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 Удосконалення механізму запобігання перевантаженню кривошипного пресу

Виконав: студент групи 6.1332

Півень Д.І.
(ПІБ) (підпис)

спеціальності

133 Галузеве машинобудування
(шифр і назва)

спеціалізація

(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма
133.00.12 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 133.00.12 Галузеве машинобудування
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедрою А.О. Власов

“____” _____20___ року

Завдання
до випускної кваліфікаційної роботи бакалавра

Півня Дмитра Ігоровича
(прізвище, ім’я, по батькові)

1. Тема бакалаврської роботи: «Удосконалення механізму запобігання перевантаженню кривошипного пресу»
керівник бакалаврської роботи викладач Васильченко Т.О.
затверджені наказом вищого навчального закладу від “27“ грудня 2024 року № 2031-с.
2. Строк подання студентом магістерської роботи 19 червня 2025 року.
3. Вихідні дані кваліфікаційної роботи техніко-економічні показники роботи пресового 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. План цеху– 1А1; 2. Прес кривошипний гарячештампувальний. Вид загальний – 2А1; 3. Муфта – 1А1; 4. Маховик – 1А3 5. Диск ведений – 1А3; 6. Мережевий графік капітального ремонту преса – 1А1.

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 _____ _ Д.І. Півень
(підпис) (прізвище та ініціали)

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

АНОТАЦІЯ

Півень Д.І. Удосконалення механізму запобігання перевантаженню кривошипного пресу.

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 підвищення надійності та безпеки роботи кривошипного гарячоштампувального преса шляхом удосконалення механізму запобігання перевантаженню. Проаналізовано сучасні типи захисних пристроїв, виявлено їх недоліки та визначено основні вимоги до ефективної системи захисту.

Запропоновано нову конструкцію механізму захисту, що забезпечує оперативне реагування на перевищення допустимих навантажень і автоматичне відновлення працездатності після спрацювання. Наведено основні принципи його дії, виконано інженерні розрахунки основних елементів.

Результати роботи можуть бути використані при модернізації існуючих пресів або в процесі проектування нового обладнання для обробки тиском.

Ключові слова: КРИВОШИПНИЙ ПРЕС, ПЕРЕВАНТАЖЕННЯ, ГІДРАВЛІЧНИЙ ЗАХИСТ, ШТАМПУВАННЯ, НАДІЙНІСТЬ.

ABSTRACT

Piven D.I. Improvement of the Mechanism for Preventing an Overload of the Crank Press

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.

This bachelor's thesis addresses the improvement of the overload protection mechanism in a crank hot-stamping press to enhance its reliability and operational safety. The study analyzes existing types of protection devices, identifies their shortcomings, and outlines key requirements for an effective protection system.

A new design of a hydraulic protection mechanism is proposed, which provides prompt response to excessive loads and automatic restoration of functionality after actuation. The working principles of the system are described.

The results of this work can be applied in the modernization of existing presses or in the design of new metal forming equipment.

Keywords: CRANK PRESS, OVERLOAD, HYDRAULIC PROTECTION, STAMPING, RELIABILITY

ЗМІСТ

ВСТУП 7

1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА 8

1.1. Загальна характеристика ковальсько-штампувального моторобудівного заводу **Помилка! Закладку не визначено.**

1.2 Організація та управління цехом 89

1.3 Характеристика основного та допоміжного обладнання ковальсько-пресового цеху **Помилка! Закладку не визначено.**1

1.4 «Вузькі місця» ковальсько-штампувального цеху заходи щодо їх усунення 15

2 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА 1818

2.1 Призначення й основні параметри кривошипного гарячештампувального пресу 18

2.2 Розрахунок основних параметрів преса **Помилка! Закладку не визначено.**5

2.2.1 Визначення кінематичних параметрів головного виконавчого механізму **Помилка! Закладку не визначено.**25

2.2.2 Розрахунок допустимих зусиль на повзуні **Помилка! Закладку не визначено.**28

2.3 Удосконалення механізму запобігання перевантаженню кривошипного пресу **Помилка! Закладку не визначено.**6

2.3.1 Огляд і аналіз існуючих видів запобіжних пристроїв 36

2.3.2 Модернізазія системи запобігання перевантаженням **Помилка! Закладку не визначено.**8

3 ЕКСПЛУАТАЦІЙНА ЧАСТИНА 5252

3.1 Послідовність монтажа пресу 52

3.2 Складання річного графіка планово-попереджувальних ремонтів обладнання цеху 5253

3.3 Розробка мережевого графіку ремонту обладнання **Помилка! Закладку не визначено.**55

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА 6060

4.1 Аналіз потенційних і шкідливих факторів умовах роботи штампувальника в ковальсько-пресовому цеху 6060

4.2 Заходи щодо захисту від виявлених шкідливих та небезпечних виробничих факторів **Помилка! Закладку не визначено.**62

4.3 Виробнича санітарія 64

4.3.1 Мікроклімат **Помилка! Закладку не визначено.**64

4.3.2 Склад повітря робочої зони 65

4.3.3 Освітлення виробничих приміщень 66

4.3.4 Електробезпека 67

4.4 Заходи з пожежної безпеки 68

4.5 Дослідження способів захисту від надмірного тепловиділення 69

ВИСНОВКИ 7272

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ 73

ПЕРЕЛІК ВИКОНАНИХ КРЕСЛЕНЬ 77

ВСТУП

У сучасному машинобудуванні кривошипні преси є одним з найпоширеніших типів штампувального обладнання, яке широко застосовується для виконання операцій обробки тиском: штампування, витягування, пробивання, згинання тощо. Надійна та ефективна робота таких пресів безпосередньо впливає на продуктивність підприємства, якість виготовленої продукції та безпеку виробничого процесу.

Однією з актуальних проблем в експлуатації кривошипних пресів є ризик їх перевантаження. Перевантаження може виникати внаслідок технологічних збоїв, помилок оператора, зміни властивостей оброблюваного матеріалу або несправності інструменту. Це призводить до передчасного зносу елементів пресу, порушення точності роботи, а в окремих випадках — до аварійних ситуацій. Саме тому впровадження ефективних механізмів захисту від перевантаження є важливим напрямом удосконалення обладнання.

Метою даної роботи є аналіз існуючих систем запобігання перевантаженню кривошипних пресів, виявлення їх недоліків та розробка пропозицій щодо вдосконалення таких механізмів з урахуванням сучасних вимог до надійності, безпеки та економічної доцільності. У роботі розглянуто як механічні, так і гідравлічні та електронні системи захисту, проведено порівняльний аналіз їх ефективності, а також запропоновано конструктивне рішення, що дозволяє підвищити надійність роботи пресу в умовах підвищених навантажень.

Практична значущість теми полягає у можливості впровадження запропонованих рішень на діючих виробництвах з метою підвищення експлуатаційної безпеки, зниження витрат на ремонт і обслуговування, а також покращення загальної ефективності пресового обладнання.

1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1 Загальна характеристика ковальсько-штампувального моторобудівного заводу

Ковальсько-штампувальний цех розміщено в окремій двопрольотній виробничій будівлі з такими габаритними розмірами: довжина — 115,4 м, ширина — 48 м, висота — 16,2 м. До головного корпусу прилягає триповерхова прибудова, в якій розташовані адміністративно-побутові приміщення.

У межах цеху здійснюється повний цикл технологічних операцій з гарячої об'ємної штамповки: попереднє різання металу на заготовки заданих розмірів, їх нагрівання, формоутворення за допомогою штампування, обрізання облоя та прошивання отворів. Крім основного виробничого процесу, у цеху виконуються транспортні операції та технічне обслуговування обладнання.

Операції термічної обробки поковок, а також очищення їх від окалини проводяться у спеціалізованому термічному підрозділі підприємства.

Організація виробничого простору передбачає розміщення основного технологічного обладнання у вигляді штампувальних ліній, орієнтованих як у поздовжньому, так і в поперечному напрямках. Нагрів заготовок здійснюється у газополуменевих печах. Для внутрішньоцехового переміщення вантажів застосовуються мостові крани, електрокари та механізовані транспортні засоби (транспортери, рольганги тощо). Виробничі відходи, зокрема облой, накопичуються на спеціально відведеному майданчику з подальшим вивезенням за межі цеху.

Для забезпечення безперервності та ефективності виробничого процесу в структурі цеху функціонує розвинена система складування, а також ремонтно-обслуговуючі служби. Вони, у взаємодії з загальнозаводськими ремонтними підрозділами, відповідають за підтримання працездатного стану технологічного обладнання та штампувального оснащення.

Організація технологічного процесу ґрунтується на принципах

подетального проєктування. Для кожного типорозміру поковки, що запускається у виробництво, розробляється повний маршрут технологічної обробки з відповідними інженерними розрахунками. Вказані роботи виконуються фахівцями-технологами цеху, які також беруть участь у розробці конструкцій штампів і технологічного оснащення. За потреби до технологічної розробки залучаються інженерно-технічні працівники профільних загальнозаводських відділів.

1.2 Організація та управління цехом

Організація та управління діяльністю кузнечно-штампувального цеху мають забезпечувати безперервність виробничого процесу, своєчасне виконання затвердженої програми, постійне вдосконалення технологій і виробничих процедур, а також раціональне використання матеріальних та трудових ресурсів.

Система управління цехом побудована таким чином, щоб сприяти впорядкованій організації виробничих процесів, чіткому розподілу обов'язків, повноважень і відповідальності серед персоналу. В її основі лежить принцип єдиноначальності, який реалізується на всіх рівнях управління як самим цехом, так і його структурними підрозділами.

Орган управління функціонує за двома взаємодоповнюючими напрямами: лінійним (вертикальним) та функціональним.

До лінійної структури належать безпосередньо керівні особи: начальник цеху, начальники виробничих ділянок, майстри. Вони здійснюють пряме оперативне керівництво виробничими процесами. Функціональний апарат представлений внутрішньоцеховими службами і бюро, які виконують спеціалізовані завдання в межах своєї компетенції. Вони відповідають за технічне забезпечення, планування, контроль якості, ремонтно-експлуатаційне обслуговування та інші підтримуючі функції, що забезпечують стабільний хід виробництва.

Начальник цеху має у прямому підпорядкуванні:

- заступника з технічних питань,
- заступника з виробництва,
- планово-економічне бюро,
- бухгалтерію,
- інспектора з кадрів.

Заступнику начальника цеху з технічних питань підпорядковуються:

- служба штампо-інструментального господарства,
- механік цеху,
- енергетик цеху.

Заступнику начальника цеху з виробництва підпорядковуються:

- виробничо-диспетчерське бюро (ВДБ),
- начальники виробничих відділень, у підпорядкуванні яких знаходяться майстри.

Керівнику штампо-інструментального господарства цеху підпорядковуються:

- відділення ремонту штампів,
- склад штампів,
- інструментальні комори.

Механіку цеху підпорядковуються:

- ремонтно-механічне відділення,
- склад запасних частин до обладнання,
- майстерня з ремонту нагрівальних установок,
- комори електрообладнання.

Старшому майстру з ремонту та експлуатації печного господарства підпорядковуються:

- майстерня з ремонту печей,
- склад вогнетривких матеріалів,
- пірометричний пункт.

Технічна частина діяльності цеху координується технічним відділом заводу під керівництвом головного металурга.

Заготівельне відділення підпорядковується загальнозаводському управлінню постачання металу.

Контроль за якістю продукції здійснюється апаратом технічного контролю, який входить до складу загальнозаводського відділу технічного контролю (ВТК) та підпорядковується безпосередньо начальнику ВТК підприємства.

