якісне штампування у відповідальних технологічних операціях, зокрема при витяжці або калібруванні. Усе це обґрунтовує доцільність модернізації саме станини як одного з критично важливих елементів конструкції преса.

До напрямів модернізації можуть належати:

- підсилення жорсткості за рахунок зміни геометрії перерізу або введення ребер жорсткості;
- використання сучасних високоміцних матеріалів замість традиційного сірого чавуну;
- впровадження модульної або коробчастої станинної конструкції замість монолітної;
- застосування числового моделювання напружено-деформованого стану з метою оптимізації форми станини.

Метою запропонованої модернізації є підвищення жорсткості та стійкості С-подібної станини, зменшення вібрацій та деформацій при навантаженні, що у результаті сприятиме підвищенню точності штампування, зниженню зносу штампового інструменту та продовженню ресурсу роботи преса.

2 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

2.1 Класифікація та характеристика станин кривошипних пресів

Станина є одним із найважливіших конструктивних елементів кривошипного преса, який визначає його технологічні можливості, рівень жорсткості, точності, зручність обслуговування та надійність у процесі експлуатації. Вона виконує роль несучої структури, до якої кріпляться всі вузли та механізми, включаючи повзун, стіл, привід, систему керування та змащування.

Станини кривошипних пресів класифікують за наступними ознаками:

За конструктивним виконанням:

- Відкриті (одностоєчні) — найпоширеніший тип у дрібносерійному та середньосерійному виробництві. Характеризуються легким доступом до штампового простору, але меншою жорсткістю конструкції. Найбільш типовий приклад — С-подібна станина.
- Закриті (двостоєчні або портальні) — мають підвищену жорсткість, використовуються для роботи при великих зусиллях та високій точності. Забезпечують кращу стабільність взаємного положення повзуна і стола.

За способом виготовлення:

- Литі станини — виготовляються з сірого (СЧ20–СЧ40) або високоміцного чавуну, рідше зі сталі. Відрізняються добрим поглинанням вібрацій, проте мають більшу масу.
- Зварні станини — виготовляються зі сталевого прокату (Ст3, 09Г2С). Вони легші, дозволяють зменшити металоємність та спрощують модернізацію, проте поступаються литим за віброізоляційними властивостями.

За орієнтацією повзуна:

- Вертикальні — найбільш розповсюджені в промисловості.
- Горизонтальні — застосовуються для специфічних технологічних процесів, наприклад, у штамповках деталей великої довжини.

С-подібні станини (відкритого типу) мають форму відкритої рами, що нагадує літеру «С», з розміщенням стола в нижній частині і напрямними для повзуна у верхній. Таке конструктивне рішення забезпечує зручний доступ до штампового простору з трьох сторін, що особливо важливо при налагодженні, заміні інструменту чи вилученні деталі.

Основні переваги С-подібної станини:

- Простота виготовлення та обслуговування;
- Компактність конструкції;
- Зручність інтеграції у виробничі лінії;
- Порівняно низька маса.

Однак С-подібні станини мають серйозний недолік — низьку жорсткість при дії нецентрованих навантажень. У процесі штампування можливий перекіс повзуна, що призводить до нерівномірного зношування штампового інструменту та зниження якості продукції. Через це в таких пресах обмежується допустима сила штампування, а також підвищуються вимоги до жорсткості та симетрії навантаження.

Зварні станини виготовляються з прокатних сталевих профілів (швелерів, двотаврів, листів) методом зварювання. Таке конструктивне рішення дозволяє спростити виробництво станини, зменшити її масу та прискорити виготовлення, особливо при одиничному або дрібносерійному випуску пресів.

Переваги зварних станин:

- Можливість швидкої адаптації конструкції під специфічні вимоги замовника;
- Зниження металоємності;
- Відсутність необхідності у складному литті великих чавунних елементів;
- Зручність обробки та транспортування окремих частин станини;
- Вища ремонтопридатність (можливість заміни чи підсилення окремих елементів).

Недоліки зварних станин:

- Нижча віброізоляція порівняно з литими варіантами;

- Необхідність високої точності зварювання, щоб уникнути залишкових напружень і деформацій;
- Обмеження в складних просторових формах, які простіше реалізувати литвом.

Зварні станини найчастіше використовують у потужних закритих пресах, де потрібна висока жорсткість, а також у модернізованих версіях старих моделей обладнання, де замість литої станини застосовують зварну як заміну.

Станини закритого типу, або портальні, мають вигляд жорсткої рами, що замикається з обох боків. Основною конструктивною особливістю є наявність двох вертикальних стійок, з'єднаних знизу і зверху поперечинами, що створює повноцінну портальну конструкцію.

Такі станини застосовуються у важких і надпотужних кривошипних пресах, де необхідна висока точність і мінімальні прогини навіть при дуже великих зусиллях штампування.

Переваги станин закритого типу:

- Висока просторово-об’ємна жорсткість;
- Мінімальні прогини та перекоси при роботі;
- Можливість багатопозиційної обробки (наприклад, використання багатоповзунних систем);
- Висока точність і повторюваність положення повзуна.

Недоліки:

- Ускладнений доступ до штампового простору (особливо з боків);
- Складніше налагодження та обслуговування інструменту;
- Більші габарити і маса в порівнянні з відкритими станинами;
- Вища вартість виготовлення.

Область застосування:Закриті станини найчастіше використовуються в пресі середнього і великого зусилля, зокрема в автомобілебудуванні, енергетиці, при гарячому штампуванні, а також там, де важлива висока точність та відсутність деформацій корпусу.

Порівняльний аналіз станин різного типу наведений в таблиці 2.1:

Таблиця 2.1 - Порівняльний аналіз станин різного типу

Ознака	С-подібна (відкрита)	Закритого типу (портальна)	Зварна
Жорсткість	Середня	Висока	В залежності від конструкції
Доступ до робочої зони	Максимальний	Обмежений	Залежить від форми
Вартість виготовлення	Помірна	Висока	Нижча за литу
Стійкість до перекосів	Низька	Висока	Може бути підвищена
Віброізоляція	Добра	Дуже добра	Середня
Придатність до модернізації	Обмежена	Ускладнена	Висока
Область застосування	Мала й середня потужність	Висока потужність, точні операції	Універсальна

До сучасних станин кривошипних пресів висуваються наступні основні вимоги:

- Висока жорсткість та міцність, особливо в напрямку зусиль штампування;
- Стійкість до перекосів і вібрацій;
- Забезпечення точності взаємного положення повзуна і стола;
- Мінімальна деформація в процесі роботи;
- Можливість встановлення додаткового обладнання (виштовхувачів, систем змащування, сенсорів);
- Довговічність і надійність у складних умовах експлуатації.

2.2 Загальна методика розрахунку на міцність та жорсткість станини відкритого типу

Конструктивне рішення станини преса формується на основі комплексу технічних вимог, серед яких ключовими є:

- Забезпечення високої точності штампування з урахуванням заданих розмірів робочого простору штампа.
- Простота конструкції та зручність у процесі обслуговування.
- Гарантування точного розташування основних вузлів і деталей при оптимальному рівні жорсткості і міцності.
- Компактність і мінімальна металоємність для зниження ваги та собівартості.
- Економічність виготовлення з урахуванням технологічних особливостей.
- Відповідність вимогам ергономіки та естетичного оформлення.

Цей комплекс вимог накладає специфічний відбиток на конструкцію кожної станини і разом із технологічними умовами експлуатації преса визначає її конструктивну форму та основні параметри для різних типів обладнання.

Зазвичай литі станини виготовляють із сірого чавуну марок СЧ 25, СЧ 40, високоміцного чавуну ВЧ 45–5 або з конструкційної сталі 35Л. Для зварених варіантів використовують сталевий прокат марки Ст3.

Одним із ключових параметрів, що впливають на жорсткість і міцність станини кривошипного преса, є площа поперечного перерізу її стійок. Мінімально допустима площа визначається з урахуванням зусилля пресування, типу станини (одностійкова або двостійкова), а також вильоту — відстані від осі повзуна до передньої стінки станини.

Для попередньої оцінки застосовується емпірична залежність:

$$F_{\min} = k_c P_н, \text{ мм}^2$$

де:

Fmin— мінімально необхідна площа перерізу (мм²);

Рн — номінальне зусилля преса (кН);

kc— коефіцієнт, що залежить від конструкції станини та величини вильоту,мм.

Для сталевих станин, завдяки більш високому модулю пружності та міцності порівняно з чавуном, допустима мінімальна площа поперечного перерізу може бути в 1,5–2 рази меншою, ніж для станин з сірого або високоміцного чавуну.

Форми перетинів стійок литих і зварених станин відкритого типу наведені на рис. 2.1

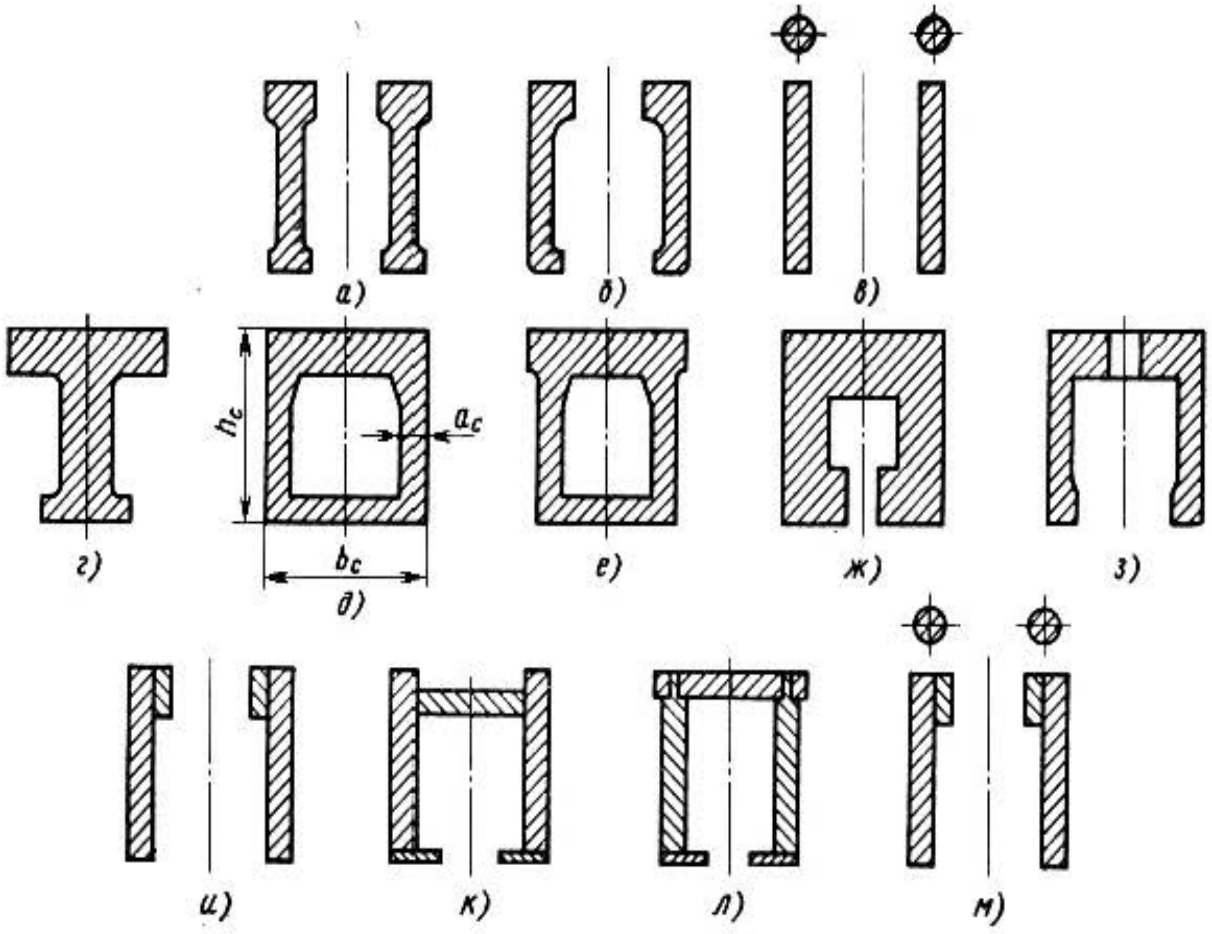


Рисунок 2.1 - Форми перетинів стійок литих і зварених станин відкритого типу

Після визначення мінімальної площі перетину стійки можна перейти до вибору її геометричних параметрів. Контур станини умовно розбивається на окремі ділянки з майже сталими параметрами, і для кожної з них виконується розрахунок.

Висота перетину h_c для двохстоякових станин приймається рівною h_c = (2,3...4)V; для одно стоякових h_c = (2...3,5)V, причому більші значення приймаються для більш великих пресів. Для станин з коробчастим перетином ширина перетину приймається зі співвідношення h_c/b_c = 1...1,7. Товщина бічних стінок a_c визначається по емпіричній формулі $a_c = 0{,}9\sqrt{P_i}$, але не менш 8 мм. Товщина тильної стінки одно стоякової станини звичайно дорівнює товщині бічний, а товщина фронтальної стінки – у 2...3 рази перевищує товщину бічної.

Для визначення напруженого стану конструкції застосовується спрощена розрахункова схема, яка моделює станину як незамкнуту жорстку раму з постійним перетином, на яку діє вертикальне зусилля, прикладене по осі повзуна. Вплив бічних навантажень і зусиль у напрямних зазвичай не враховується через їх відносно малу величину. Нейтральні осі на кожній ділянці приймаються такими, що проходять через центри ваги відповідних перерізів.

Варто зазначити, що відкриті типи станин, незалежно від конструктивного виконання, зазнають нецентральних навантажень у процесі роботи. Це призводить до перекосів напрямних ползуна відносно площини столу, а отже — до перекосу самого ползуна. Тому основна задача розрахунку таких станин полягає в забезпеченні належної міцності та вертикальної жорсткості конструкції при максимальному зменшенні виникаючих перекосів.

Для розрахунку базовим вважається горизонтальний переріз станини на рівні робочої поверхні столу, розміри якого визначаються на початковому етапі проектування. Всі інші силові елементи станини проєктуються, виходячи з параметрів цього перерізу. Вибір розмірів окремих перетинів базується на емпіричних залежностях і статистичних даних, отриманих у процесі багаторічної експлуатації та досліджень.

Розрахункова модель станини спрощено представлена у вигляді незамкнутої рами з постійним перетином, що піддається дії вертикальної сили, спрямованої по осі ползуна. При цьому навантаження на напрямні та горизонтальні складові сил приймаються за незначні й ігноруються. Положення нейтральних осей у перерізах відповідає центру ваги відповідних ділянок конструкції.

Для двостоякової станини згинальні моменти Mi, нормальні сили Ni та поперечні сили Qi визначаються відповідно до аналітичних формул, які враховують геометрію та навантаження, що діють на станину.

$$\begin{gathered} M_1 = M_3 = P_н X; M_2 = M_D = P_н l_3 \sin\phi; M_{b1} = P_н l_1; \\ Q_1 = P_н; Q_2 = 0; Q_3 = P_н \sin\phi; \\ N_1 = 0; N_2 = P_н; N_3 = P_н \cos\phi; \end{gathered} \tag{2.1}$$

де X - відстань від вертикальної осі повзуна до розрахункового перетину станини.

Перевірка міцності станини зазвичай проводиться у 3–4 найбільш критичних перетинах конструкції (рис. 2.2). У цих перетинах визначаються нормальні та дотичні (зрізні) напруження в найвразливіших точках, що дозволяє оцінити запас міцності та стійкість до можливих руйнувань під дією робочих навантажень:

$$\sigma = \frac{N_i}{2F_i} + \frac{M_i y_i}{J_i}, \qquad \tau = \frac{S_i Q_i}{J_i b_i}, \tag{2.2}$$

де N_i, M_i і Q_i – відповідно нормальна сила, згинальний момент і поперечна сила в небезпечному перетину;

F_i – площа поперечного перетину;

y_i – відстань від небезпечної лінії (точки) до нейтральної осі перетину;

J_i – момент інерції площі перетину;

S_i – статичний момент частини площі перетину, що лежить по одну сторону від прямої, що проходить через небезпечну точку і рівнобіжної нейтральної осі перетину;

b_i – ширина перетину в місці розташування небезпечної точки.

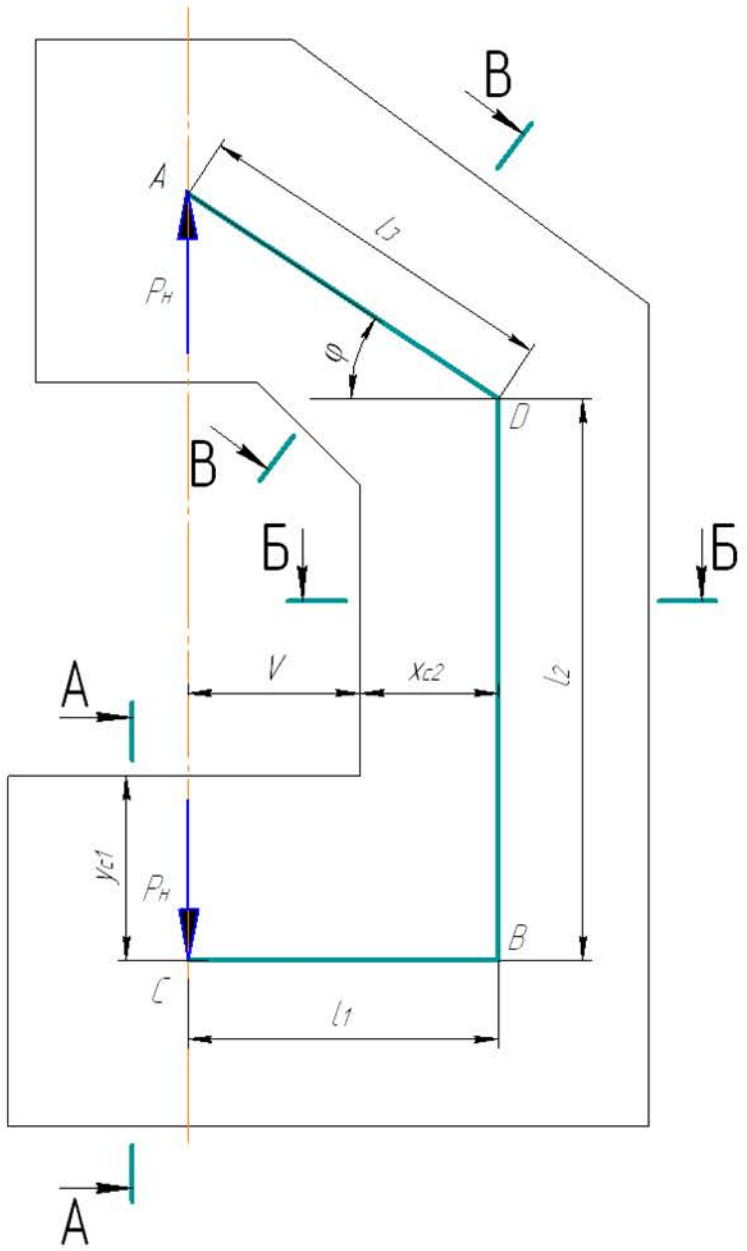


Рисунок 2.2 – Схема до розрахунку станини С-побібного типу

Розтягуючі та стискаючі напруження в небезпечних перетинах визначаються за наступними залежностями:

Перетин А-А:

$$\sigma_{\delta} = \frac{Đ_{\text{і}} \cdot V \cdot y_{c1}}{J_1}; \quad (2.3)$$

$$\sigma_{\text{ñæ}} = \frac{Đ_{\text{і}} \cdot V \cdot (h_1 - y_{c1})}{J_1}. \quad (2.4)$$

Перетин Б-Б::

$$\sigma_{\delta} = \frac{Đ_{\text{і}} \cdot (V + x_{c2}) x_{c2}}{J_2} + \frac{P_{\text{і}}}{F_2}; \quad (2.5)$$

$$\sigma_{\text{сж}} = \frac{P_{\text{н}} \cdot (V + x_{c2})(h_2 - x_{c2})}{J_2} - \frac{P_{\text{н}}}{F_2}. \quad (2.6)$$

- Перетин В-В:

$$\sigma_{\delta} = \frac{Đ_{\text{і}} \cdot l_p \cdot x_{c3}}{J_3} \cos\varphi + \frac{P_{\text{і}}}{F_3} \sin\varphi; \quad (2.7)$$

$$\sigma_{\text{ñæ}} = \frac{Đ_{\text{і}} \cdot l_p (h_3 - x_{c3})}{J_3} \cos\varphi - \frac{P_{\text{і}}}{F_3} \sin\varphi. \quad (2.8)$$

де:

V – виліт станини;

x_{c2}, y_{c1}, x_{c3} – відстань від краю кожного небезпечного перетину до нейтральної лінії;

h_1, h_2, h_3 – найбільша висота відповідних перетинів;

J_1, J_2, J_3 – моменти інерції відповідних перетинів;

F_1, F_2, F_3 – площі поперечного перерізу перетинів;

$l_{\text{р}}$ – плече дії сили відносно центру площі перетину *В-В*.

Для практичного розрахунку міцності та жорсткості станини її контур поділяється на декілька окремих ділянок, у межах яких геометричні характеристики (зокрема площа поперечного перерізу та моменти інерції) вважаються приблизно сталими. Такий підхід дозволяє спростити математичну модель і зробити розрахунки більш наочними й керованими.

У разі, коли на одній із ділянок площа поперечного перерізу або момент інерції змінюються (наприклад, через складну форму профілю чи наявність отворів, фасок, укріплювальних ребер тощо), замість змінних значень використовуються еквівалентні (усереднені) величини. Це дає змогу враховувати вплив змінної геометрії без ускладнення розрахункової схеми. Еквівалентні значення визначаються на основі принципу збереження механічних властивостей — таких як опір згину, жорсткість або момент опору — що забезпечує достатню точність результатів при інженерних розрахунках.

Еквівалентні площі поперечного пертину:

$$F_э = \frac{l_э}{l_1/F_1 + l_2/F_2 + \cdots + l_n/F_n} = \frac{l_э}{\sum_{i=1}^{n}\left(l_i/F_i\right)}, \tag{2.9}$$

Еквівалентні моменти інерції:

$$J_э = \frac{J_1 l_1 + J_2 l_2 + \cdots + J_n l_n}{l_1 + l_2 + \cdots + l_n} = \frac{\sum_{i=1}^{n} J_i l_i}{\sum_{i=1}^{n} l_i}, \tag{2.10}$$

де $F_э$, $J_э$ – відповідно площа і момент інерції еквівалентної ділянки перетину;

$l_э$ – довжина еквівалентної ділянки (довжина чи стійки столу);

l_i, F_i, J_i – відповідно довжина, площа і момент інерції i-го перетину розглянутої ділянки.

Розрахунок окремих ділянок виконується послідовно від початкової методом підсумовування переміщень і кутів поворотів.

Знайдені значення напруження порівнюються з допустимими.

Для станини стрілка прогину консолі столу становить

$$\Delta_1 = \frac{P_н(V + x_{c1})^3}{3EJ_1} + \lambda_1 \frac{Q(V + x_{c1})}{GF_1}, \tag{2.11}$$

а кут повороту цієї частини станини

$$\theta_1 = \frac{P_н(V + x_{c1})^2}{2EJ_1}. \tag{2.12}$$

Подовження другої дільниці станини буде

$$\Delta_2 = \frac{P_i l_2}{EF_2}, \tag{2.13}$$

Кут повороту становить

$$\theta_2 = \frac{Ð_i(V + x_{c1})l_2}{2EJ_2}. \tag{2.14}$$

Переміщення на третій ділянці складається з деформації розтягування

$$\Delta_{3p} = \frac{P_н l_3}{EF_3}\sin^2\varphi, \tag{2.15}$$

та деформації вигину

$$\Delta_{3è} = \frac{P_i l_3^3}{3EJ_3}\cos^2\varphi + \lambda_3 \frac{P_i l_3}{GF_3}\cos^2\varphi. \tag{2.16}$$

Кутове переміщення на цій дільниці не визначається.