1.3 Характеристика основного та допоміжного обладнання ковальсько-пресового цеху

Технічна оснащеність ковальсько-штампувального цеху є одним з визначальних чинників його виробничої потужності, гнучкості технологічного процесу та здатності до реалізації широкого спектра штампувальних операцій. Відповідно до завдань цеху, його основне обладнання включає широкий перелік гарячештампувальних пресів, молотів, горизонтально-ковальських машин, а також допоміжного устаткування для обрізки облоя, прошивки, а іноді й чеканки поковок.

У межах проєктування цеху типорозмірна структура основного обладнання була визначена на основі даних базового цеху, який виконує аналогічні виробничі функції. Загальну кількість обладнання в проєктованому цеху поділено на конкретні моделі відповідно до встановлених у базовому цеху пропорцій — згідно з таблицею 1.1.

Таке рішення дозволяє забезпечити технологічну спадковість, полегшити уніфікацію штампів і технологічного оснащення, а також оптимізувати систему обслуговування обладнання.

Таблиця 1.1 – Розрахунок кількості штампувального обладнання

№	Характеристика обладнання	Модель	Номінальне зусилля / маса	Кількість (базовий цех)	Частка, %
1	Кривошипні гарячештампувальні преси	КБ8542	16,0 МН	4	11,1
		КБ8546	40,0 МН	3	8,3
		К8548	63,0 МН	2	5,5
2	Штампові молоти (паровоздушні)	М2143	2,0 т	4	11,1
		М2145	3,15 т	2	5,5
3	Горизонтально-ковальські машини з вертикальним роз’ємом матриць	ВВ1134	2,5 т	2	5,5
		В1136	4,0 т	2	5,5
4	Обрізні однокривошипні закриті преси	КА9532	1,6 МН	4	11,1
		КБ9534	2,5 МН	4	11,1
		КА9535	3,15 МН	2	5,5
		КА9536	4,0 МН	2	5,5
		К9538	6,3 МН	2	5,5
5	Кривошипно-колінні чеканкові преси	КБ8336	4,0 МН	1	3,3
		КБ8340	10,0 МН	2	5,5
	Усього	–	–	36	100%

Усього в проєктованому цеху передбачається встановлення 36 одиниць основного штампувального обладнання, що забезпечить виконання заданих обсягів гарячого об’ємного штампування з урахуванням технічної ефективності кожного типу машин.

Кожна модель обладнання відображає певний діапазон сил штампування або мас удару, що дозволяє ефективно охопити поковки різних розмірів і складності. Такий підхід дозволяє не лише підтримувати необхідну гнучкість

виробництва, але й забезпечує високу ступінь завантаження обладнання при оптимальних енергетичних і експлуатаційних витратах.

Нагрівальні установки для попереднього нагріву металу є невід'ємною складовою технологічного комплексу штампувальних ліній і визначають енергетичну ефективність та якість процесу гарячого об'ємного штампування. У проєктованому ковальсько-штампувальному цеху передбачено 17 штампувальних ліній, які формуються за трьома основними типами обладнання:

- 7 ліній на базі кривошипних гарячештампувальних пресів (КГШП);
- 6 ліній — на базі штампувальних молотів;
- 4 лінії — на базі горизонтально-ковальських машин (ГКМ).

Для забезпечення термічної підготовки заготовок до деформування застосовуються камерні печі з нерухомим подом (для КГШП і молотів) та камерні щілинні печі (для ГКМ), які оптимізовані для поетапного та рівномірного нагріву. Основним параметром, що визначає продуктивність печей, є умовна площа поду, яка була вибрана за даними базового підприємства з урахуванням аналогічного профілю виробництва.

Основні технічні характеристики нагрівальних печей наведено в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Типи та кількість нагрівальних печей

Тип печі	Умовна площа поду, м²	Продуктивність, кг/год	Макс. витрата природного газу, м³/год	Габаритні розміри, м (Д×Ш×В)	Кількість, од.
Камерна однокамерна	1,45	290	75	2,24 × 2,1 × 2,28	9
Камерна однокамерна	1,9	580	95	2,6 × 2,1 × 2,28	5
Камерна щілинна	0,8	160–300	50	1,8 × 1,76 × 2,1	3

Таким чином, для ефективного функціонування цеху передбачено встановлення 17 печей різних типів, які забезпечать необхідний температурний режим у всіх ділянках гарячого штампування.

Організація внутрішньоцехового транспорту має ключове значення для безперервності виробничого процесу та оптимізації матеріальних потоків. Основу транспортної інфраструктури ковальсько-штампувального цеху становлять мостові крани, які виконують функції універсальних вантажопідіймальних механізмів для переміщення заготовок, оснастки, готових деталей та інструментів.

Основні положення щодо підбору та розміщення транспортного обладнання:

- Виходячи з практичного досвіду аналогічних виробництв, орієнтовно приймається один мостовий кран на кожні 60 метрів довжини цеху.
- Вантажопідіймальність кранів визначається масою найбільш важкого штампа, контейнера з деталями або заготовками. За аналогією з базовим підприємством, приймається встановлення двобалочних опорних мостових кранів вантажопідіймальністю 20 т і більше, обладнаних головним і допоміжним крюками.
- Швидкість переміщення мостових кранів — до 120 м/хв.

Крім того, у спеціалізованих ділянках цеху використовуються такі допоміжні транспортні засоби:

- Електротельфери — застосовуються переважно в травильному відділенні, переміщуються по монорейках на висоті 3–6 м зі швидкістю 15–30 м/хв.
- Пластинчасті (стаціонарні) транспортери — призначені для передачі нагрітих заготовок від печей до пресів та обрізних установок. Максимальний нахил не перевищує 20°, швидкість транспортування – 12–45 м/хв.
- Електро- та автокари з підіймальними платформами — використовуються для монтажу та демонтажу штампів на пресах.

- Причепні візки на вузькоколійних рейках — забезпечують переміщення вантажів у межах цеху за допомогою автотягів.

1.4 «Вузькі місця» ковальсько-штампувального цеху заходи щодо їх усунення

У ковальсько-штампувальному цеху слабкими місцями є:

- вузли з високим динамічним або тепловим навантаженням,
- елементи, що працюють в умовах ударного навантаження або мають складну кінематику (наприклад, кривошипно-шатунні механізми, пічні футерівки, бойки молотів),
- транспортні системи, які забезпечують міжопераційне переміщення.

Для забезпечення безперебійної роботи необхідно:

- впровадження планово-попереджувального обслуговування (ППО),
- використання систем діагностики стану обладнання (вібродіагностика, тепловізійний контроль),
- ретельне ведення ремонтної документації (журнали дефектів, обліку ремонтів, планів ТО).

При роботі кривошипних гарячештампувальних пресів виникають такі проблеми: зношення кривошипно-шатунного механізму (особливо підшипників, шатунів, втулок); деформація або тріщини в станині, особливо при перевантаженні; несправності гідравліки або пневмосистеми змащення; розрегулювання зазорів у напрямних повзуна, що веде до перекосів; залипання або заїдання пневмофрикційних муфт та гальм.

Профілактика:

- Регулярна перевірка стану змащення та регулювання.
- Контроль навантаження (щоб уникнути перевантажень).
- Вібродіагностика для виявлення раннього зносу.

Типові проблеми у роботі штампувальних пароповітряних молотів: зношення штока та направляючих, що призводить до перекосів бойка; утворення мікротріщин у бойку через повторне динамічне навантаження; порушення

герметичності пневмосистеми, падіння тиску; зношення клапанної групи або повітряних камер.

Профілактика:

- Контроль тиску та герметичності повітряної системи.
- Регулярне шліфування бойка або його заміна.
- Періодична перевірка напрямних та компенсація люфтів.

Типові проблеми у роботі горизонтально-кувальних машин: поломки матриць і штампів через перенавантаження або неправильне центрування заготовки; зношення вузлів приводу (редуктори, вали); проблеми з механізмами подачі заготовок; деформація корпусу при систематичних ударах або жорсткому перекосі.

Профілактика:

- Центрування заготовок.
- Контроль моменту деформації.
- Технічне обслуговування приводу та систем подачі.

Типові проблеми у роботі нагрівальних печей: прогорання футерівки або зниження теплоізоляційних властивостей; вихід з ладу пальників або запальників (часто через засмічення або нагар); пошкодження термопар, пірометрів, регуляторів температури, зношення механізмів відкривання дверей або поду.

Профілактика:

- Періодична заміна футерівки (вогнетривких матеріалів).
- Чистка пальників.
- Регулярна калібровка температурних датчиків.

Типові проблеми у роботі мостових кранів: зношення канатів, барабанів, гальмівних систем; вихід з ладу електродвигунів приводу (через перегрів або перенавантаження); несправності в системі керування або контакторній групі; заїдання коліс при руху по рейках, втрата паралельності колії.

Профілактика:

- Регламентна перевірка канатів (заміна при понаднормовому зносі).

- Перевірка та заміна мастила у редукторах.
- Тестування гальмівної системи.
- Діагностика електрообладнання.

Проблеми у роботі транспортного обладнання (тельфери, транспортери, автокари): розтягування ланцюгів або знос роликів у транспортерів; зношення електроприводів та гальмівних вузлів у електрокарах; пошкодження елементів рами, осей, коліс через ударні навантаження.

Профілактика:

- Регулярне обслуговування ходової частини.
- Заміна витратних матеріалів (ремені, підшипники, ланцюги).
- Контроль акумуляторних батарей в електрокарах.

2 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

2.1 Призначення й основні параметри кривошипного гарячештампувального пресу

Пресове обладнання, що застосовується у гарячому та холодному штампуванні, умовно поділяється на дві основні категорії: гідравлічні та кривошипні преси. Кривошипні преси вирізняються більш компактними габаритами, нижчою вартістю виготовлення та експлуатації, а також вищою продуктивністю порівняно з гідравлічними аналогами. Окрім цього, такі преси забезпечують високу точність формування виробів, що дозволяє зменшити припуски на наступні технологічні операції, зокрема механічну обробку. Саме ці характеристики сприяють їх широкому впровадженню у ковальсько-штампувальних цехах для масового і серійного виробництва.

На кривошипних пресах реалізуються основні технологічні операції як гарячого, так і холодного штампування: витягування, згинання, гнуття, пробивання, прошивання, вирубування тощо.

Кривошипні преси класифікуються за принципом дії на:

- Преси простої дії, що є найпоширенішими завдяки простій конструкції, високій універсальності та широкому спектру технологічних можливостей;
- Преси подвійної дії, які застосовуються для складних технологічних процесів, що потребують послідовного або комбінованого впливу.

Преси простої дії мають один виконавчий механізм та реалізують базову кінематичну схему. Вони можуть бути:

- Одностійковими з відкритою станинною конструкцією, що забезпечує добрий доступ до робочої зони;
- Двостійковими відкритого або закритого типу, що підвищує жорсткість та вантажопідйомність.

У промисловості переважно використовується штампування дрібних і середніх за розміром деталей, що зумовлює домінування пресів простої дії з

відкритими станинами, які складають до 80–85% парку кривошипного обладнання.

Кривошипні гарячештампувальні преси призначені для виконання різноманітних операцій гарячого штампування із сортового прокату, у тому числі відкритого й закритого штампування, а також гарячого пресування. Їх застосування є доцільним у масовому та крупносерійному виробництві.

До ключових переваг кривошипних гарячештампувальних пресів належать:

- Висока швидкодія, що дає змогу суттєво скоротити цикл обробки;
- Підвищена конструкційна жорсткість, яка забезпечує стабільну точність і зменшення пружних деформацій;
- Компактність робочого простору, що спрощує обслуговування та інтеграцію у виробничу лінію.

Висока частота ходів повзуна зумовлена необхідністю мінімізувати тривалість контакту між гарячою заготовкою та штампом, що знижує теплове навантаження на штамп і покращує якість формування.