Загальне переміщення визначається як

$$\Delta_{AC} = \Delta_1 + l_1\theta_2 + \Delta_2 + \Delta_{3p} + \Delta_{3u} + l_3\theta_2 \cos\varphi, \tag{2.17}$$

а загальна кутова деформація буде

$$\theta_{AC} = \theta_1 + 2\theta_2. \tag{2.18}$$

Вертикальні і кутові переміщення визначаються по наступним залежностях:

$$\Delta_{AC} = \int_{l_{AC}} \frac{P_н x^2}{EJ} dl + \int_{l_{AC}} \frac{\lambda P_н \sin^2\phi}{GF} dl + \int_{l_{AC}} \frac{P_н \cos^2\phi}{EF} dl; \tag{2.19}$$

$$0\theta_{AC} = \int_{l_{AC}} \frac{P_н x}{EJ} dl. \tag{2.20}$$

У формулах (2.11)–(2.20) позначено:

λ_i – коефіцієнти форми перетину $\lambda_i = \frac{F_i S_i}{J_i b_i}$; для прямокутних перетинів λ_i = 1,2-1,5; Коефіцієнти форми λ_1, λ_2 і λ_3 приймаються максимальними для розглянутої ділянки;

b_i – ширина перетину;

S_i – статичний момент щодо нейтральної осі частини площі перетину, розташованої з однієї сторони цієї осі;

J_i, F_i – відповідно, момент інерції і площа поперечного перерізу;

i – номер перетину;

E – модуль пружності;

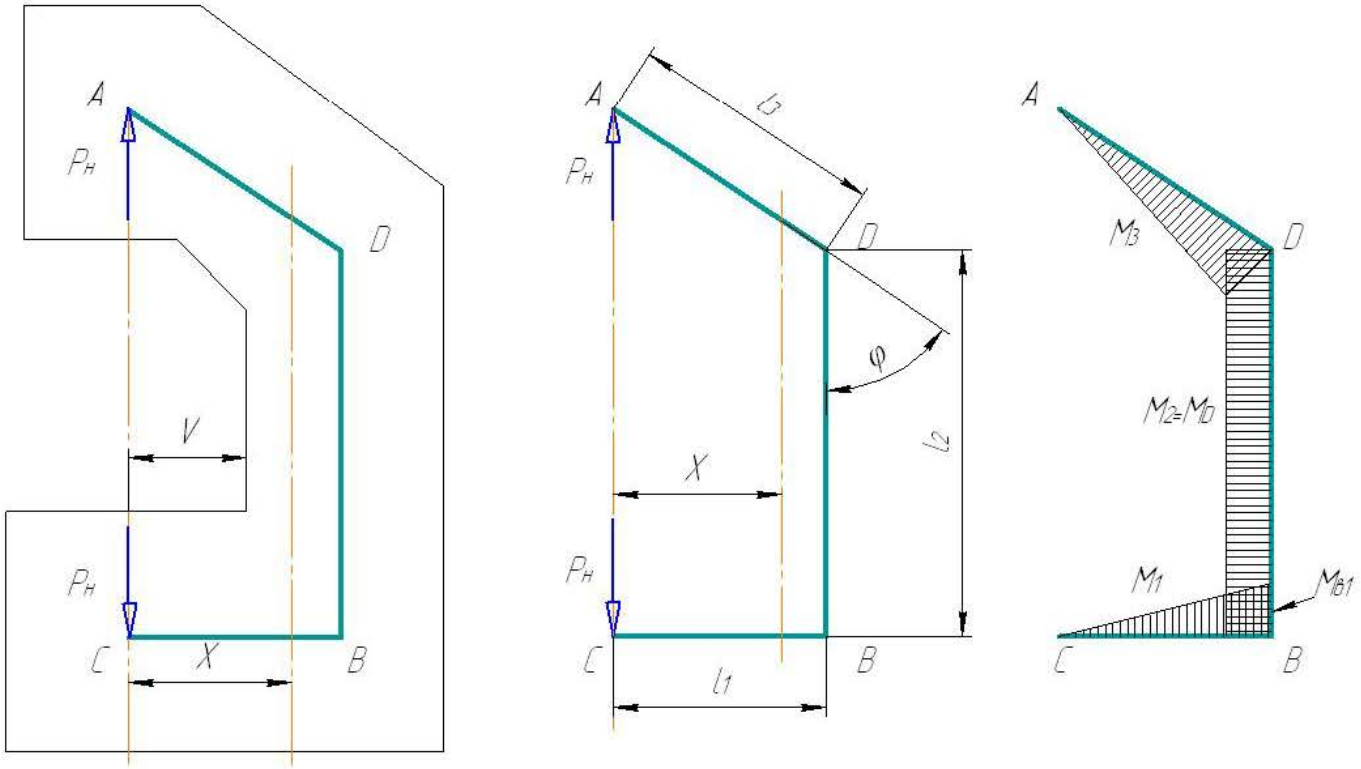
G – модуль зрушення;

l_{AC} – довжина кривої AC;

dl – елемент довжини кривої AC.

2.3 Розрахунок станини пресу К2130 на міцність та жорсткість

Станина відкритого листоштампувального преса зусиллям 1,0 МН виконана двостояковою, звареною з листів. Розрахункова схема станини показана на рис. 2.3.



а) *б)* *в)*

Рисунок 2.3 - Конструктивні (*а*), розрахункові (*б*) схеми станини й епюри згинальних моментів (*в*)

Небезпечні перетини станини показані на рис.2.4. Геометричні параметри перетинів :

<u>перетин А-А</u>

- *площа перетину F_A – 1773 см^2;*
- *момент інерції перетину J_A – 993857 см^4;*
- *відстань від краю до нейтральної лінії y_{cA} – 39,19 см;*

<u>перетин Б-Б</u>

- *площа перетину $F_Б$ – 1650 см^2;*

- *момент інерції перетину $J_Б$ – 2490315 см^4;*
- *відстань від краю до нейтральної лінії $x_{cБ}$ – 55 см;*

перетин В-В

- *площа перетину $F_В$ – 2300 см^2;*
- *момент інерції перетину $J_В$ – 6844000 см^4.*

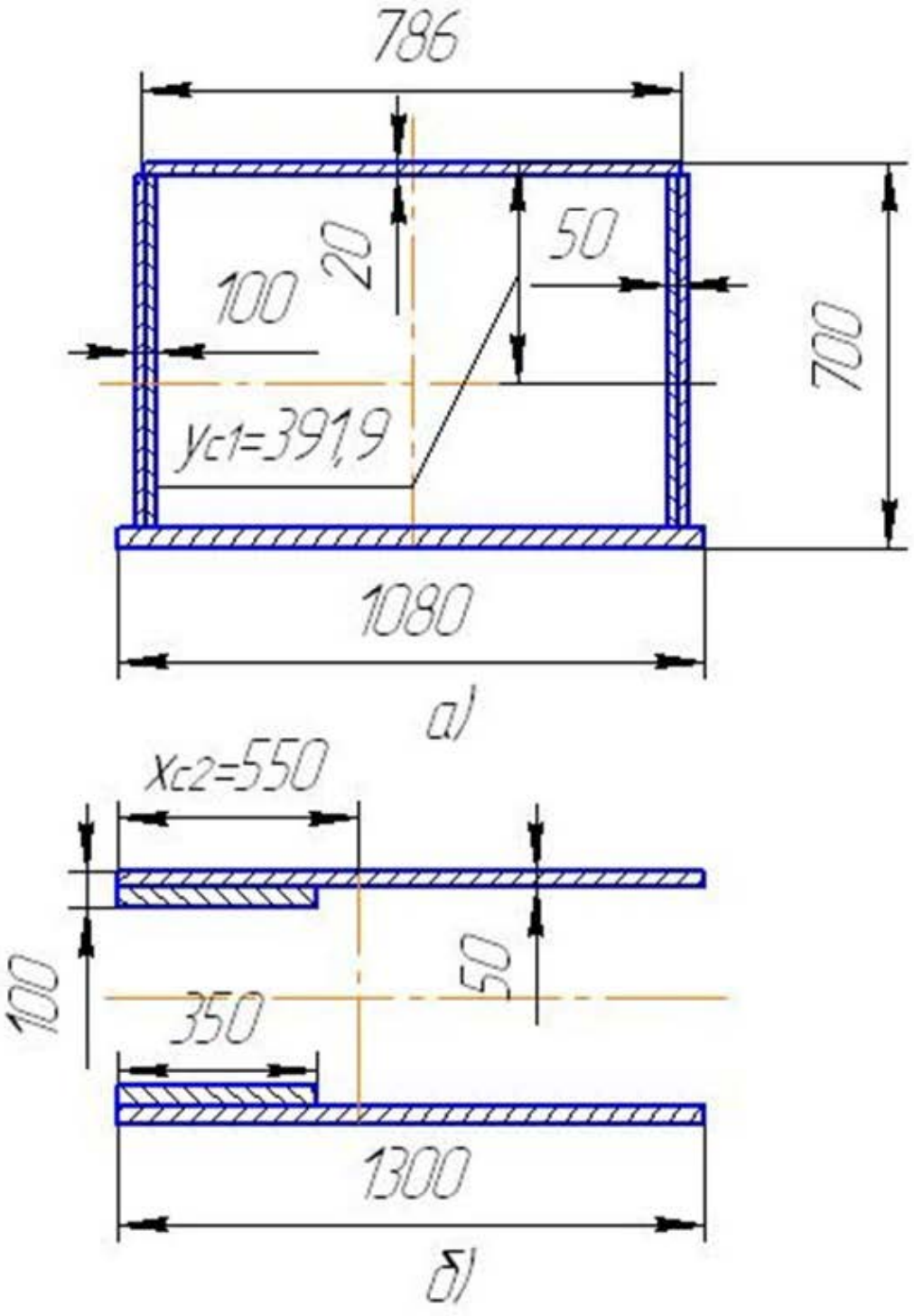


Рисунок 2.4 - Небезпечні перетини станини

Визначимо максимальні напруження в небезпечних перетинах.

Перетин А-А:

• напруження розтягування

$$\sigma_{pA} = \frac{2{,}5 \cdot 10^6 \cdot 40 \cdot 39{,}19}{993857} \cdot 10^{-2} = 39{,}432 МПа;$$

• напруженя стискання

$$\sigma_{cA} = \frac{2{,}5 \cdot 10^6 \cdot 40 \cdot (70 - 39{,}19)}{993857} \cdot 10^{-2} = 31 МПа;$$

Перетин Б-Б

• напруження розтягування

$$\sigma_{pБ} = \frac{2{,}5 \cdot 10^6 \cdot (40 + 55) \cdot 55}{2490315} 10^{-2} + \frac{2{,}5 \cdot 10^6}{1650} \cdot 10^{-2} = \\ = 67{,}605 МПа;$$

• напруження стискання

$$\sigma_{cБ} = \frac{2{,}5 \cdot 10^6 \cdot (40 + 55) \cdot (130 - 55)}{2490315} 10^{-2} - \frac{2{,}5 \cdot 10^6}{1650} \cdot 10^{-2} = \\ = 56{,}376 МПа.$$

Перетин В–В, завдяки найбільшим геометричним параметрам (площі перерізу та моменту інерції), має значно вищу міцність порівняно з іншими критичними перетинами конструкції. Це дозволяє припустити, що саме інші, менш масивні ділянки станини є більш вразливими з точки зору міцності та деформацій.

Оскільки межа міцності сталі марки Ст3 становить у межах 60–70 МПа, результати розрахунків свідчать, що допустимі значення нормальних напружень у конструкції не перевищуються. Таким чином, по нормальних напруженнях міцність станини забезпечується з достатнім запасом.

У результаті розрахунків деформацій установлено, що поздовжні та кутові деформації по окремих дільницях станини перебувають у межах допустимих значень. Це підтверджує прийнятність геометричної схеми та відповідність станини вимогам по жорсткості, що особливо важливо для збереження точності штампування і довговічності інструменту.

Кутові деформації:

$$\theta_1 = \frac{2{,}5\cdot 10^6 \cdot (40+55)^2}{2\cdot 2{,}1\cdot 10^7 \cdot 993857} = 5{,}405\cdot 10^{-4}\ рад;$$

$$\theta_2 = \frac{2{,}5\cdot 10^6 \cdot (40+55)\cdot 110}{2\cdot 2{,}1\cdot 10^7 \cdot 2490315} = 2{,}498\cdot 10^{-4}\ рад.$$

Повздовжні деформації:

$$\Delta_1 = \frac{2{,}5\cdot 10^6 \cdot (40+55)^3}{3\cdot 2{,}1\cdot 10^7 \cdot 993857} + \frac{1{,}5\cdot 2{,}5\cdot 10^6 \cdot (40+55)}{8\cdot 10^6 \cdot 1773} = 0{,}059\ см;$$

$$\Delta_2 = \frac{2{,}5\cdot 10^6 \cdot 110}{2{,}1\cdot 10^7 \cdot 1650} = 7{,}937\cdot 10^{-3}\ см;$$

$$\Delta_{3в} = \frac{2{,}5\cdot 10^6 \cdot 146}{2{,}1\cdot 10^7 \cdot 2300}\sin^2 40 = 3{,}122\cdot 10^{-3}\ см;$$

$$\Delta_{3и} = \frac{2{,}5\cdot 10^6 \cdot 146^3}{3\cdot 2{,}1\cdot 10^7 \cdot 6844000}\cos^2 40 + \frac{1{,}5\cdot 2{,}5\cdot 10^6 \cdot 146}{8\cdot 10^6 \cdot 2300}\cos^2 40 =$$
$$= 0{,}028\ см.$$

Загальна кутова деформація:

$$\theta_{сум} = (5{,}405 + 2\cdot 2{,}498)\cdot 10^{-4} = 1{,}04\cdot 10^{-3}\ рад.$$

Загальна повздовжня деформація дорівнює:

$$\Delta_{сум} = 0{,}059 + 7{,}937 \cdot 10^{-3} + 3{,}122 \cdot 10^{-3} + 0{,}028 +$$
$$2{,}498 \cdot 10^{-4} \cdot 95 + 2{,}498 \cdot 10^{-4} \cdot \cos 40 = 0{,}15\, см.$$

2.4 Пропозиції щодо модернізації станини с-побідного типу

Для підвищення жорсткості, стійкості та довговічності преса пропонується модернізувати традиційну С-подібну станину шляхом переходу від монолітної литої конструкції до модульної коробчастої станини із вбудованими ребрами жорсткості.

Суть модернізації

1. Коробчаста конструкція станини. Замість традиційної порожнистої або литої С-подібної форми використовується зварна або збірна коробчаста рама з товстостінних сталевих листів, з'єднаних між собою жорсткими ребрами. Така конструкція суттєво збільшує жорсткість у напрямках, критичних для преса, і запобігає прогинам і деформаціям під час дії великих сил.

2. Вбудовані ребра жорсткості та розпірки. Усередині станини розміщуються спеціальні ребра жорсткості, які рівномірно розподіляють навантаження та підвищують опір скручуванню та вигину. Це дозволяє знизити концентрації напружень у критичних зонах, що підвищує ресурс роботи і безпеку конструкції.

3. Використання високоміцної сталі. Для виготовлення модернізованої станини застосовуються леговані високоміцні сталі, які мають вищу механічну міцність та кращу втомну стійкість, ніж традиційний чавун. Це зменшує масу конструкції при збереженні або покращенні її характеристик.

4. Оптимізація геометрії за допомогою числового моделювання За допомогою методів кінцевих елементів (МКЕ) проводиться розрахунок напружено-деформованого стану станини під робочими навантаженнями. Це

дозволяє оптимізувати розміщення ребер, товщину стінок та форму станини для мінімізації деформацій і рівномірного розподілу напружень.

5. Модульність і ремонтопридатність. Збірна коробчаста конструкція дає змогу в разі необхідності швидко замінювати або ремонтувати окремі модулі станини без демонтажу всього преса, що скорочує час простою і знижує експлуатаційні витрати.

Очікувані переваги

- Значне підвищення жорсткості станини, що дозволить зменшити перекоси повзуна та підвищити точність штампування.
- Зниження динамічних вібрацій та зменшення впливу ударних навантажень.
- Подовження ресурсу роботи станини та всього преса завдяки зниженню концентрацій напружень і застосуванню більш міцних матеріалів.
- Покращення ергономіки обслуговування та скорочення часу налагодження за рахунок модульної конструкції.
- Можливість адаптації під різні виробничі задачі завдяки гнучкості у конструкції.

Цей варіант модернізації є доцільним кроком для підвищення надійності та якості роботи кривошипних пресів із С-подібною станиною, особливо в умовах зростаючих технологічних вимог і навантажень.

2.5 Розрахунок потужності двигуна та моменту інерції маховика універсального відкритого листоштампувального одно кривошипного преса зусиллям 1 МН.

Початкові дані:

Номінальне зусилля преса $P_н$, МН		– 1;
Номінальний хід повзуна $S_н$, мм		– 130;
Число ходів повзуна за хвилину $n_н$		– 100;
Коефіцієнт використання числа ходів ри	–	0,35;
Кут робочого ходу $\alpha_р$,град		– 20;

Робота робочого ходу $A_р$, Дж – 5500.

Рішення

1. Потужність двигуна

Робота вмикання фрикційної муфти і робота холостого переміщення механізмів преса визначаються по формулі:

$$A_{в(х)} = k_{в(х)} P_н S_н, \quad (2.21)$$

де $k_{в(х)}$ – коефіцієнти, прийняті за даними таблиці 4.1[1] у залежності від типу преса.

$$A_в = 0{,}017 \cdot 10^6 \cdot 0{,}13 = 2210 Дж; A_х = 0{,}035 \cdot 10^6 \cdot 0{,}13 = 4550 Дж.$$

Коефіцієнти $k_в$ і $k_х$ прийняті по таблиці 4. 1[1] рівними $k_в$=0,017, $k_х$=0,035.

Прес має тільки одну клиногfcjde передачу, тому загальний ККД дорівнює ККД передач між двигуном і муфтою і прийнятий 0,97.

Час технологічного циклу приблизно визначається при обраному коефіцієнті використання ходів $р_и$, що являє собою відношення часу одного подвійного ходу $t_{дх}$ до часу циклу $t_ц$, по формулі^

$$t_ц = \frac{t_{дх}}{p_и} = \frac{60}{n_н p_и}. \quad (2.22)$$

Середні значення коефіцієнта $р_и$ приведені в таблиці 4.[1]7. При роботі преса безупинними ходами, а також для пресів-автоматів коефіцієнт $р_и$ = 1.

Маємо:

$$t_ц = \frac{60}{100 \cdot 0{,}35} = 1{,}714 с.$$

При числі вмикань преса $n_в=n_н*p_и=100*0,35=35$ за хв по табл. 4.6 [1] коефіцієнт запасу k=1,2, а номінальне сковзання двигуна $S_н=0,08…0,04$.

Потужність коротко замкнутого асинхронного двигуна визначається по формулі

$$N_д = \frac{k\left(\frac{A_р}{\eta_о}+\frac{A_в}{\eta_м}\right)+A_х}{t_ц}, \qquad (2.23)$$

де k – коефіцієнт запасу, приймається по табл. 4.6[1] у залежності від числа включень $n_в$, чи номінального ковзання двигуна $S_н$;

$\eta_о$ – загальний ККД приводу;

$\eta_м$ – ККД передачі від муфти до двигуна.

Мінімальна потужність двигуна по формулі (2.23) становить:

$$N_Д = \frac{1,2\left(\frac{5500}{0,97}+\frac{2210}{0,97}\right)+4550}{1,714} = 8218Вт = 8,218кВт.$$

По каталогу [1] приймається найближчий двигун типу 4А132М4У3 з номінальною потужністю $N_н$=11 кВт, номінальна частота обертів $n_н$=1460 об/хв.

2. Момент інерції маховика

Коефіцієнт ε відносних витрат холостого ходу при відношенні $A_х/(A_р+A_в)=4550/(5500+2210)=0,59$ і номінальному сковзанні двигуна $S_н=0,06$ становить ε=0,9. Пружне сковзання клиноремінної передачі прийнято $S_р=0,02$. Коефіцієнт нерівномірності ходу маховика становить:

$$j = 2 \cdot 0,9 \cdot 1,2 \cdot (0,06 + 0,02) = 0,173.$$

Маховик встановлено на головному валу, тоді його кутова швидкість становить

$$\omega_м = \frac{\pi \cdot n_н}{30} = 10{,}471 c^{-1}.$$

Робота двигуна під час робочого ходу складає

$$A_{\text{др}} = \frac{11000 \cdot 60 \cdot 20 \cdot 0{,}97}{100 \cdot 360} = 355{,}667 Дж.$$

У період робочого ходу $t_р$ робота двигуна, віднесена до вала ведучого кривошипа, складає $A_{др} = N_н\, t_р\, ηо$, де $t_р$ – час робочого ходу $t_р = t_{дх}α_р / 360$. Тоді робота маховика, що доповнює до загального рівня витрати енергії в період робочого ходу, буде :

$$A_M = A_р - A_{др}. \qquad (2.24)$$

Робота маховика по формулі (2.24) становить:

$$A_м = 5500 - 355{,}667 = 5144 Дж.$$

Коефіцієнт форми графіка крутильного моменту по формулі :

$$k_ф = \sqrt{\left(1 - \frac{\alpha_р}{2\pi} p_и\right)^2 + (2 - 6p_и + 3p_и^2)\frac{A_в}{A_р} + \left(\frac{A_в}{A_р}\right)^2}. \qquad (2.25)$$

$$k_ф = \sqrt{\left(1 - \frac{20}{2\pi} 0{,}35\right)^2 + (2 - 6 \cdot 0{,}35 + 3 \cdot 0{,}35^2)\frac{2210}{5500} + \left(\frac{2210}{5500}\right)^2} = 1{,}109.$$

Таким чином, найменший момент інерції маховика становить:

$$J_M = \frac{1{,}109 \cdot 5144}{0{,}173 \cdot 10{,}472^2} = 301{,}132 кг \cdot м^2.$$

Після вибору розмірів маховика, що забезпечують необхідний момент інерції, необхідно перевірити максимальну лінійну швидкість обода, що обмежується умовами міцності обода під дією відцентрових сил:

$$V = \frac{D_{\text{М}}\omega_{\text{М}}}{2} \le [V], \qquad (2.26)$$

де $D_{\text{М}}$ – діаметр обода маховика.

Діаметр маховика становить 1,5 м. В такому разі лінійна швидкість обода маховика по формулі (2.26) становить:

$$V = \frac{1{,}5 \cdot 10{,}472}{2} = 7{,}854 м/с.$$

Швидкість обода менше допустимої швидкості для стального маховика [V]=40 м/с.

Потужність двигуна перевіряється за часом розгону маховика:

$$t_{\text{р}} = \frac{1{,}2 J_{\text{М}} \omega_{\text{М}}^2}{N_{\text{і}}}, \text{ с.} \qquad (2.27)$$

Для асинхронних двигунів з нормальним ковзанням час розгону не повинний перевищувати 10 с/

Час розгону маховика до номінальної швидкості по формулі (2.27) дорівнює:

$$t_p = \frac{1{,}2 \cdot 301{,}132 \cdot 10{,}472^2}{11000} = 3{,}602 с.$$

Час розгону маховика не перевищує 10 с, які є допустимими для асинхронних двигунів з нормальним ковзанням.