Конструктивні особливості кривошипних гарячештампувальних пресів

Серед основних конструктивних характеристик таких пресів виділяють:

- Жорстка компоновка головних вузлів, що необхідна для забезпечення точності та стабільності процесу при значних навантаженнях;
- Посилені направляючі повзуна, які зменшують ризик перекосів при діянні позацентрових сил;
- Збільшене число ходів повзуна на хвилину, що дозволяє ефективно працювати з розігрітим металом.

Типовий кривошипний прес гарячого штампування має зварну металеву станину, яка складається з двох частин, стягнутих чотирма потужними болтами. У станині реалізовано систему направляючих для повзуна, що розташовані у верхній та нижній частинах. Точне регулювання зазорів у направляючих здійснюється за допомогою гвинтів та клинових механізмів.

Привід має двоетапну конструкцію, яка включає клинопасову передачу та передачу зубчастого типу. На проміжному валу консольно встановлюється

маховик, що акумулює енергію приводу. Для підвищення надійності та точності роботи вузли з'єднуються шпонками, пресовими посадками з натягом або конічними кільцями.

Схематичне зображення конструкції типового гарячоштампувального кривошипного преса представлено на рисунку 2.1.

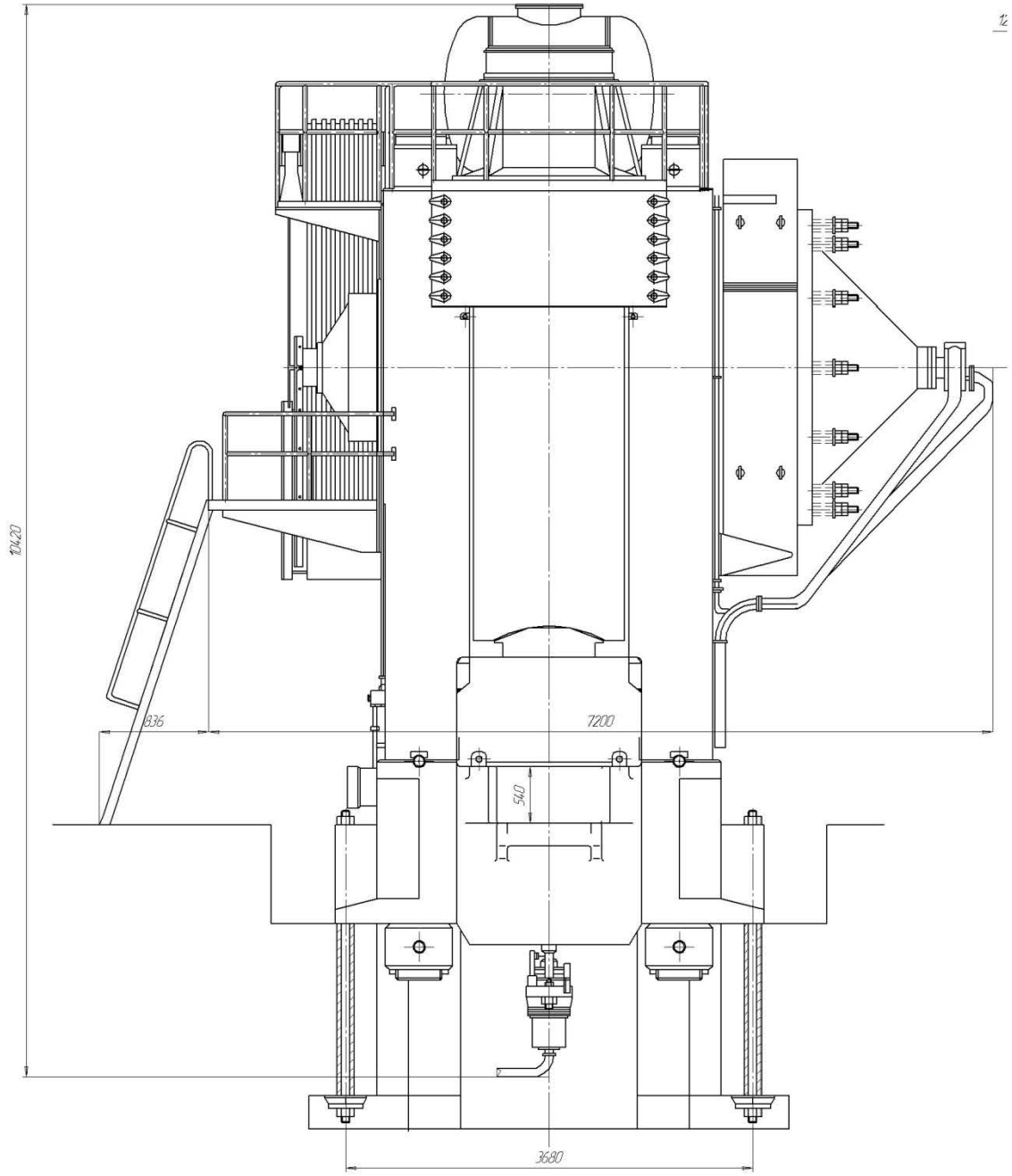


Рисунок 2.1 - Загальний вид пресу

У конструкції преса муфта та гальмо розташовуються безпосередньо на ексцентриковому валу, що дещо збільшує загальні габарити цих вузлів. Проте таке компонування має низку переваг:

- зменшується інтенсивність зносу фрикційних накладок муфти;
- знижується ймовірність заклинювання рухомих частин у процесі роботи, що позитивно впливає на надійність та стабільність функціонування обладнання.

Шатун у даній конструкції виготовляється коротким та підвищеної жорсткості, що сприяє зменшенню пружних деформацій під час роботи.

Повзун оснащений хоботоподібним приливом, у якому передбачено додаткові направляючі елементи.

- Встановлення верхніх допоміжних напрямних дозволяє ефективно зменшити перекоси повзуна, особливо у випадках дії позацентрових навантажень, що характерні для багатьох штампувальних операцій.
- Це рішення також знижує зношення напрямних поверхонь та сприяє стабільності ходу повзуна.

У конструкцію повзуна інтегровано верхній виштовхувач, який активується при зворотному русі повзуна через відповідний кінематичний зв'язок із шатуном.

У робочому столі преса встановлений нижній виштовхувач, що забезпечує видалення деталі або залишків заготовки після завершення формоутворення.

Регулювання штампової висоти здійснюється за допомогою клинового столу, що дозволяє точно адаптувати положення нижнього штампа до конкретних умов роботи.

Крім того, стіл-клин використовується для розвантаження преса після завершення циклу гарячого штампування: це виконується шляхом прикладання коротких ударних імпульсів (болванкою) до спеціального виступу, що залишається в штампі після охолодження.

Ось глибоко перероблений текст із технічним стилем і логічною структурою, придатний для включення у дипломну роботу або технічну документацію:

Передача енергії у кривошипному гарячоштампувальному пресі здійснюється за допомогою послідовного механічного зв'язку між основними вузлами приводу. Кінематична схема пресу представлена на рис. 2.2.

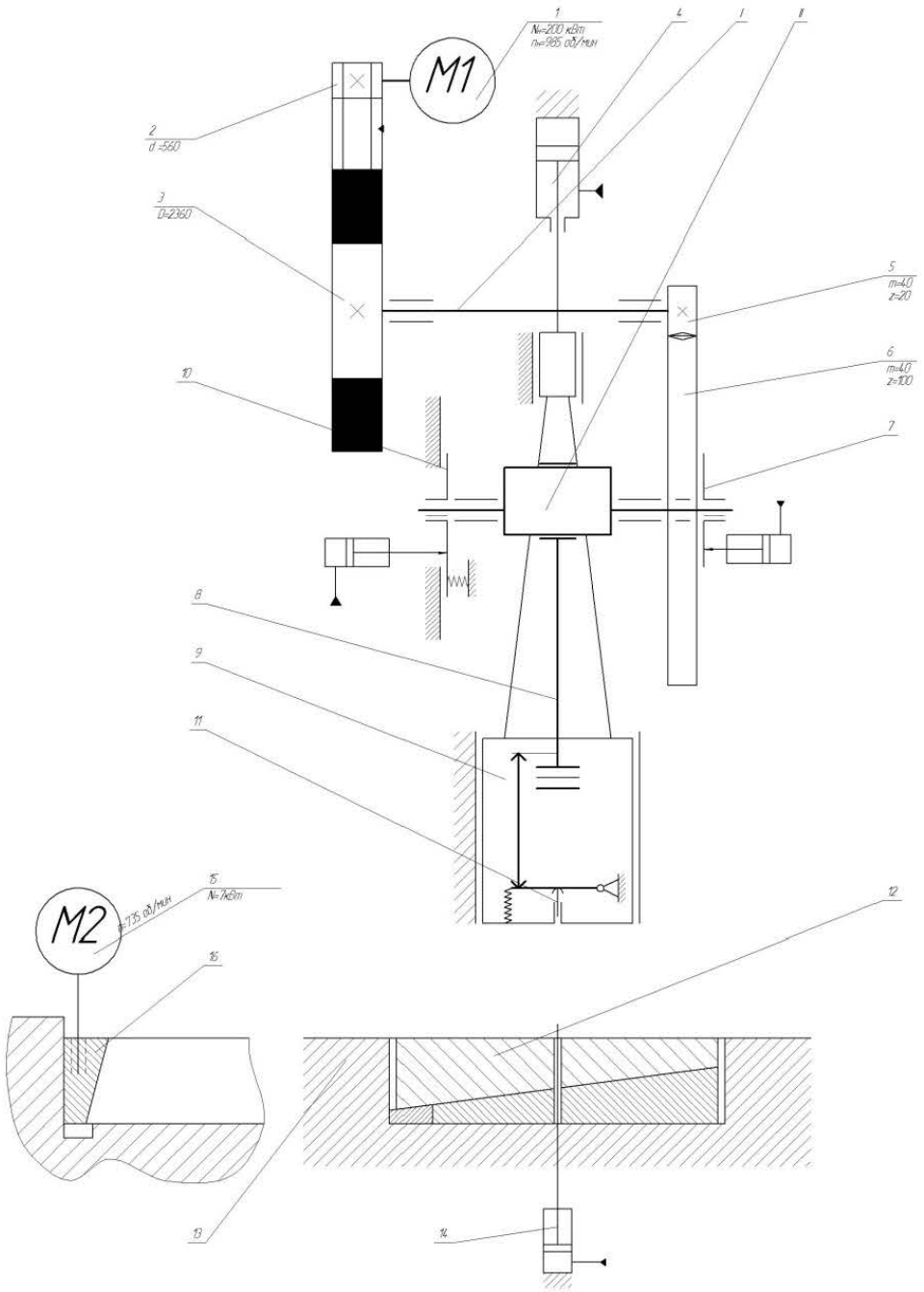


Рисунок 2.2 – Кінематична схема гарячештампувального пресу

Обертальний рух від електродвигуна (1) передається на маховик (3) через клинопасову передачу (2). Маховик виконує функцію веденого шківа у цій передачі та встановлюється консольно на приводному валу I. Він акумулює кінетичну енергію та забезпечує її рівномірну подачу в систему під час штампувального циклу.

Далі, від приводного вала за допомогою зубчастої передачі, яка складається з ведучої шестерні (5) і зубчастого колеса (6), обертання передається на ексцентриковий вал II. На обох кінцях цього вала розміщено:

- фрикційну пневматичну муфту (7), що забезпечує кероване зчеплення приводу;
- дискове гальмо (10), яке використовується для оперативного зупинення обертання вала.

Після активації муфти (7), крутний момент від зубчастого колеса (6) передається на шатун (8), який, у свою чергу, приводить в дію повзун (9), що здійснює зворотно-поступальний рух.