3 ЕКСПЛУАТАЦІЙНА ЧАСТИНА

3.1 Розробка компонувальної схеми кліщової подачі.

Для підвищення продуктивності, надійності та безпеки роботи штампувального обладнання є доцільним використання засобів автоматизації та механізації таких операцій, як подача заготовки, її позиціонування, виштовхування готової деталі, змащення тощо.

Початковими даними для розробки засобів автоматизації будуть технічні характеристи обладнання.

Технічну характеристика УКП, складаємо згідно поведених розрахунків.

Номінальне зусилля	1 МН
Хід повзуна	25/130 мм
Число ходів повзуна	80 х/хв
Регулювання довжини шатуна	400 мм
Відстань від повзуна до столу в його нижньому положенні	100 мм
Відстань від вісі повзуна до станини	320 мм
Габаритні розміри пресу:	
зліва-направо	1430 мм
спереду-назад	1850 мм
знизу-уверх	2725 мм
потужність електродвигуна	15 кВт
частота обертання	1465
Маса пресу	6735 кг

Вимоги до автоматичного транспортуючого пристрою:

- магазинний пристрій – рулонниця. Діаметр рулон ниці 700 мм, відстань від центру рулон ниці до центру пресу 1500 мм.

- живильний пристрій – кліщова подача:

ширина рулону	140мм
товщина рулону	1мм

шаг подачі 36 мм

точність подачі 0,1 мм

Видалення деталі виконується скидачем.

Видалення відходу виконується скидачем.

Необхідна продуктивність, шт./хв. 90

Технологічний процесс штампування при автоматизації можна представити як сукупність операцій, представлених в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Опис технологічного процесу штампування.

Назва переходу	Код	Якісна характеристика
1.Живильна операція	t_1	1.9
1.1.Захват	t_{11}	0.8
1.2.Транспортування	t_{12}	1.2
1.3.Відпуск і фіксація	t_{13}	0.2
Включення пресу		0.7
2.Робоча операція	t_2	3
2.1.Хід приближення	t_{21}	0.034
2.2.Робочий хід	t_{22}	0.03
2.3.Хід роз'єднання	t_{23}	0.03
2.4.Хід повернення	t_{24}	0.5
3.Живильна операція	t_3	1.9
Включення пресу		0.7
4.Робоча операція	t_4	0.04
5.Живильна операція	t_5	1.9
Включення пресу		0.7
6.Робоча операція	t_6	0.06
6.3.Хід роз'єднання і правка заготовки	t_{63}	0,055
6.4.Хід повернення	t_{64}	0.5

Траєкторія автоматичного транспортування в складі АШЄ формується на основі ТАТ (технологічної автоматизованої траєкторії) згідно з етапами технологічного процесу штампування. Тобто необхідно враховувати:

- просторову компоновку обладнання (прес, рулонниця, живильник тощо),
- напрямки переміщення заготовки та готової деталі,
- черговість технологічних дій.

Траєкторія автоматизованого транспортування в АШЄ проєктується з урахуванням усіх етапів – від подачі рулону до виведення готової деталі та відходів. Основу системи становить живильник кліщового типу, що забезпечує точну, синхронізовану подачу заготовок. Особливу увагу приділено точному позиціонуванню, вибору пневматичних приводів і формуванню оптимального просторового розташування елементів системи.

До складу автоматизованої системи живлення входять наступні функціональні компоненти:

а) Магнітний пристрій

- Використовується для захвату або утримання деталей (наприклад, плоских заготовок зі сталі).
- Забезпечує орієнтоване положення деталей перед подачею або вивантаженням.

б) Живильник

- Це ключовий елемент для подачі стрічки або заготовки у робочу зону преса.
- В даному випадку передбачено кліщову подачу, що забезпечує точне позиціонування.

в) Перекладальник

- Служить для переміщення деталі між позиціями або зони обробки.
- Може бути у вигляді маніпулятора або пневматичної штанги.

г) Пристрій для видалення деталі

- Автоматично виймає готову деталь із робочої зони.
- Наприклад: пневмоштовхач або маніпулятор.

д) Пристрій для видалення відходу

- Виводить залишки штампування (обрізки, обрізані крайки тощо).
- Може мати направляючий лоток або стрічковий транспортер.

Формування траєкторії транспортування

Живильна операція:

1. Початкова точка — рулонниця:
    - Встановлюється на відстані 1500 мм від осі пресу.
    - Це оптимальне розташування з урахуванням місця для обслуговування і розмотування рулону.
2. Стрічка транспортується до живильника:
    - Через напрямні або роликові опори стрічка надходить до кліщового живильника.
    - Живильник захоплює стрічку у визначеній позиції захвату, яка розташована перед першим штамповим ударом.
3. Захват стрічки здійснюється двома валиками ("зверху і знизу") – це третій спосіб захвату, що забезпечує надійність при подачі гнучкого матеріалу (стрічки).

Живильник включає:

- Два захватних пристрої — по одному з кожного боку стрічки.
- Переміщуючий пристрій — для забезпечення поступального руху стрічки.
- Автоматичний керуючий пристрій — логічне або електронне керування рухами захвату та подачі.

Захватний пристрій складається з:

- Захватного органа (наприклад, притискні щоки).
- Механізму захвату (передає зусилля на захват).
- Привода — пневматичного мембранного типу, одно- або двосторонньої дії (залежно від точності й зусилля).

Переміщуючий пристрій:

- Побудований на базі двосторонньодіючого пневмопривода.
- Забезпечує точне позиціонування поршня, тобто стрічка зупиняється у строго визначених точках подачі.

Після завершення операції штампування:

- Готова деталь автоматично переміщується з зони штампування до складу готових виробів.
- Відходи (обрізки, пробиті отвори тощо) транспортуються до окремого місця — складу відходів.

Траєкторії обох напрямків (деталі і відходів) проєктуються від пристроїв видалення до відповідних накопичувальних ємностей.

Оскільки позиція захвату стрічки живильником знаходиться на відстані 50 мм від першої позиції штампування, це створює петлеподібну траєкторію транспортування, яка:

- зберігає плавність руху,
- зменшує навантаження на приводи,
- дозволяє здійснювати накопичення стрічки без надлишкової натяжки.

Ця петля формується у вертикальній площині відносно площини штампу, що також забезпечує буферну зону при зміні швидкості подачі або зупинці.

Технологрaма розробляється на підставі технології штампування у штампі і доповнюється орієнтовною операцією.

В якості живильника використовуємо кліщову подачу. Видалення деталі і відходу виконує пневматичний виконуючий механізм.

Операція	Код операції
1. Орієнтуюча – період розмотування	t_1
2. Живильна (подача заготовки на крок 40 мм)	t_2
3. Перекладаюча операція	t_3
4. Видалення відходу і деталі	t_4

Сума часу виконання операцій і є час технологічного циклу даної деталі. АШЄ працює згідно робочого циклу по тривалості. Для знаходження тривалості робочого циклу технограму оптимізують по принципу поточності. Тривалість робочого циклу $t_{рц}$ має вигляд суми тривалостей декількох операцій:

$t_{рц}= t_1+ t_2+ t_3+ t_4=60/90=0,66$ сек.

$t_{рц}= t_{кон.ц}=0,66$ сек.

Прорахувавши тривалість робочого циклу, знайдемо тривалість циклу автоматичного транспортування:

$t_{авт.ц}= t_{рц}- t_{рх}- t_{хр}= 0,66-0,055-0,055=0,55$ сек.

де $t_{рх}$ – 0,055 – час робочого ходу;

$t_{хр}$ – 0,055 – час ходу роз'єднання.

Циклограма нам потрібна для визначення часу руху вихідних ланок механізмів АТУ.

Визначаємо величини рухів вихідних ланок механізмів захвату.

Таблиця 3.2 – Довжини переміщень вихідних ланок

Назва	Довжина переміщення	Числове значення, мм
Рулонниця	S_1	40
Живильник	S_2	10
ФЗУ	S_3	5
ТЗУ	S_4	5

Сума усіх довжин:

$S_m = S_1 + S_2 + S_3 + S_4 = 40+10+5+5 = 60$ мм.

Виконуємо теоретичні дослідження:

1. Номінальне зусилля $P_н$=1 МН;
2. Число ходів повзуна в хвилину
3. Величина ходу повзуна
4. Потужність двигуна, кВт
5. $t_{рц} = t_{кон.ц}$=0,66 сек.;
6. Працюємо у режимі безперервних ходів;
7. Продуктивність=90 ходів/хв.

Кінематична схема, зображена на рисунку 3.1.

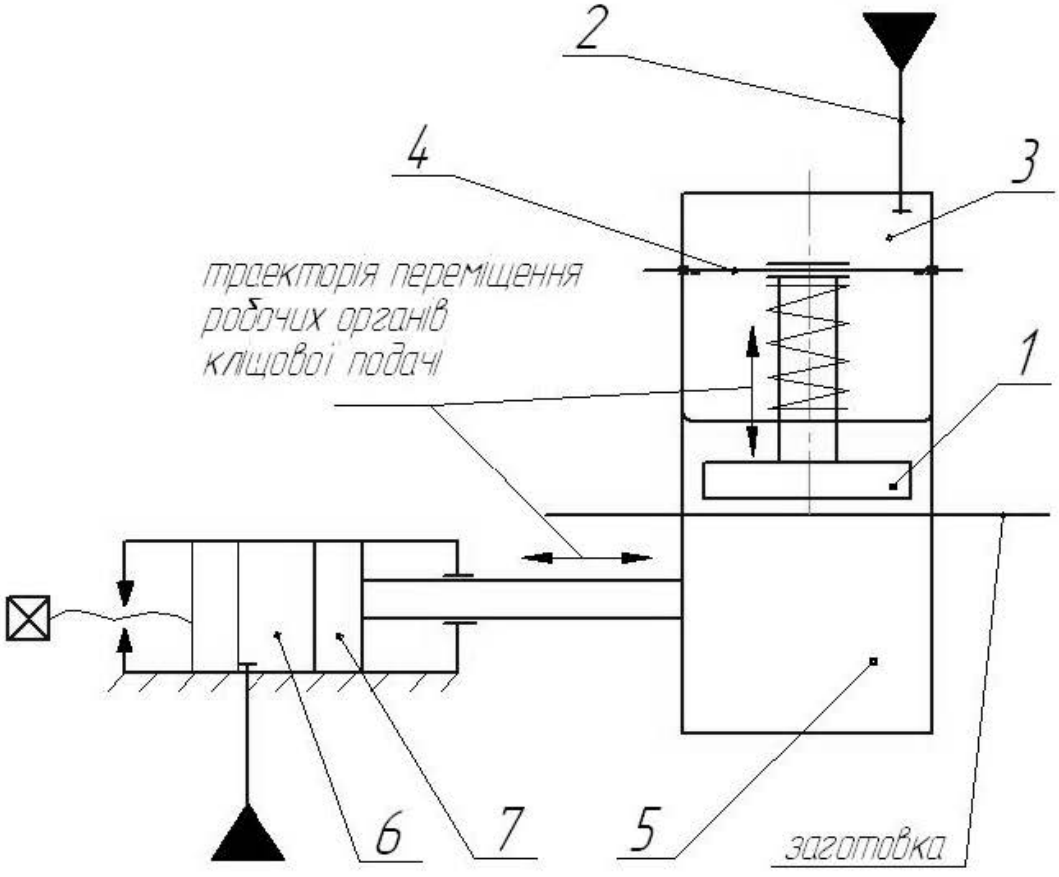


Рисунок 3.1 – Кінематична схема кліщової подачі

Пристрій працює наступним чином: стисле повітря із магістралі 2 йде в робочу камеру 3 і, як наслідок, діє крізь мембрану на шток і захватний орган. Захватний орган 1 притискує стрічку (заготовку) до подушки 5. Після цього подається стисле повітря із магістралі в робочу камеру 6. Поршень 7 починає рух до крайнього правого положення. Тиск повітря в камері 3 падає і повертаючи пружина 8 повертає захватний пристрій до крайнього верхнього положення.