У повзун вбудовано верхній виштовхувач (11), який активується за допомогою шатуна під час зворотного ходу повзуна. У нижній частині станини, у столі преса, встановлено нижній виштовхувач (14), що сприяє ефективному видаленню готової деталі або відходів після завершення циклу штампування.

Штампова висота — відстань між верхнім та нижнім штампами у крайніх положеннях повзуна — регулюється за допомогою клинового столу (12), який розташований у станині преса (13). Така система регулювання дозволяє точно налаштовувати геометричні параметри робочого простору відповідно до вимог технологічного процесу.

Технічна характеристика пресу наведене в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Основні технічні показники кривошипного преса для гарячого штампування

№	Технічний параметр	Значення
1	Зусилля номінальне, МН	40
2	Амплітуда ходу повзуна, мм	400
3	Частота циклів (хід/хв)	50
4	Висота замкненого штампового простору, мм	1000
5	Межа регулювання висоти столу, мм	15
6	Відстань між напрямними колонами, мм	1700
7	Виштовхувач верхній:	
	• Хід, мм	75
	• Зусилля, кН	200
8	Виштовхувач нижній:	
	• Хід, мм	200
	• Зусилля, кН	2000
9	Габарити робочого столу, мм (мін.):	
	• По ширині (зліва направо)	1680
	• По глибині (спереду назад)	1620
10	Габарити повзуна, мм:	
	• По ширині	1420
	• По глибині	1420
11	Розміри бокових прорізів (вікон), мм:	
	• Висота	900
	• Ширина	1000
12	Споживана потужність електропривода, кВт	200

2.2 Розрахунок основних параметрів преса

2.2.1 Визначення кінематичних параметрів головного виконавчого механізму

Початковою величиною, що задається стандартом для синтезу механізму є максимальна довжина ходу повзуна, яка становить S = 400 мм.

Радіус кривошипа дорівнює половині ходу повзуна:

$$R = \frac{S}{2} = \frac{400}{2} = 200 \text{ мм} \tag{2.1}$$

Довжина шатуна:

$$L_{Ш} = \frac{R}{\lambda} = \frac{200}{0.165} = 1210 \text{ мм}. \tag{2.2}$$

Переміщення, швидкість і прискорень повзуна визначається за формулами:

$$S = R\left[(1 - cos\,\alpha) + \frac{\lambda}{4}(1 - cos\,2\,\alpha)\right] \tag{2.3}$$

$$V = \omega R\left(sin\,\alpha + \frac{\lambda}{4} sin\,2\,\alpha\right), \tag{2.4}$$

$$J = \omega^2 R(cos\,\alpha + \lambda\, cos\,2\,\alpha). \tag{2.5}$$

де - кутова швидкість головного валу

$$\omega = \frac{\pi \cdot n_H}{30} \tag{2.6}$$

де - номінальне число ходів повзуна в хвилину.

$$\omega = \frac{\pi \cdot 50}{30} = 5.23 \quad c^{-1} \tag{2.7}$$

Кут повороту валу, що відповідає робочому ходу змінюється в межах від 0^0 до 90^0, тож за вищезазначеними формулами будуємо графіки зміни переміщення, швидкості та прискорення головного валу в залежгості від кута повороту

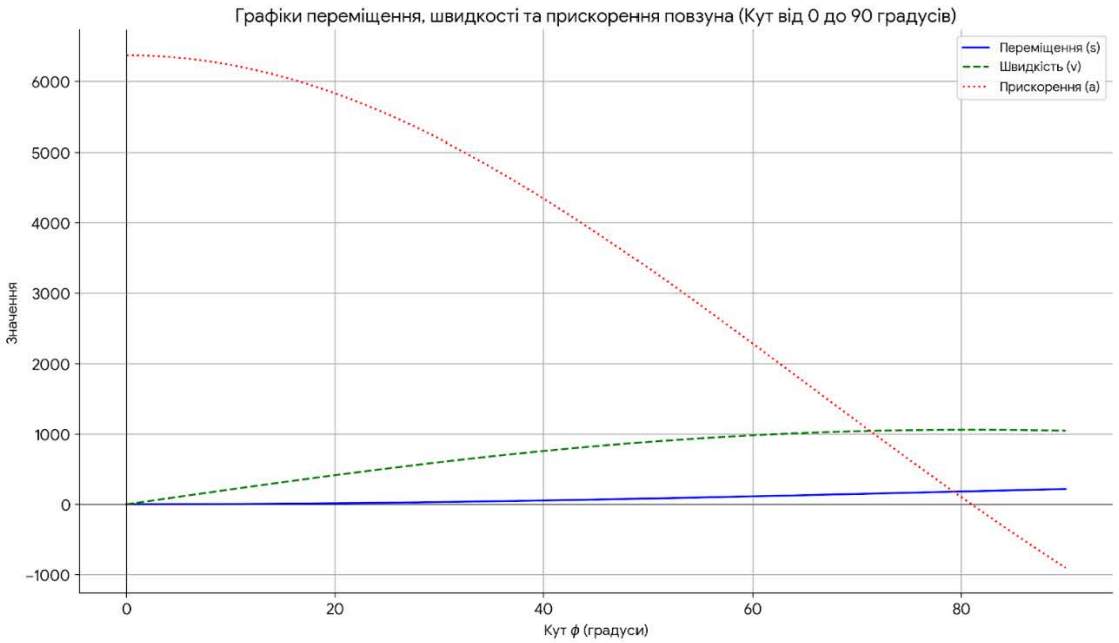


Рисунок 2.3 – Залежність переміщення, швидкості та прискорення повзуна від кута повороту головного валу

Статичний розрахунок полягає у визначенні залежності приведеного плеча m_k від кута повороту кривошипного валу α:

$$m_k = m_k^u + m_r^\mu \tag{2.8}$$

де m_k^u -ідеальне приведене плече:

$$m_k^u = R \cdot \left(sin\,\alpha + \frac{\lambda}{2} sin\,\alpha \right) \tag{2.9}$$

де m_k^{μ} - приріст приведеного плеча, обумовлений тертям в кінематичних парах:

$$m_k^{\mu} = \mu \cdot [(1+\lambda) \cdot r_a + \lambda \cdot r_B + r_0], \quad (2.10)$$

μ - коефіцієнт тертя в шарнірі, μ =0,05 [12];

r_a, r_B, r_0- відповідно радіуси кореневих опор, великої та малої голівок шатуна.

Діаметр d_0 кореневих опор вала находимо в залежності від номінального зусилля:

$$d_0 = 103\sqrt{P_N \div 1}$$

$$d_0 = 103\sqrt{40 \div 1} = 659.3 \quad (2.11)$$

Для даного пресу $d_0 = 610$ мм

Тоді розміри вала приймаємо:

$d_B = 1.2 \cdot d_0 = 1.2 \cdot 610 = 732 \approx 730$ мм,

$d_a = 1.75 \cdot d_0 = 1.75 \cdot 610 = 1067.5 \approx 1070$ *мм*,

$l_0 = 1.84 \cdot d_0 = 1.84 \cdot 610 = 1122.4 \approx 1120$*мм*,

$l_a = 0.92 \cdot d_0 = 0.92 \cdot 610 = 561.2 \approx 560$*мм*,

$r_0 = 0.11 \cdot d_0 = 0.11 \cdot 610 = 67.1 \approx 70$*мм*.

Плече тертя:

$$m_K^{\mu} = 0.05[(1 \div 0.165) \cdot 535 \div 0.165 \cdot 365 \div 305] = 49.42 мм$$

Розрахунок m_K приведений в таблиці 2.2

Таблиця 2.2 - Залежність приведеного плеча від кута повороту головного валу

α, град.	m_K, м
0	0,048
5	0,069
10	0,089
15	0,108
20	0,127
25	0,146
30	0,163
35	0,179
40	0,193
41,5	0,201

2.2.2 Розрахунок допустимих зусиль на повзуні

Схема головного валу представлена на рис. 2.4

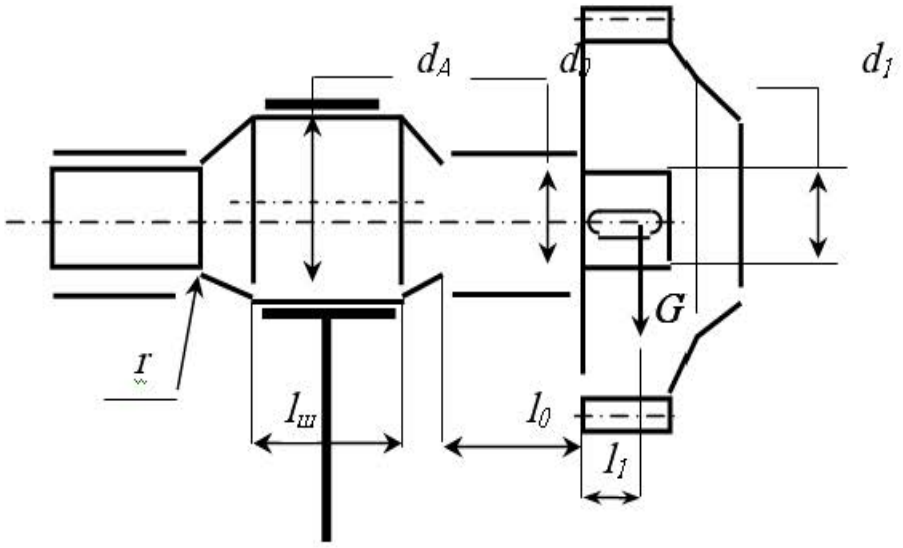


Рисунок 2.4– Розрахункова схема головного валу

Допустимі зусилля на повзуні:

τ_{-1}= 250 МПа

ψ_σ= 0,2

ψ_τ= 0,15

Тоді, для номінального кута $\alpha_H = 5^0$

$$P_g = \frac{0.2 \cdot 0.45^3 \cdot 400}{1.5 \cdot 0.72 \cdot \sqrt{2.35 \cdot 4 \cdot 0.0035^2 \cdot 0.37^2 + 3.9 \cdot 0.065^2}} = 52.8 \quad MH$$

Для всіх зубчатих коліс приводу визначаємо мінімальні крутні моменти, що допускаються за умовами їх міцності. Момент M_{min} дорівнює найменшому крутному моменту зубчатого колеса приводу, що допускається міцністю, приведеному до головного валу.

Мінімальний крутний момент по допустимій пластичнійдеформації зуб'їв:

$$M_{nn} = \left(\frac{[\sigma_K]_{max}}{C \cdot C_1 \cdot cos\,\beta}()^2 \frac{Z_K^2 \cdot m_H^2 \cdot b_K}{K_n \cdot (i \pm 1)}\right) \qquad (2.15)$$

де $[\sigma_K]max$ - нормальна допустима контактна напруга з урахуванням деякої пластичної деформації , $[\sigma_K]\,max = 1340$ МПа – для колеса із сталі 45Л;

$C = 214$ - коефіцієнт, що враховує модуль пружності матеріалу зубчатого колеса і шестерні.

C_1 - коефіцієнт, що враховує кут зачепленняС$_1 = 0.96$

β - кут нахилу зуба колеса $\beta = 30^0$ - шевронні колеса..

Z_K - число зубів колеса;$Z_K = 100$

m_n - нормальний модуль зачеплення

b_K - ширина колеса : $b_K = \psi \cdot m_n$

K_n - коефіцієнт навантаження при розрахунку по пластичних деформаціях поверхонь зубів, що допускаються: $K_n = k_{1n} \cdot k_2 \cdot k_4$

k_{1n} - коефіцієнт перевантаження. Оскільки кривошипні преси забезпечуються запобіжними пристроями, розрахованими на 30% перевантаження, то значення $k_{1n} = 1.3$

k_2 - коефіцієнт концентрації навантаження, що враховує нерівномірність розподілу навантаження по ширині колеса, виникаючу внаслідок пружної деформації опор валів, а також неточностей виготовлення, $k_2 = 1$;

k_4 - коефіцієнт, що враховує динамічне навантаження в зачепленні із-за неточностей виготовлення

Колова швидкість υ зачеплення визначається по формулі:

$$V = \frac{\pi \cdot n_K \cdot m_K \cdot Z_K}{60} \qquad (2.16)$$

де n_K - число оборотів валу колеса;

ι - передавальне відношення зубчатої передачі (для зовнішнього зачеплення приймається $\iota + 5 = 5 + 1 = 6$

Попереднє значення модуля зачеплення m_n визначається залежно від діаметру корінних опор валу d_0 і вибирається з переважного ряду: для односторонньої зубчатої передачі(матеріал колеса - сталь, шестерні – сталь):

$$m_k = (0.064 - 0.09) \cdot d_0$$

$$m_k = 0.064 \cdot 0.610 \approx 40 \qquad (2.17)$$

Тоді, колова швидкість зачеплення колеса:

$$V_K = \frac{3.14 \cdot 50 \cdot 0.04 \cdot 100}{60} = 10.46 \quad \frac{м}{с}$$

Отже, коефіцієнт динамічного навантаження $k_4 = 1.2$

$$b_K = \psi \cdot m_n$$

$$b_K = 12 \cdot 40 = 480 \quad мм \qquad (2.18)$$

Коефіцієнт навантаження K_n:

$$K_n = 1.3 \cdot 1 \cdot 1.2 = 1.5$$

Мінімальний крутний момент колеса:

$$M_{n_K} = \left(\frac{1340}{214 \cdot 0.96 \cdot 0.866}\right)^2 \cdot \frac{100^2 \cdot 0.04^2 \cdot 0.48}{1.56 \cdot 6} = 56.71 \cdot 0.82 = 46.5 \quad МН \cdot м$$

Аналогічно для шестерні

$$V_{Ш} = \frac{3.14 \cdot 250 \cdot 0.04 \cdot 20}{60} = 10.46 \quad \frac{м}{с}$$

Коефіцієнт динамічного навантаження $k_n = 1$. Коефіцієнт навантаження:

$$k_n = 1.3 \cdot 1 \cdot 1 = 1.3$$

$[\sigma_K]_{max}$ - для шестерні зі сталі 40Х

Мінімальний крутний момент шестерні:

$$M_n^{Ш} = \left(\frac{2000}{214 \cdot 0.96 \cdot 0.866}\right)^2 \cdot \frac{20^2 \cdot 0.04^2 \cdot 0505}{1.3 \cdot 1.2} = 126.35 \cdot 0.041$$

$$= 26.177 \quad МН \cdot м$$

<u>Перевірка по втомній міцності зубів колеса на вигин</u>

Мінімальний крутний момент визначається по формулі:

$$M_U = \frac{y_K \cdot m_H^2 \cdot Z_K \cdot b_K \cdot [\sigma_{-1U}] \cdot K_E}{0.34 \cdot K_U \cdot (1+\phi) \cdot \Phi_\sigma \cdot [n_U] \cdot COS\phi} \quad (2.19)$$

де $У_К$ - коефіцієнт форми зуба, залежний від числа зубів, кута їх нахилу, коефіцієнта зсуву і типу передачі , $У_K = 0{,}102$;

$[\sigma_{-1U}]$ - межа втоми матеріалу колеса при вигині і симетричному циклі;

$[\sigma_{-1U}]_K = 250 \quad МПа$ - для колеса зі сталі 45Л

$[\sigma_{-1U}]_Ш = 360 \quad МПа$ - для шестерні зі сталі 40Х

K_E - коефіцієнт, що враховує ступіньперекриття, приймається для шевронних коліс рівним 1,3;

K_U - коефіцієнт навантаження при вигині$K_{ЗИ} = \delta_U \cdot \sqrt[m_1]{n_N \cdot p_U \cdot K_{BEP} \cdot \iota_t}$ (2.20)

де δ_U - коефіцієнт інтенсивності вантаження при розрахунку на втомну міцність;

$$\delta_U = \sqrt[m_1]{\frac{60 \cdot T_\Sigma}{10^7} \cdot \Phi} = 0{,}472, \quad (2.21)$$

ι_t - передавальне відношеннявід головного валу до шестерні;

n_H - номінальне число ходів преса;

p_U - коефіцієнт використання числа ходів;

K_{BEP} - коефіцієнт вірогідності навантаження : $K_{BEP} = 1$

Показник m_1 залежить від властивостей матеріалу. Так, при твердості поверхонь зубів НВ<.350 показник $m_K = 6$

Тоді, коефіцієнт навантаження при вигині

$$K_U = 1 \cdot 1 \cdot 0.6 \cdot 1.2 = 0.72$$

ϕ - коефіцієнт, що враховує вантаження передачі моментом, зворотним по знаку робочого моменту, передаваному муфтою. $\phi = 0$

Φ_σ - коефіцієнт враховує властивості матеріалу:

$$\Phi_\sigma = \Phi_{\sigma_0} + \psi_\sigma \quad (2.22)$$

Φ_{σ_0} - коефіцієнт, що враховує концентрацію напруги і масштабний чинник, ${\Phi_{\sigma_0}}^{K} = 2.3$ ${\Phi_{\sigma_0}}^{Ш} = 2{,}35$

ψ_σ - коефіцієнт, залежний від співвідношення меж витривалості при симетричному і нульовому циклах зміни напруження, приймаємо${\psi_\sigma}^{K} = 0.1$ ${\psi_\sigma}^{Ш} = 0{,}2$

$[n_U]$ - коефіцієнт запасу міцності, при нереверсивному навантаженні $[n_U] = 2.2$

Тоді, мінімальний крутний момент:

$$M_U^K = \frac{0.102 \cdot 0.04^2 \cdot 100 \cdot 0.48 \cdot 250 \cdot 1.3}{0.34 \cdot 0.72 \cdot (1+0)(2.3+0.1) \cdot 2.2 \cdot 0.866} = 2.27 \quad МН \cdot м,$$

$$M_U^{Ш} = \frac{0{,}102 \cdot 0{,}04^2 \cdot 20 \cdot 0{,}5 \cdot 360 \cdot 1{,}3}{0{,}34 \cdot 0{,}72(1+0)(2{,}35+0{,}2) \cdot 2{,}2 \cdot 0{,}866} = 0{,}642 \quad МН \cdot м.$$

Оскільки момент $M_{\min}$ дорівнює найменшому крутному моменту, що допускається міцністю будь-якого зубчатого колеса приводу, приведений до головного валу, то

$$M_n^K = 46.5 \quad МН \cdot м,$$

$$M_U^K = 2.27 \quad \text{МН} \cdot м = M_{\min},$$

$$M_П^{Ш} = 5{,}18 \cdot \iota_з, \quad (2.23)$$

Графік залежності допустимих зусиль за міцністю головного вала та зубчаст

$$5{,}18 \cdot 5 = 25{,}9 \quad МН \cdot м,$$

$$M_U^{Ш} = 0{,}642\iota_з. \quad (2.24)$$

$M_U^{Ш} = 3{,}21 \quad МН \cdot м.$

Допустимі зусилля на повзуні по міцності зубчатоїпередачі визначається за формулою :

$$P_{\partial}^{ЗП} = K_1 \cdot K_2 \cdot \frac{M_{min}}{m_K} \qquad (2.25)$$

де K_1 - коефіцієнт нерівномірності навантаження,$K_1 = 1$;

K_2 - коефіцієнт типу приводу $K_2 = 1$.

$M_{\min}$ - найменший крутний момент, що допускається міцністю зубчастого колеса щодо осі головного валу;

m_K - приведене плече крутного моменту.

Результати розрахунків зведено до таблиці 2.3. Графік залежності допустимих зусиль за міцністю головного вала та зубчастої передачі від кута повороту головного вала представлений на рис.2.5

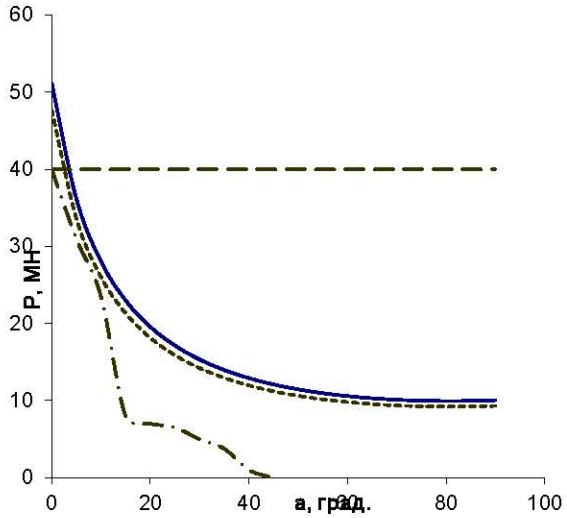


Рисунок 2.5 – Графік залежності допустимих зусиль за міцністю головного вала та зубчастої передачі від кута повороту головного вала

Таблиця 2.3 -Зусилля на повзуні, що допускається міцністю зубчатої передачі.

α, град	m_K,м	$P_Д^{з.п.}$,МН

0	0,048	47,29
5	0,068	33,38
10	0,089	25,5
15	0,108	21,02
20	0,127	17,87
25	0,145	15,65
30	0,163	13,93
35	0,179	12,68
40	0,193	11,76
45	0,206	11,01
50	0,218	10,41
55	0,228	9,96
60	0,236	9,61
65	0,242	9,38
70	0,247	9,19
75	0,249	9,11
80	0,251	9,04
85	0,250	9,08
90	0,248	9,15

2.3 Удосконалення механізму запобігання перевантаженню кривошипного пресу

2.3.1 Огляд і аналіз існуючих видів запобіжних пристроїв

Запобіжні пристрої, що забезпечують захист пресового устаткування від перевантажень, поділяються на два основних типи: самовідновлювані та несамовідновлювані.

Самовідновлювані пристрої функціонують без необхідності втручання оператора після спрацювання. Після усунення зовнішнього чинника, що спричинив перевантаження, вони автоматично повертаються до початкового робочого стану, що забезпечує безперервність технологічного процесу.

Несамовідновлювані запобіжники потребують втручання перед подальшим використанням та поділяються на дві підкатегорії:

- Руйновані – після спрацювання втрачають свою функціональність і підлягають обов'язковій заміні. Їх конструкція передбачає одноразове використання як елемента, що жертвується задля збереження основного механізму.
- Неруйновані – залишаються функціонально придатними після усунення причини перевантаження, однак потребують обов'язкової перевірки перед повторним уведенням в експлуатацію.

З метою забезпечення надійного та своєчасного реагування на критичні режими роботи, усі види запобіжних механізмів мають бути обладнані електричними блокувальними системами. Такі системи реалізують функцію миттєвого розмикання муфти та зупинки ходу повзуна у разі перевищення гранично допустимого навантаження.

На рис. 2.6 [1] наведено приклад схеми електронного запобіжного блоку. Його принцип дії полягає у постійному контролі зусилля, що прикладається до преса. У випадку, коли фактичне зусилля перевищує встановлене допустиме значення, система оперативно активує механізм відключення зчеплення, що призводить до негайного зупинення преса у визначеній критичній точці циклу.