3.2 Розробка кінематичної схеми ролонниці з автоматичним розмотувальним пристроем

Згідно з технічним завданням і відповідною технологічною картою (технологрaмою) штампувального процесу, при проєктуванні автоматизованої системи живлення (АШЄ) важливим етапом є вибір раціональної кінематичної схеми. Для цього враховуються:

- функціональні вимоги до подачі заготовки;
- рівень автоматизації процесу;
- конструктивна простота;
- надійність і точність роботи механізмів;
- мінімальна кількість рухомих ланок.

На основі цих критеріїв, а також користуючись даними з альбому кінематичних схем автоматизованих транспортних установок (АТУ), була виконана порівняльна оцінка можливих варіантів виконання живильних і магазинних пристроїв.

З метою оптимізації конструкції та зменшення загальної складності системи, обрано кінематичну схему з мінімальною кількістю кінематичних ланок, що дозволяє спростити виготовлення, зменшити кількість точок змащування, підвищити надійність і знизити вартість обслуговування.

У відповідності до викладених вимог, як магазинний пристрій обрано рулонницю з автоматичним пристроєм розмотування рулону, яка забезпечує:

- безперервне подавання металевої стрічки до живильника;
- підтримання стабільної натяжки без ривків;
- синхронізацію з подальшими механізмами подачі.

Дана рулонниця має автоматичну систему розмотування, що дозволяє їй ефективно працювати без постійного втручання оператора та забезпечує запас стрічки для формування петлі на вході в зону живлення.

Вибрана кінематична схема наведена на рисунку 3.2.

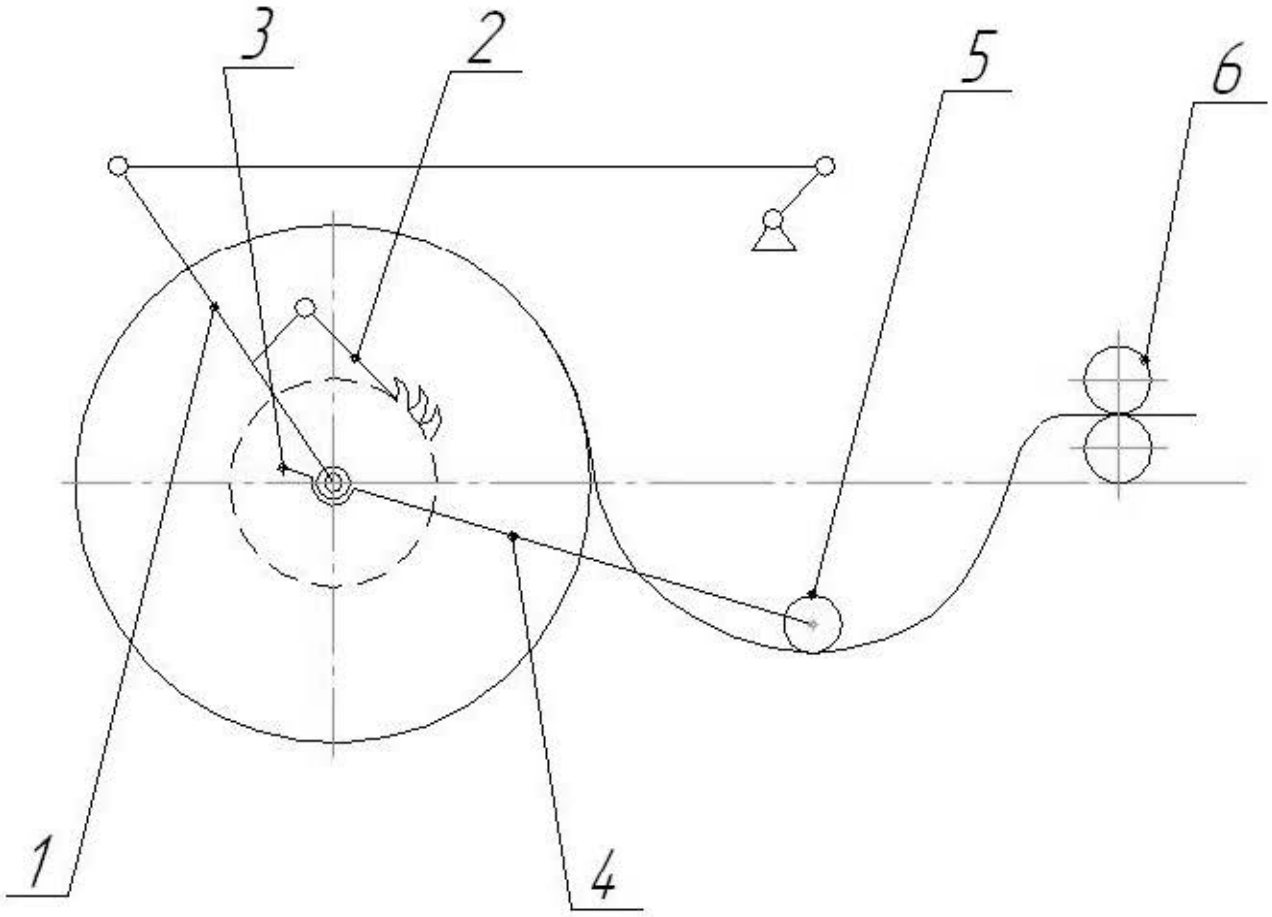


Рисунок 3.2 – Рулонниця з автоматичним розмотуючим пристроєм

Під час робочого ходу накопичена енергія обертання маховика, витрачається на хід приближення, деформацію заготовки, хід роз'єднання і хід повернення. Для нормальної роботи пресу повинна виконуватись умова: перед

початком робочого ходу маховик повинен накопичити номінальний запас енергії.

Розрахунок енергонадійності стає необхідним при розрахунку АШЄ на базі УКП, так як УКП розраховані на коефіцієнт використання числа ходів значно менше одиниці, а при використанні засобів автоматизації коефіцієнт використання числа ходів наближається до одиниці.

$$t_{ен.ц.}=0,5* t_{кін.ц.}+ t_в=0,5*0,66+0,358=0,688 \text{ сек.},$$

де $t_в$ – 0,358 сек. – час відновлення кутової швидкості маховику.

Розрахунок проводимо за допомогою програми „ELPRIVOD”.

$t_{ен.ц} \leq t_{рц}$, тому виконання даної технології на АШЄ можливе з такою продуктивністю.

3.3 Розробка кінематичних схем виштовхувачів пресу; розробка циклограми

При розробці циклограми роботи виштовхувачів у складі автоматизованої штампувальної системи необхідно враховувати ряд ключових положень, які забезпечують стабільність і точність функціонування обладнання. Насамперед важливо, щоб виштовхувач забезпечував фіксацію заготовки на площині штампу в нерухомому положенні після завершення дії інструмента. Це досягається завдяки синхронному руху вихідних ланок верхнього та нижнього виштовхувачів, які працюють узгоджено з переміщенням повзуна преса. Синхронність їхньої роботи має вирішальне значення, оскільки вона дозволяє точно визначити момент, коли інструмент повністю виходить із зони деформації, і лише після цього виштовхувачі починають свою дію, не створюючи додаткового навантаження на заготовку.

Для досягнення високого рівня узгодженості руху виштовхувачів доцільно застосовувати індивідуальні пневмоприводи для кожного з них. Управління

такими приводами здійснюється за сигналами від датчиків положення повзуна, що дає змогу жорстко прив'язати момент їх спрацювання до фази ходу преса. Такий підхід не лише забезпечує точне позиціонування, а й дозволяє гнучко налаштовувати параметри роботи обладнання відповідно до вимог технологічного процесу без необхідності внесення змін у конструкцію.

Ще одним важливим аспектом є співвідношення зусиль на вихідних ланках виштовхувачів. Згідно з технічними вимогами, зусилля верхнього виштовхувача повинно перевищувати зусилля нижнього приблизно на 1–2%. Це забезпечує контрольований нахил або невеликий зсув деталі під час її виведення зі штампа, що значно знижує ймовірність застрягання, перекосу чи заклинювання заготовки в зоні деформації, особливо у випадках складної геометрії.

Таким чином, дотримання цих положень при розробці циклограми гарантує надійну, синхронізовану та безпечну роботу виштовхувального механізму, покращує якість готових виробів, знижує знос інструменту та сприяє підвищенню загальної ефективності роботи автоматизованої штампувальної установки.

Кінематична схема виштовхувача (опис)

1. Джерело руху:

- Пневмопривід двосторонньої дії (верхній і нижній окремо) — створює поступальний рух вихідної ланки.
- Керується електропневматичним клапаном, пов'язаним із датчиком положення повзуна преса.

2. Вхідна ланка:

- Поршень пневмоциліндра, який під тиском стислого повітря рухається в циліндрі.

3. Передавальні ланки:

- Шток пневмоциліндра, який безпосередньо з'єднаний із направляючою втулкою або кулісою.
- Напрямні ковзання, які забезпечують прямолінійний рух.

4. Вихідна ланка:

- Плита виштовхувача, яка контактує з деталлю або заготовкою та виконує безпосередній виштовх.
- У верхньому виштовхувачі ця плита опускається; у нижньому — піднімається.

5. Керуюча ланка:

- Датчик положення повзуна передає сигнал на контролер, який керує пневморозподільником.
- За сигналом у відповідній фазі ходу преса (наприклад, після проходження НМТ) відкривається подача повітря в пневмоциліндр.

6. Зворотний рух:

- Здійснюється або за допомогою пневматичного тиску з протилежного боку, або за рахунок пружинного повернення, залежно від типу циліндра.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

4.1 Виявлення та оцінка шкідливих факторів виробничого середовища

Цех холодної штамповки є структурним підрозділом підприємства, де здійснюється формування деталей з листового металу без попереднього нагрівання. Технологічний процес характеризується високим рівнем динамічних навантажень, застосуванням потужного штампувального обладнання та інтенсивною експлуатацією засобів подачі й вивантаження заготовок. У зв'язку з цим, у виробничому середовищі формуються численні шкідливі та небезпечні фактори.

Холодна штамповка виконується на кривошипних, ексцентрикових і гідравлічних пресах, які працюють із значною частотою та зусиллям. Обслуговування пресів може здійснюватися вручну або з використанням автоматизованих пристроїв. Основними джерелами шкідливих впливів є:

- ударні навантаження під час штампування;
- шум від роботи приводів, пневматичних і гідравлічних систем;
- локальні вібрації пресів і передача їх на конструкції;
- забруднення повітря аерозолями мастильно-охолоджувальних рідин (МОР);
- недостатня природна вентиляція;
- підвищене фізичне навантаження при ручній подачі металу;
- недостатнє або нерівномірне освітлення в зоні штампів.

На основі аналізу умов експлуатації обладнання та робочих процесів у цеху виділено наступні шкідливі фактори, якізведені до таблиці 4.1.

Таблиця 4.1. Аналіз та оцінка шкідливих факторів виробничого середовища

№	Шкідливий фактор	Джерело виникнення	Вплив на працівника
1	Шум (до 95–100 дБ)	Кривошипні преси, пневмоприводи, штампи	Погіршення слуху, головний біль, зниження працездатності
2	Вібрація	Робота пресів, особливо з дефектним фундаментом	Впливає на нервову систему, опорно-руховий апарат
3	Аерозолі мастил і пари МОР	Контакт металу з інструментом, розбризкування	Подразнення слизових, шкіри, алергічні реакції
4	Механічна небезпека (травматизм)	Рухомі частини преса, штампи, пристрої подачі	Поранення, затискання, переломи
5	Погане освітлення	Недостатня кількість світильників	Погіршення зору, підвищення ймовірності нещасних випадків
6	Підвищена запиленість	Зношення деталей, абразивний знос штампів	Ураження органів дихання, хронічні захворювання
7	Підвищене фізичне навантаження	Ручна подача або вивантаження заготовок	Втома, перевантаження опорно-рухової системи

Оцінювання проводилось згідно з ДСН 3.3.6.042-99, Гігієнічною класифікацією праці та іншими чинними нормативами. Основні результати:

- Рівень шуму на робочих місцях у цеху коливається в межах 90–98 дБ, що перевищує допустимий рівень у 80 дБ. Це вимагає застосування протишумових навушників.