Незважаючи на ефективність такого захисту, в промисловій практиці використання електрозапобіжних систем є обмеженим. Це зумовлено, з одного боку, високою складністю конструкції, а з іншого — відносно великою інерційністю дії: час від виявлення перевантаження до повної зупинки преса може виявитися надто довгим, що обмежує захисні властивості системи. У зв'язку з цим, актуальними залишаються дослідження в напрямку оптимізації чутливості, швидкодії та надійності таких запобіжних механізмів, зокрема із застосуванням сучасних електронних і гідропневматичних рішень.

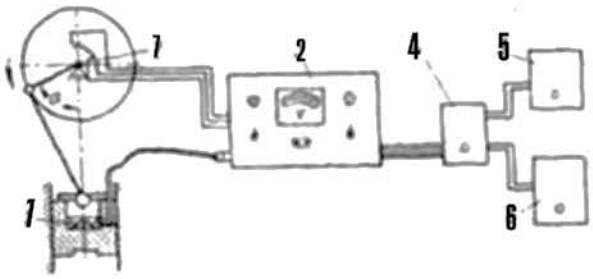


Рисунок 2.6. Схема електричного запобіжного пристрою: 1 — сенсор, що вимірює навантаження на повзун і трансформує його в електричний сигнал; 2 — потенціометр для компенсації нерівномірності навантаження; 3 — підсилювач сигналу; 4 — реле, що керує системою; 5, 6 — електромагнітні пускачі, які впливають на головний привід і зчеплення.

Сучасні методи контролю за правильністю подачі заготовок у прес включають використання електричних схем низьковольтного постійного струму. У таких системах рухомі частини штампа ізолюють та під'єднують до електричного кола, тоді як нерухому частину заземлюють. Якщо в робочу зону випадково потрапляють дві або більше заготовок, між елементами виникає контакт, що замикає коло. Це спричиняє миттєве спрацювання захисного реле, яке вимикає прес. У нормальних умовах шток, розташований на повзуні, не дозволяє колу замкнутись.

Серед усіх типів захисних пристроїв найзручнішими є ті, що автоматично відновлюють свою працездатність після спрацювання. Найчастіше використовують електричні запобіжники, а також пневматичні, гідропневматичні та гідравлічні варіанти. Їх зазвичай монтують на пресах із зусиллям понад 1 МН, оскільки подібні механізми мають складну конструкцію та потребують відповідного технічного рівня [8].

Ще одним прикладом самовідновлюваних пристроїв є гідравлічні запобіжники, які широко застосовуються у витяжних пресах. Крім того, у деяких випадках можуть бути використані гідравлічні столи для зменшення перевантаження.

На рис. 2.7 показано конструкцію фрикційного запобіжного пристрою, який встановлюється в маховиках гарячештампувальних пресів.

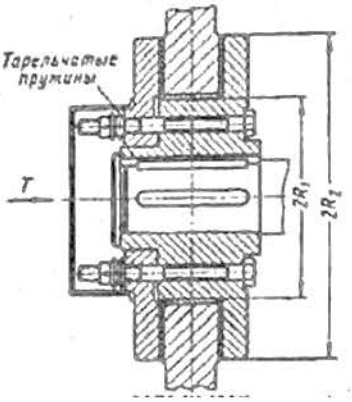


Рисунок 2.7- Фрикційний дисковий запобіжник гарячештампувального преса

Вибір запобіжних пристроїв здійснюється на основі відповідних інженерних розрахунків, головним із яких є визначення розрахункового крутного моменту для запобіжної муфти. Формула має такий вигляд:

$$M_{расч}=M_{кр}\,\beta/K_O \qquad (2.26)$$

де: • β = 1,2 — коефіцієнт запасу міцності;

• K_o — коефіцієнт, що враховує конструктивні особливості запобіжника:

• для сухих фрикційних дискових муфт: K_o = 0,7;

• для тих, що працюють в умовах мастила — K_o = 0,8.

Питоме навантаження в зоні тертя розраховується за формулою:

$$q=3M_{расч}/2\pi f(R_2^3 - R_1^3)z$$

де:

• z — кількість контактних тертьових поверхонь;

• f — коефіцієнт тертя;

• $R_з$, R_1 — зовнішній та внутрішній радіуси зони тертя.

Притискне зусилля до дисків визначається окремо — воно залежить від конструкції муфти та умов роботи.

У випадку листоштампувальних кривошипних пресів при визначенні розрахункового моменту інерційні сили зазвичай не беруться до уваги [8]. Натомість для гарячештампувальних установок і горизонтально-ковальних машин ці сили є критично важливими й обов'язково враховуються.

Формула для обчислення розрахункового моменту для запобіжника з урахуванням інерції подається у спрощеному вигляді, оскільки другий доданок має незначний вплив (менше ніж 1 %) і може бути проігнорований [3]:

$$M_{розр} = \beta \times M_{кр} / (I_2 / Iм^2 + I_2)$$

де I_m — момент інерції маховика;

I_2 — момент інерції деталей муфти та ексцентрикового вала;

$I_р$ — момент інерції приймального вала; I

M_k — крутний момент на колінчастому валу;

β — коефіцієнт запасу зчеплення.

Одним із важливих чинників ефективної роботи запобіжного пристрою є його розміщення. Щоб мінімізувати вплив інерційних сил, що виникають у системі під час роботи, доцільно розташовувати захисний механізм якомога ближче до джерела можливого перевантаження, зокрема до повзуна. З цієї позиції особливу перевагу мають фрикційні запобіжники, що встановлювались у ранніх моделях горизонтально-ковальних машин. У такій конструкції запобіжник був безпосередньо пов'язаний із зубчастим колесом, яке оберталося вільно навколо приводного вала. Подібне компонування дозволяло суттєво скоротити довжину кінематичного ланцюга між зоною дії навантаження та

пристроєм захисту, що, у свою чергу, підвищувало точність і швидкість спрацювання.

Надійність роботи запобіжника значною мірою залежить від правильного регулювання зусилля спрацювання. З цією метою використовуються спеціалізовані пристрої натягу, що дозволяють точно встановити необхідне попереднє зусилля, наприклад, у з'єднаннях із тарілчастими пружинами, де регулювання виконується через контрольований затяг шпильок.

Деякі фахівці пропонують використовувати фрикційні муфти зчеплення в якості захисних пристроїв. Особливу увагу привертають однодискові варіанти, які успішно застосовуються в ножицях та високопродуктивних пресах. Проте у випадку багатодискових або складних фрикційних муфт така практика себе не виправдовує. Основні недоліки полягають у наступному:

- збільшення кількості контактних поверхонь призводить до нерівномірного зношування, що ускладнює точне налаштування моменту спрацювання;
- в обладнанні з одиночним робочим циклом, наприклад при ручному керуванні, існує ризик непомітного пробуксовування муфти навіть при незначному перевантаженні;
- регулярне пробуксовування викликає надмірне тепловиділення, пришвидшене зношення деталей та необхідність частого технічного обслуговування.

Існує також думка, що налаштування межі спрацювання може здійснюватися за допомогою регулювання тиску в пневматичній камері муфти. Такий підхід теоретично дає змогу точно виставити критичне зусилля, проте практична реалізація залежить від стабільності тиску в пневмосистемі, що не завжди можливо забезпечити у виробничих умовах.

У разі використання однодискових муфт із фрикційними накладками, виготовленими з матеріалу типу «ретинакс», який має високий опір до стирання, можна досягти ефективного захисту від перевантажень. Параметри робочого тиску в таких муфтах визначаються експериментально, виходячи з найбільш

навантажених режимів експлуатації. Для створення додаткового запасу міцності отримане значення тиску зазвичай підвищують орієнтовно на 0,5 кг/см².

Один із варіантів реалізації захисної функції — це контрольоване зниження тиску у пневмосистемі на певному етапі ходу повзуна. Такий підхід передбачає відключення подачі повітря в заданий момент, після чого тиск зменшується до встановленого рівня шляхом відкриття випускних клапанів, які керуються за допомогою кулачкового механізму.

До наступної категорії самовідновлюваних механізмів належать пружинні запобіжники. Хоча їхній потенціал як елементів захисту є досить значним, у конструкціях кривошипних пресів вони застосовуються рідко й часто алишаються поза увагою розробників. На рисунку 2.7 наведено приклади простих пружинних запобіжників, принцип дії яких зрозумілий без детального технічного опису.

+

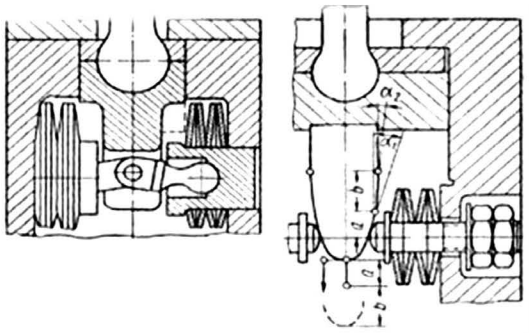
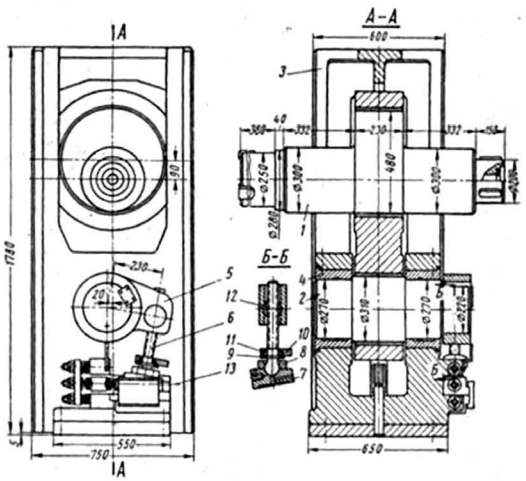


Рисунок 2.7 - Пружинні запобіжники

Одним із технічно більш складних рішень у цій сфері є конструкція пружинного запобіжного механізму, створена інженерами з Чехії для гарячештампувального кривошипного преса зусиллям 700 тонн (рис. 2.8). Проте експлуатаційна практика засвідчила, що ця система не позбавлена недоліків і вимагає подальшої оптимізації для забезпечення надійної роботи в умовах високих навантажень.



1 – ексцентриковий вал; 2 – вісь; 3 – повзун; 4 – втулка; 5 – важіль; 6 – гвинт; 7 – ползушка; 8 – упорне кільце; 9 – шайба; 10 – пластина; 11 – гайка; 12 – кулькова гайка; 13 – тарілчасті пружини.

Рисунок 2.8 - Запобіжник повзуна кривошипного гарячештампувального преса зусиллям 700 тс:

У сучасному обладнанні горизонтально-ковального типу доволі поширене застосування пружинно-важільних запобіжників. Розрахунок таких запобіжників ґрунтується на величині зусилля, що передається повзуном. Формула має вигляд:

$$P_{зат} = 0{,}35\, P_{вис}.$$

До самовідновлюваних типів також належать кулачкові запобіжні муфти (рис. 2.9), які зазвичай використовуються в приводах кулачкових валів автоматів холодного висадження.

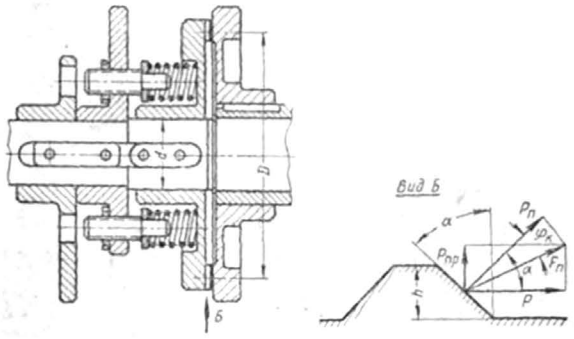


Рисунок 2.9 - . Кулачкова запобіжна муфта:

Наступну велику групу запобіжних елементів становлять руйнівні пристрої, принцип роботи яких передбачає одноразове спрацювання з подальшою необхідністю повної заміни.

Одним із різновидів таких механізмів є гідропневматичні запобіжники з розривними мембранами. Оскільки їх застосування в сучасному виробництві визнано малоефективним, вони не розглядаються в межах цього аналізу. Методики їхнього розрахунку можна знайти у профільних наукових виданнях.

До більш поширених типів руйнівних пристроїв належать:

- зрізні штифти (рис.2.9);
- продавлювані елементи (чашки) (рис.2.10);
- розривні пластини (рис.2.11);
- шпильки, що руйнуються при перевищенні граничного навантаження (рис.2.12).

Загальною ознакою для цих компонентів є те, що у випадку перевищення допустимого навантаження вони виходять із ладу й підлягають обов'язковій заміні для відновлення працездатності системи.

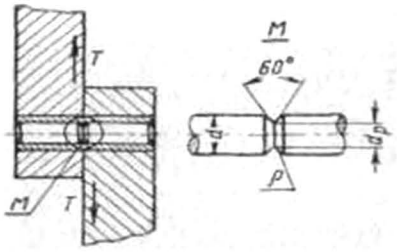


Рисунок 2.9 - Зрізний запобіжник

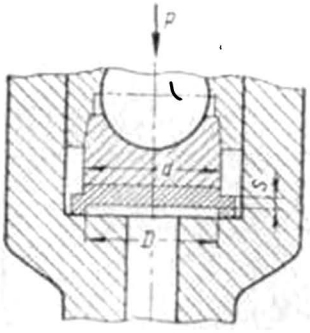


Рисунок 2.10- Чашковий запобіжник:

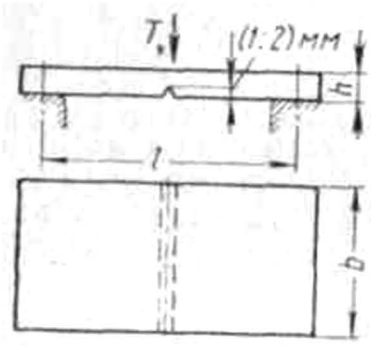


Рисунок 211 - Пластинчастий запобіжник, що руйнується

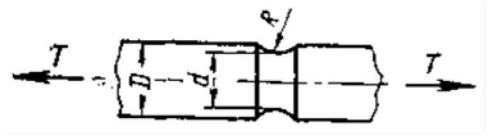


Рисунок 2.12 - Запобіжник зі шпилькою, що розривається

Особливістю таких запобіжників є зниження їхньої міцності з часом під дією квазипостійних навантажень. Саме тому при розрахунках рекомендовано використовувати коефіцієнт запасу не менше 1,3 × Рн, де Рн — номінальна сила.

Історично сформувалась думка, що штифти для подібних цілей мають виготовлятися з гартованої сталі, яка характеризується наближеними значеннями межі плинності та міцності ($\sigma_т \approx \sigma_в$). Проте в практиці нерідко застосовували більш м'які сталі, зокрема марок 10 і 15, які, хоча й мають високу ударну в'язкість, є малопридатними для елементів, що мають чітко витримувати задане навантаження до руйнування.

З огляду на це, кращим варіантом є сталі з низькою циклічною в'язкістю, наприклад, сталь 45 без термообробки, яка забезпечує як надійність, так і простоту у виробництві — особливо актуально для умов цехового обслуговування ковальсько-пресового обладнання.

Зрізні штифти часто проектують із канавками під кутом 60°, що значно полегшує їх демонтаж після руйнування. Таке конструктивне рішення дозволяє

відмовитися від гартування матеріалу, зберігаючи при цьому надійність спрацювання.

У випадку використання високоміцних сталей типу 40Х, можна зменшити діаметр штифта, однак експерименти свідчать: у діапазоні діаметрів 3–12 мм виникає висока варіативність у моменті руйнування, що може негативно позначатися на передбачуваності роботи запобіжника.

Зрізні штифти традиційно встановлюють у вузлах, що працюють із високим навантаженням, зокрема в маховиках, передачах із зубчастим зачепленням, механізмах подачі кривошипних пресів, а також у вузлах різання, виштовхування, подачі й фіксації заготовок у холодновисадкових автоматах.

Інший тип елементів — видавлювані чашки та зрізні пластини — зазвичай застосовуються в повзунах одностійкових або однокривошипних пресів, особливо з похилою конфігурацією столу. Також їх можна зустріти у гвинтових притискачах кувальних валків. Однак у багатокривошипних конструкціях (двох- або чотирикривошипні преси) використання таких елементів є небажаним. Причина полягає в ризику порушення симетрії руху повзуна у разі руйнування одного з елементів без оперативної заміни, що здатне викликати перекіс напрямних і серйозні пошкодження вузлів машини.

Розривні пластини, як правило, монтуються в механізмах виштовхування або різання заготовок холодновисадкових автоматів. Історично розривні шпильки широко застосовували в шарнірних вузлах шатунів горизонтально-кувальних машин (рис. 42), однак нині така практика майже повністю втрачена.

Незважаючи на це, сучасні варіації розривних шпильок усе ще використовуються у вузлах різання (рис. 43) і виштовхування (рис. 44) у багатопозиційних автоматах для холодного висадження. Їхнє конструктивне виконання суттєво вдосконалено, що дозволяє досягти більшої стабільності й точності в моменті спрацювання.

Незалежно від типу руйнівного елемента, система обов’язково повинна бути обладнана електричним блокуванням, яке вимикає муфту та зупиняє повзун

одразу після спрацювання запобіжника. Повторне увімкнення можливе тільки після заміни пошкодженої частини.

Згідно з дослідженнями А. Х. Ґрікке [6] та інших авторів [9], аналіз суміщених графіків сили, що діє на повзун, і допустимих крутних моментів, привів до важливого висновку. Якщо крива допустимих зусиль у критичній зоні має пологіший нахил, ніж відповідна крива моментів, то більш доцільно використовувати запобіжники, які реагують саме на перевищення зусилля. Натомість, якщо крива допустимих моментів має менш крутий нахил, ніж графік зусиль у повзуні, слід орієнтуватися на моментозалежний захист — наприклад, за допомогою фрикційної муфти або зрізного елемента, розміщеного на маховику чи в редукторному блоці.

Такий підхід у літературі загалом визнано виправданим, однак на практиці іноді некоректно інтерпретують оптимальний момент активації запобіжника. Для запобіжників, що спрацьовують за зусиллям, більшість фахівців орієнтуються на графіки допустимих навантажень у повзуні, розраховані з урахуванням втомної міцності та відповідних коефіцієнтів запасу.

Утім, для універсальних кривошипних пресів, які виконують такі операції, як вирубка, гнуття або дрібна витяжка, пріоритетним має бути захист від разового перевантаження, а не втомного зносу. Причини таких аварійних ситуацій зазвичай пов’язані з помилками налаштування висоти штампування, випадінням елементів штампа або заклинюванням інструмента між пуансоном і матрицею. Такі збої, як правило, трапляються в середній або нижній частині ходу повзуна, що призводить до його раптової зупинки.

Якщо в таких випадках система не обладнана відповідним захистом, можливе миттєве руйнування основних вузлів машини. Якщо ж запобіжник встановлений, він бере на себе перевантаження, жертвуючи власною цілісністю, але зберігаючи функціональність преса.

2.3.2 Модернізазія системи запобігання перевантаженням

Суть запропонованої модернізації полягає у створенні гідросистеми захисту кривошипного преса від перевантажень, яка дозволяє автоматично змінювати попередній тиск у гідроопорі при зміні тиску налаштування, використовуючи лише один регулятор тиску. Таким чином, здійснюється лише одне налаштування. Як результат — розширення експлуатаційних можливостей системи, а також спрощення процесів налаштування та обслуговування.

Зазначений результат досягається завдяки тому, що відома система захисту кривошипного преса від перевантаження, яка містить гідроопору, встановлену під шатуном і з'єднану з насосом через зворотний клапан і регульований розвантажувальний клапан із сервоклапаном, що має регулювання, доповнена:

- керованим двопозиційним двоходовим клапаном, який встановлений у нагнітальній лінії сервоклапана та має зв’язок із запірним елементом сервоклапана;
- насосом із двома робочими середовищами (наприклад, гідропневмонасосом);
- сервоклапаном, виконаним як діафрагмовий клапан (де запірний елемент через опорний диск взаємодіє з еластичною діафрагмою);
- розподільчим пристроєм, виконаним у вигляді пневморозподільника з одностороннім електричним керуванням, який містить двопозиційний триходовий розподільник із двома пневмокеруючими порожнинами;
- регулятором тиску, який підключений до пневмолінії та керує як сервоклапаном, так і розподільником.

Система працює наступним чином (рис. 2.13).

Гідропневмонасос 4 подає гідравлічну рідину з гідробака 26 до системи через зворотний клапан 3. При досягненні необхідного постійного високого тиску насос 4, який керується стисненим повітрям, автоматично зупиняється. У вихідному положенні система знаходиться під попереднім тиском P_1, створеним

насосом 4. При цьому розвантажувальний клапан 5 і сервоклапан 6 — закриті, а клапан 12 також перебуває у закритому стані.

Повітряна порожнина 28 діафрагмового сервоклапана 6 через нагнітальну лінію 9, пневмолінію 23 та пневморозподільник 17 з'єднана з пневмопорожниною 24 насоса 4 та живиться стисненим повітрям від єдиного регулятора тиску 8. Керуюча порожнина 18 пневморозподільника 17 через електророзподільник 20 підключена до атмосфери.

Діафрагмовий клапан 6 налаштований на тиск P_3, що відповідає допустимому зусиллю перевантаження повзуна преса. Під час нормальної роботи преса в системі створюється робочий тиск P_2, зумовлений зусиллям повзуна. У межах значень $P_1 < P_2 < P_3$ розвантажувальний клапан 5 залишається закритим.

У разі перевантаження тиск у системі перевищує P_3. При цьому спрацьовує реле тиску 27, яке подає сигнал на аварійне вимкнення преса (на схемі не показано), а також активує електромагніт 13 (див. рис. 2). Клапан 12 перемикається. Відкривається діафрагмовий клапан 6: його запірний елемент 14 піднімається, що забезпечує злив робочої рідини у зливну магістраль 7. Одночасно повітряна порожнина 28 клапана 6 через клапан 12 з'єднується з атмосферою.

Після цього відкривається запірний елемент розвантажувального клапана 5, і порожнина гідроопори 1 через напірну магістраль 2 та клапан 5 з'єднується зі зливною магістраллю 7 і гідробаком 26. Відбувається розвантаження гідроопори 1, а тиск у магістралі 2 падає.

Для відновлення роботи системи у керуючий ланцюг 11 подається напруга, що активує насос 4. Поршень гідропневмонасоса 4, під дією стисненого повітря в пневмопорожнині 24, починає переміщуватися ліворуч (відповідно до схеми), при цьому спрацьовує кінцевий вимикач 22. Він подає сигнал на електромагніт 21, який перемикає розподільник 20 у положення, при якому доступ до атмосфери відсікається, а пневмолінія нагнітання 9 через пневмолінію 29

з'єднується з керуючою порожниною 18. Під її дією пневмопорожнина 24 насоса 4 з'єднується з атмосферою.

Одночасно відключається електромагніт 13 (рис. 2), клапан 12 під дією пружини повертається у початкове положення, при якому повітряна порожнина 28 сервоклапана знову підключається до пневмолінії 9. У результаті запірний елемент 14, опорний диск 15 і діафрагма 16 повертаються у нижнє початкове положення. Завдяки переміщенню поршня насоса 4 праворуч (відповідно до схеми), відключається кінцевий вимикач 22, а розподільники 20 і 17 перемикаються у вихідне положення.