- Вібрація у зоні обслуговування пресів становить 0,9–1,3 м/с², що перевищує нормативні значення для локальної та загальної вібрації.
- Концентрація аерозолів мастил у повітрі може досягати 2–3 мг/м³, при ГДК 1 мг/м³, що потребує поліпшення вентиляційної системи.
- Освітленість деяких робочих зон менше 200 лк, при нормі 300–400 лк, особливо на ділянках регулювання штампів.

4.2 Рекомендації щодо зниження впливу шкідливих факторів

Для створення безпечних та комфортних умов праці в цеху холодної штамповки необхідно вжити таких заходів:

1. Акустичний захист:
    - Застосування шумопоглинальних кожухів на обладнанні.
    - Заміна зношених деталей пресів для зменшення ударного шуму.
    - Використання індивідуальних засобів захисту слуху.
2. Зниження вібрації:
    - Встановлення антивібраційних прокладок під преси.
    - Регулярний технічний огляд фундаментів.
3. Покращення повітряного середовища:
    - Монтаж локальної витяжної вентиляції біля зони штампування.
    - Автоматизація змащування для зменшення ручного розбризкування.
4. Оптимізація освітлення:
    - Встановлення додаткових світильників у зонах наладки.
    - Застосування світлодіодного освітлення з фокусуванням на робочі поверхні.
5. Підвищення рівня безпеки:
    - Обладнання пресів світловими бар'єрами та двохручним керуванням.
    - Використання захисних екранів і інструктажів із техніки безпеки.

4.2 Заходи щодо захисту від впливів шкідливих факторів виробничого середовища

. Для забезпечення безпечних умов праці розробляється система технічних, організаційних і санітарно-гігієнічних заходів щодо зменшення або повного усунення впливу цих факторів.

Технічні заходи

1. Зниження рівня шуму:
    - встановлення шумопоглинальних кожухів на найбільш гучні елементи пресів;
    - використання безударного пуску механізмів;
    - балансування рухомих частин та зниження вібрації механізмів.
2. Боротьба з вібрацією:
    - монтаж пресового обладнання на антивібраційні основи або подушки;
    - регламентоване технічне обслуговування пресів для запобігання дисбалансу.
3. Поліпшення мікроклімату:
    - застосування витяжної вентиляції з локальними витяжками в зонах штампування;
    - забезпечення припливу свіжого повітря;
    - установка теплових завіс та вентиляційних систем з рекуперацією.
4. Автоматизація і механізація процесів:
    - використання автоматичних подавачів і вивантажувачів заготовок;
    - встановлення систем керування з дистанційною або двохручною подачею команд;
    - впровадження роботизованих ліній холодного штампування.
5. Підвищення освітленості:
    - модернізація освітлювальних систем із застосуванням світлодіодних джерел;

- локальне освітлення зони роботи штампів та інструментів.

7.2. Засоби індивідуального захисту

Усі працівники, що працюють у зоні штампування, повинні бути забезпечені наступними засобами індивідуального захисту:

- Протишумові навушники або вкладиші – для зменшення впливу шуму;
- Захисні окуляри – при можливості вильоту металевих частинок або бризок мастила;
- Рукавиці з неслизьким покриттям – для захисту рук від механічних пошкоджень;
- Респіратори або півмаски – при роботі з мастильно-охолоджувальними рідинами;
- Спецодяг із вогнетривких і антистатичних матеріалів.

7.3. Санітарно-гігієнічні та організаційні заходи

1. Організація режиму праці та відпочинку:
    - чергування періодів активної діяльності з відпочинком;
    - зниження тривалості однотипних або монотонних операцій;
    - перерви в роботі згідно із санітарними нормами.
2. Медичне обслуговування та контроль:
    - проведення періодичних медичних оглядів працівників;
    - впровадження системи профілактичної реабілітації для працівників, що зазнають підвищених навантажень;
    - наявність медичного пункту на території цеху.
3. Інструктаж та навчання з охорони праці:
    - проведення первинного, повторного і цільового інструктажу;
    - навчання працівників правильній роботі з обладнанням та ЗІЗ;
    - демонстрація відеоматеріалів і стендів з безпеки.
4. Контроль за дотриманням норм:
    - регулярне проведення вимірювань рівня шуму, вібрації, освітленості, концентрації шкідливих речовин у повітрі;
    - аудит умов праці з боку служби охорони праці.

Ці заходи спрямовані на зниження рівня професійного ризику, збереження здоров'я працівників та підвищення загальної ефективності виробництва. Їх реалізація дозволяє створити умови, що відповідають сучасним вимогам безпеки праці у цехах холодної штамповки.

4.3 Технічні рішення по гігієні праці і виробничій санітарії

У цеху холодної штамповки важливим завданням є створення безпечних та комфортних умов праці для персоналу, що досягається шляхом впровадження комплексу технічних рішень у сфері гігієни праці та виробничої санітарії. Ці рішення охоплюють різні аспекти: вентиляцію і очищення повітря, організацію належного освітлення, забезпечення оптимального мікроклімату, а також облаштування санітарно-побутових умов.

У системі вентиляції передбачено використання як загальнообмінної, так і локальної витяжної вентиляції. Загальнообмінна система забезпечує багаторазовий обмін повітря у приміщенні, видаляючи забруднене повітря і подаючи очищене зовні через припливні установки. Для цього застосовуються фільтри грубого та тонкого очищення, а також рекуператори для економії тепла в зимовий період. У місцях, де відбувається інтенсивне виділення парів мастильно-охолоджувальних рідин, аерозолів або пилу (зона пресів, штампів), встановлюються локальні витяжки. Зонтичні витяжки або гнучкі повітроводи монтуються безпосередньо над джерелами викиду забруднень, що дозволяє швидко локалізувати та видаляти шкідливі речовини. У разі необхідності, для очищення повітря встановлюються додаткові автономні фільтрувальні установки з вугільними або електростатичними фільтрами.

Організація якісного освітлення у цеху є одним із ключових елементів гігієни праці. У приміщеннях передбачається комбіноване освітлення – загальне рівномірне та місцеве підсилене. Загальне освітлення виконується за допомогою світлодіодних лінійних світильників, розміщених рівномірно по стелі, що забезпечує освітленість не менше 300 лк на рівні робочих поверхонь. У зонах

наладки, обслуговування інструменту та на ділянках дрібних операцій встановлюються локальні світильники, що дають посилене світло до 500 лк. Для зменшення втоми очей і зорового перенапруження передбачено використання розсіювальних лінз, антиблікових екранів та систем автоматичного регулювання яскравості відповідно до рівня зовнішнього освітлення. Враховується колір світла – використовується нейтрально-біле світло з температурою 4000–4500 К, яке є найбільш комфортним для тривалої роботи.

Мікроклімат у приміщеннях цеху також суттєво впливає на самопочуття та продуктивність працівників. У холодну пору року для підтримання комфортної температури застосовуються припливно-витяжні установки з повітронагрівачами або рекуператорами, які дозволяють підігрівати свіже повітря перед подачею у робочу зону. На воротах та проходах монтуються теплові повітряні завіси, які запобігають проникненню холодного повітря при відкриванні воріт. Теплоізоляція стін, віконних блоків і дахових конструкцій допомагає мінімізувати тепловтрати та зберігати стабільний температурний режим. Для забезпечення необхідної вологості, особливо в опалювальний період, використовуються системи зволоження повітря. Мікроклімат регулюється відповідно до вимог ДСН 3.3.6.042–99 для категорії робіт середньої важкості, до яких належить штампування: температура повітря має становити 18–22 °С, відносна вологість – 40–60 %, швидкість руху повітря – до 0,3 м/с.

Комплекс зазначених технічних заходів забезпечує відповідність умов праці вимогам чинного санітарного законодавства, підвищує безпеку, знижує ризик виникнення професійних захворювань та сприяє підвищенню загальної ефективності роботи цеху холодної штамповки.

4.4 Заходи пожежної безпеки

Забезпечення пожежної безпеки у цеху холодної штамповки є одним із ключових завдань безпечної експлуатації виробничого обладнання та охорони здоров’я персоналу. Це зумовлено наявністю горючих речовин (мастильно-

охолоджувальних рідин), електрообладнання, а також імовірністю виникнення іскріння у процесі роботи механізмів. Відповідно до Закону України «Про пожежну безпеку» (№ 2633-III від 24.06.2004) та ДНАОП 0.00-1.31-99 «Правила пожежної безпеки в Україні» у цеху впроваджується комплекс організаційних, технічних і інженерних заходів.

Виробниче приміщення обладнується системою автоматичного пожежного оповіщення, що включає датчики диму, температури та полум'я. Це відповідає вимогам ДБН В.1.1-7-2002 «Пожежна безпека об'єктів будівництва», де зазначено, що системи пожежного виявлення повинні забезпечувати швидке реагування та оперативний виклик пожежної охорони.

Важливим є правильне зберігання пожежонебезпечних речовин, зокрема мастил та мастильно-охолоджувальних рідин. Відповідно до вимог ДНАОП 0.00-1.31-99, вони повинні зберігатися у спеціально обладнаних пожежобезпечних ємностях із герметичними кришками та розміщуватися у вентильованих, ізольованих від основного виробництва зонах із негорючими підлогами, що мають ухил для збору розливів. Забороняється розміщувати ці речовини поблизу нагрівальних приладів, відкритого вогню або джерел іскріння.

В електрообладнанні цеху суворо дотримуються норм, викладених у ДСТУ EN 60204-1:2014 (IEC 60204-1), що регламентує технічні вимоги безпеки електричних машин. Електропроводка, ізоляція, вимикачі та розетки проходять регулярний технічний контроль відповідно до Правил улаштування електроустановок (ПУЕ), що запобігає виникненню коротких замикань та іскор, здатних призвести до пожежі.

Для оперативного гасіння пожеж у цеху встановлюються вогнегасники відповідно до ДСТУ 7032:2009 «Системи протипожежного захисту. Засоби пожежогасіння. Вогнегасники». Рекомендується забезпечувати наявність порошкових вогнегасників ОП-4 або ОП-6 біля пресового обладнання, пінних — у місцях зберігання мастильно-охолоджувальних рідин та вуглекислотних — поруч з електрощитовими. Вогнегасники розміщуються у легкодоступних місцях із чіткою інструкцією з експлуатації.

Організаційно забезпечується наявність і підтримання у належному стані протипожежних прохідних шляхів та евакуаційних виходів, які мають бути позначені згідно з ДСТУ EN ISO 7010:2013. У приміщенні організується аварійне освітлення, що дозволяє безпечно евакуювати персонал у разі відключення основного живлення.

Важливу роль відіграють протипожежні перегородки і конструкції з негорючих матеріалів, які відповідно до ДБН В.1.1-7-2002 повинні обмежувати поширення вогню по приміщенню. Забезпечення чистоти на виробництві є додатковим заходом пожежної безпеки: регулярне видалення пилу, тріски, залишків матеріалів та своєчасне усунення розливів мастил знижують ризики загоряння.

Усі працівники проходять регулярні інструктажі з пожежної безпеки та беруть участь у тренувальних евакуаціях згідно з ДНАОП 0.00-1.31-99, що підвищує рівень обізнаності та готовність до дій у надзвичайній ситуації.

У зв'язку з наявністю в цеху холодної штамповки електричного обладнання, мастильно-охолоджувальних рідин (МОР), масел і інших пожежонебезпечних матеріалів, розміщення вогнегасників здійснюється відповідно до ДСТУ 7032:2009 та Правил пожежної безпеки в Україні (ДНАОП 0.00-1.31-99).

Тип вогнегасника обирається з урахуванням можливого класу пожежі:

- Клас А — загоряння твердих речовин (дерево, пластик);
- Клас В — горючі рідини (мастила, МОР);
- Клас С — гази;
- Клас Е — електрообладнання під напругою.

На території цеху рекомендується використовувати вуглекислотні, порошкові та пінні вогнегасники, розміщені у легкодоступних місцях біля потенційно небезпечних зон. Кожен вогнегасник має бути промаркований, перевірений і відповідати нормативному терміну експлуатації.

Розміщення та типи вогнегасників у цеху холодної штамповки наведені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 Розміщення та типи вогнегасників у цеху холодної штамповки

Місце розташування	Тип вогнегасника	Кількість	Примітки
Біля пресового обладнання	Порошкові (ОП-6)	2-3	Забезпечують гасіння різних видів пожеж (для гасіння мастил, масла, твердих речовин і дрібного електрообладнання)
Склад мастильних матеріалів	Пінні (ОП-4)	2	Ефективні для пожеж горючих рідин
Біля електрощитової	Вуглекислотні	1-2	Не ушкоджують електрообладнання
Евакуаційні виходи та проходи	Порошкові або вуглекислотні	1-2	Для швидкого доступу під час пожежі

Усі вогнегасники повинні бути:

- змонтовані на висоті не більше 1,5 м від підлоги (відповідно до ППБУ);
- розташовані на відкритих ділянках, без перешкод доступу;
- промарковані згідно з ДСТУ EN ISO 7010:2013 (піктограми, вказівники);
- щороку проходити технічний огляд або перезарядку відповідно до інструкцій виробника.

4.5 Заходи з техногенної безпеки

Забезпечення техногенної безпеки у цеху холодної штамповки є важливим складником загальної системи охорони праці та виробничої безпеки. Основна

мета заходів — запобігання виникненню надзвичайних ситуацій техногенного характеру, мінімізація наслідків у разі їх настання та захист життя і здоров'я працівників.

До основних джерел техногенної небезпеки в умовах холодного штампування належать:

- несправності пресового обладнання, що може призвести до раптового обриву деталей або вибуху гідравлічної системи;
- коротке замикання або перенавантаження електроустановок;
- розгерметизація систем подачі мастильно-охолоджувальних рідин (МОР) з подальшим витоком та займанням;
- механічні ушкодження трубопроводів, компресорних установок, редукторів тощо;
- порушення герметичності системи вентиляції з викидом небезпечних парів або аерозолів у повітря робочої зони;
- надзвичайні ситуації природного або техногенного характеру (пожежі, вибухи, обвал конструкцій).

Основні вимоги до забезпечення техногенної безпеки регламентуються наступними нормативними документами:

- Закон України «Про техногенну та екологічну безпеку»;
- Кодекс цивільного захисту України;
- Постанова КМУ № 11 від 09.01.2014 «Про затвердження Порядку ідентифікації об'єктів підвищеної небезпеки»;
- ДСТУ ISO 45001:2019 «Системи управління охороною здоров'я та безпекою праці»;
- ДНАОП 0.00-4.33-99 «Положення про розробку планів локалізації і ліквідації аварійних ситуацій і аварій (ПЛАС)».

Для забезпечення належного рівня техногенної безпеки в цеху впроваджено такі заходи:

- постійний моніторинг технічного стану обладнання. Усі машини та агрегати проходять регулярне технічне обслуговування згідно з графіком ППР.

Особлива увага приділяється перевірці гідроприводів, стану штоків, ущільнень, електродвигунів та вузлів з високим навантаженням. Виявлені дефекти усуваються до початку роботи.

- автоматичні системи аварійного відключення. Обладнання оснащується датчиками перевантаження, температури, тиску, які у разі виходу параметрів за допустимі межі зупиняють машину або блокують подальше її використання. Це запобігає руйнуванню обладнання та можливим вибухам чи пожежам.

- розробка і впровадження ПЛАС. Для виробничої дільниці розроблено План локалізації і ліквідації аварійних ситуацій, що містить алгоритми дій у випадку аварій, призначення відповідальних осіб, місця зберігання засобів індивідуального захисту, плани евакуації та інструкції з безпеки. План погоджено з ДСНС відповідно до вимог ДНАОП 0.00-4.33-99.

- ідентифікація об'єктів підвищеної небезпеки. Відповідно до Постанови КМУ №11, обладнання, яке працює під тиском, а також системи з мастильною рідиною, було піддано процедурі ідентифікації та оцінки рівня небезпеки з занесенням до реєстру за участі фахівців з техногенної безпеки.

- системи вентиляції і газовидалення. Цех обладнано примусовою витяжною вентиляцією, що відповідає ДБН В.2.5-67:2013. Регулярно проводиться очищення фільтрів, перевірка систем на наявність витоків, засмічень або порушень тяги. Забезпечено контроль за якістю повітря в зоні дихання працівників.

- інформування та навчання персоналу. Працівники проходять первинний, періодичний і цільовий інструктаж з техногенної безпеки. Проводяться навчання з евакуації, протидії аваріям та діям у разі задимлення, викиду мастил, обриву комунікацій тощо.

- засоби індивідуального та колективного захисту. У разі небезпечної ситуації персонал має доступ до засобів захисту (респіратори, захисні окуляри, рукавиці, спецодяг). У виробничому приміщенні передбачено аварійний душ, аптечки, вогнегасники, кнопки аварійного відключення подачі живлення.

- сейсмостійкість і конструктивна безпека. Згідно з ДБН В.1.1-12:2009 конструкції цеху проєктуються з урахуванням можливих вібрацій, ударних навантажень, динамічного впливу обладнання, а також обмеження поширення техногенних факторів (вибух, падіння конструкцій) за допомогою протиаварійних перегородок.

ВИСНОВКИ

1. У результаті виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи розглянуто, проаналізовано та технічно обґрунтовано напрямки удосконалення конструкції кривошипного преса з С-подібною станиною, які спрямовані на підвищення якості штампування та збільшення ресурсу штампового інструменту.

2. Проведено аналіз сучасного стану обладнання та встановлено, що найбільш критичними факторами, які впливають на точність і якість штампування, є прогин станини при навантаженні, а також недостатня жорсткість вузлів направлення повзуна. Це зумовлює нерівномірне навантаження на інструмент, його передчасне зношення і зниження якості отриманих заготовок.

3. Проведено розрахунки на міцність і жорсткість станини преса К2130 згідно з прийнятою методикою. Аналітично визначено напружено-деформований стан та отримано результати, які свідчать про необхідність конструктивних змін. Запропоновано технічно обґрунтовані заходи з модернізації С-подібної станини, які включають підсилення вузлів, зміну геометрії перерізу, впровадження додаткових ребер жорсткості.

4. В експлуатаційній частині розроблено ефективні технічні рішення щодо автоматизації допоміжних операцій: подачі, розмотування заготовок та виштовхування готових деталей. Побудовано компонувальні та кінематичні схеми кліщової подачі, розмотувача та виштовхувачів, складено циклограму роботи преса з урахуванням фаз механічного циклу.

5. У розділі «охорони праці та техногенної безпеки» виконано виявлення і оцінку шкідливих та небезпечних факторів у цеху холодного штампування, серед яких домінують шум, вібрація, гострі кромки деталей, пил та небезпека ураження електричним струмом. Розроблено практичні рекомендації щодо зниження їх впливу.

6. Результати роботи можуть бути рекомендовані для впровадження на діючих підприємствах, зокрема в листоштампувальних цехах машинобудівної та металургійної галузей, з метою підвищення ефективності та надійності штампового обладнання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Явтушенко О.В. Проектування та розрахунок кривошипних пресів // Навч. посібник. – Запоріжжя: Вид-во ЗНТУ, 2006. – 301 с.
2. Технологічні машини: підручник для студентів спеціальностей механічної інженерії закладів вищої освіти./ Гнітько С.М., Бучинський М.Я., Попов С.В., Чернявський Ю.А. - Харків: НТМТ, 2020. 258 с
3. Рудь Ю. С. Основи конструювання машин : підручник. 2-ге вид. Кривий Ріг : ФОП Чернявський Д.О., 2015. 492 с.
4. Васильченко Т.О, Шевченко І.А, Гречаний О.М. Опір матеріалів : навчально-методичний посібник Запоріжжя : ЗНУ, 2020. – 263 с.
5. Гайдамака А.В. Деталі машин. Основи теорії та розрахунків: навчальний посібник. Харків: Харківський політехнічний інститут, 2020.
6. Жук А. Я., Желябіна Н. К. Основи розрахунків приводів машин: Навчальний посібник. Запоріжжя: ЗДІА, 1996. 145 с.
7. Жук А. Я., Малишев Г. П. Основи технічного діагностування: навч-метод. посіб.– Запоріжжя: ЗДІА, 2007. – 114 с.
8. Кравченко В. М., Іщенко А. О., Сидоров В. А., Буцукін В. В. Експлуатація та обслуговування машин. Донецьк: Донбас, 2014. 543 с.
9. Numerical simulation of the fine blanking process of sheet titanium / J. Adamus, P. Lacki, W. Wieckowsky // Archives of Metallurgy and Materials, 2011. – Volume 56, Issue 2. – P. 431-437. 334. Investigation of metal flow direction during double – core rod rolling in slitting oval pass / A. Stefanik, S. Mróz, H. Dyja // Proceedings of the 12th International Scientific Conference “Achievements in Mechanical and Materials Engineering” AMME’2003, Gliwice- Zakopane, 2003. – P. 839-842
10. Quercy A. Travail des métaux en feuilles. Decoupage – emboutissage. – Paris: Dunod, 1962. – 288 p.
11. Metal forming handbook / Schuler. – Berlin; Heidelberg; New York etc.: Springer 1998. – 563 p.

12. Седуш В.Я. Надійність, ремонт і монтаж металургійних машин: Підручник.– 3–є вид., перероб. і доп. – К.:НМК ВО, 1992. – 368с.
13. Седуш В.Я. Надійність, ремонт і монтаж металургійних машин : підручник. 4-е вид.,перероб. і доп. Донецьк: ТОВ «Юго – Восток, Лтд», 2008. 379 с.
14. Ремонт металургійного обладнання : навч. посіб. / А. Я. Жук та ін. К. : вид. дім "Кондор", 2017. 236 с.
15. Технічне обслуговування металургійного обладнання : навч. посіб. / А. Я. Жук та ін. К. : вид. дім "Кондор", 2017. 288 с.
16. Про порядок забезпечення працівників спеціальним одягом, спеціальним взуттям та іншими засобами індивідуального захисту [Електронний ресурс] // Державний комітет України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду. – 2008. – Режим доступу до ресурсу: http://online.budstandart.com/ru/catalog/doc–page?id_doc=28566.
17. ДСН 3.3.6.042–99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень
18. ДБН В.2.5–28–2006. Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і штучне освітлення [Електронний ресурс] // Мінбуд України. – 2006. – Режим доступу до ресурсу: http://www.gorsvet.kiev.ua/wp–content/uploads/2016/08/ДБН–В.2.5–28–2006.pdf.
19. Геврик Е. О. Охорона праці. Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. / Е. О. Геврик. – К: Ельга, Ніка–центр, 2003. – 280 с.
20. ДБН В.1.1–7:2016.Пожежна безпека об'єктів будівництва Загальні вимоги [Електронний ресурс] // Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово–комунального господарства України. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: http://kbu.org.ua/assets/app/documents/dbn2/32.1.%20ДБН%20В.1.1–7~2016.%20Пожежна%20безпека%20об'єктів%20будівни.pdf.

21. Румянцев В. Р. Методичні вказівки до виконання розділу «Охорона праці та техногенна безпека» у дипломних роботах (проектах) для студентів ЗДІА спеціальностей МЧМ, МБ та інші / В. Р. Румянцев, І. О. Ткаліч. – Запоріжжя: ЗДІА, 2012. – 16 с.
22. Ткачук К. Н. Охорона праці та промислова безпека. Навч.посіб. / К. Н. Ткачук. та ін. – К: Основа, 2009. – 360 с.

ДОДАТКИ