Система переходить у початковий робочий стан.

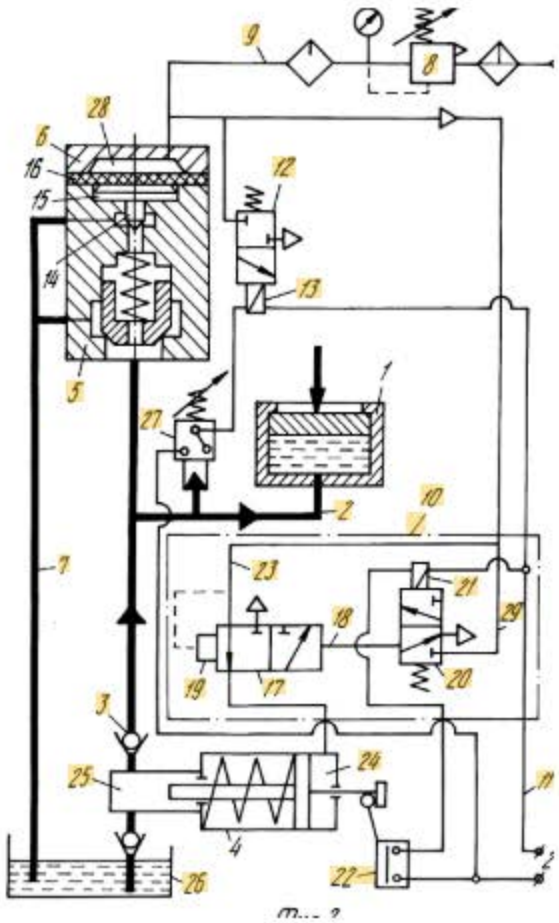


Рисунок 2.13 – Система запобігання перевантаженням

Таким чином, система захисту кривошипного преса від перевантажень, у якій гідропневмонасос, керований пневморозподільником з одностороннім електричним керуванням, та повітряна порожнина сервоклапана живляться стисненим повітрям від одного регулятора тиску, дозволяє:

- встановлювати розвантажувальний клапан на спрацювання при перевантаженні у межах 10–25% від номінального зусилля,
- забезпечити таке регулювання незалежно від потужності преса,
- застосовувати клапан одного типорозміру з усією апаратурою у пресах із різними технологічними зусиллями.

Невелике відхилення попереднього тиску при цьому не впливає на функціональність системи, що спрощує її обслуговування та уніфікує застосування.

3 ЕКСПЛУАТАЦІЙНА ЧАСТИНА

3.1 Послідовність монтажа пресу

Монтаж і експлуатація кривошипного преса є завершальними етапами впровадження обладнання у виробничий процес та мають вирішальне значення для забезпечення його надійної, безпечної та ефективної роботи. Кривошипний прес, як складна механічна система, вимагає дотримання чіткої послідовності дій під час установки, а також ретельного дотримання правил експлуатації з урахуванням конструктивних особливостей і виробничих умов.

Підготовка до монтажу починається з організації відповідного монтажного майданчика, що має бути рівним, жорстким і відповідати вимогам за вантажопідйомністю. Основу під пресом слід виконувати з армованого бетону з урахуванням статичних та динамічних навантажень, що виникають під час роботи обладнання. Перед встановленням преса перевіряється геометрія фундаменту, положення анкерних болтів, наявність заземлення та відповідність елементів технічній документації.

Процес монтажу включає транспортування окремих вузлів та деталей преса на місце встановлення, їх збирання та закріплення відповідно до вимог монтажної інструкції. Особливу увагу приділяють правильному центруванню повзуна, вирівнюванню напрямних і точності встановлення кривошипного механізму. Всі з'єднання мають бути надійно затягнуті з контролем моменту затягування, а змащувальні системи – заповнені відповідним мастильним матеріалом. Після остаточного збирання виконується перевірка на плавність ходу, відсутність сторонніх шумів і вібрацій.

Наступним етапом є введення преса в експлуатацію. Перед пуском здійснюється перевірка роботи електрообладнання, системи керування, гідроприводу (якщо він передбачений конструкцією), а також функціонування пристроїв безпеки. Персонал, який обслуговує прес, має пройти відповідний інструктаж та навчання. Перший запуск проводиться у холостому режимі з подальшим переходом до

пробного штампування під контролем фахівців технічної служби.

3.2 Складання річного графіка планово-попереджувальних ремонтів обладнання цеху

Система планово-попереджувальних ремонтів (ПП) обладнання цеху представляє сукупність організаційних та технічних заходів щодо догляду, нагляду, обслуговування та ремонту обладнання.

Основне призначення системи ППР – це запобігання зносу, що прогресивно наростає, попередження аварій і підтримка обладнання в стані постійної готовності до роботи.

Система ПВР передбачає два види ремонту: плановий та неплановий (аварійний). Плановий ремонт виконується у встановлений термін. Позаплановий ремонт здійснюється у неплановому порядку, за потребою.

За складом робіт передбачається три види планових ремонтів: поточний, середній та капітальний.

Основними нормативами системи ППР є:

- тривалість ремонтного циклу;
- структура ремонтного циклу;
- тривалість міжремонтних періодів;
- цикл та структура технічного обслуговування;
- міжопераційний період обслуговування;
- категорія складності ремонту;
- нормативи трудомісткості;
- нормативи матеріаломісткості та норми запасу деталей та вузлів.

Планування у системі ППР полягає:

- у визначенні обсягу та трудомісткості робіт з ремонту та технічного обслуговування обладнання;
- у визначенні простоїв обладнання у зв'язку з ремонтом та технічним обслуговуванням;

- у визначенні чисельності робітників, необхідної для виконання запланованого обсягу робіт;
- у визначенні потреби у матеріалах та запасних частинах.

Планування починається зі складання річного плану ремонту із зазначенням календарного терміну виконання. Річний графік планових ремонтів ковальсько-штампувального цеху моторобудівного заводу наведено в табл.3.1.

Таблиця 3.1 – Річний графік планових ремонтів КТЦ

№ п/п	Вид обладнання	Нах-ся в експл., фіз.	Довж. рем. циклу, років	Структура циклу	Протягом року	
					кап.	середо вищ.
1.	Ковальсько-пресове : -преси кувальні до 16 МН -Преси кувальні св. 16 МН -Преси обрізні - ГКМ -Преси карбункові -прес-ножиці сортові -вальці кувальні	 7 14 22 4 4 5 5	 7 7,5 7 4,5 7..7,5 6,5 5	 К-С $_1$ -З $_2$ - К К-С $_1$ -З $_2$ - К К-С $_1$ -З $_2$ - К К-С-К К-С $_1$ -З $_2$ - К К-С $_1$ -З $_2$	 1 2 3 1раз на 2роки 1 1	 2 4 6 1 1 2 1
2.	Підйомно-транспортне	15	7	К-К	2	4
3	Засоби механізації: -транспортери ланцюгові; -транспортери пластинч.; -столи з гідропідйомними.; - столи завантажувальні - вібростоли - рольганги - стелажі дозуючі -механізми подачі поковок - візки	 9 17 21 4 9 6 6 7 8 87	 6	 К-С-К	 14	 14

Структура ремонтного циклу кривошипного гарячештампувального преса К8542 зусиллям 40МН представлена на рис.3.1.Цикл містить 1 капітальний ремонт, 2 середніх, 6 поточних та 18 технічних оглядів.

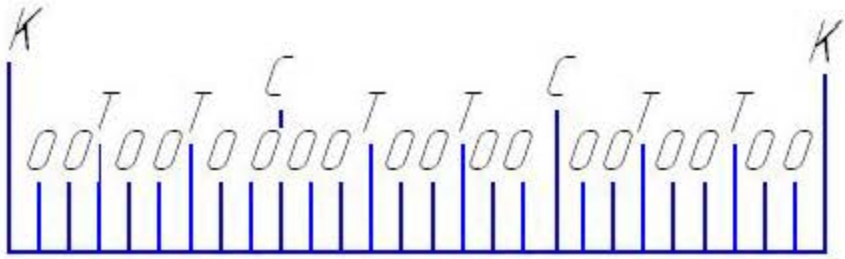


Рисунок 3.1 - Структура ремонтного циклу КГШП К8542

Тривалість міжремонтного циклу становить 75 років. Категорія ремонтної складності преса: Re = 71, норми часу на капітальний ремонт одну одиницю ремонтної складності – 23 години. Тобто загальна тривалість капітального ремонту – 1633 години.

3.3 Розробка мережевого графіку ремонту обладнання

Проектування раціонального ремонтного процесу має бути засноване на ретельному всебічному вивченні робочих процесів, організаційно-технічних умов, у яких протікають процеси, та всіх факторів , що впливають на їх вчинення.

В організації та управлінні виробництвом широко застосовуються графіки. Застосування методів мережевого планування ефективно у випадках, коли досягнення поставленої завдання потребує узгоджених (координованих) у часі дій багатьох ділянок комплексу робіт, охоплення великої кількості різноманітних робіт і взаємозв'язку їх виконавців, і навіть урахування ступеня впливу кожного їх на кінцевий результат.

Мережева модель - це графічне зображення комплексу взаємозалежних робіт, виконуваних у певній послідовності. Графік складається з елементів - робіт і подій (які зазвичай позначаються стрілками і кружками). До основних категорій мережевого графіка відносяться критичний шлях, резерви часу та

робіт. Основою побудови мережевого графіка є дані щодо основних видів з ремонту, тривалості робіт та кількості ремонтного персоналу. Всі зазначені дані щодо капітального ремонту кривошипного гарячештампувального преса зусиллям 40 МН представлені в таблиці 5.2

Таблиця 3.2. – Перелік робіт з капітального ремонту преса К8542

№ п/п	Зміст роботи	Шифр операції		Норма часу	Кількість виконавців
		i	j		
1.	Зупинка преса, відключення напруги, магістралі підведення зж.	0	1	8	2
2.	Повне розбирання машини та всіх її вузлів	1	2	2 64	5
3.	Промивання, протирання всіх деталей	2	3	112	5
4.	Огляд усіх деталей	3	4	64	2
5.	Заміна головного валу	3	5	104	4
6.	Заміна шатунів	3	6	96	2
7.	Заміна регулювального столу	3	7	64	2
8.	Заміна чи ремонт підп'ятників	3	8	48	2
9.	Заміна або ремонт маточок муфт увімкнення	3	9	112	4
10.	Заміна чи ремонт циліндрів врівноважувачів	3	10	72	3

Продовження таблиці 5.2

№ п/п	Зміст роботи	Шифр операції		Норма часу	Кількість виконавців
		i	j		
1 1 .	Заміна гальмівних шківів	3	11	112	4
1 2	Заміна або ремонт поршнів муфт включення	3	12	112	4
13.	Зміна важелів педалі	3	13	24	1
14.	Продування та ремонт маслопровідних трубок	3	14	32	1
1 5.	Складання всіх вузлів машини, перевірка правильності взаємодії всіх вузлів та механізмів	14	15	248	5
16.	Наварювання замку стояків станини, фрезерування за ескізами.	15	16	29	2
1 7.	Шпаклівка та фарбування всіх внутрішніх та зовнішніх необроблених поверхонь відповідно до ТУ	15	17	56	2
1 8.	Обкатка на неодруженому ходу. Перевірка на шум та нагрівання	17	18	8	2
1 9.	Перевірка стану фундаменту	17	19	24	1
20.	Перевірка під навантаженням потужності та продуктивності	18	20	36	2
21.	Пуск преса у роботу	20	21	8	1

Розрахунок параметрів моделі для операції 0-1:

Найбільш ранній із можливих термінів початку роботи:

$$t_{i-j}^{рн} = t_i^p .$$

де t_i^p – ранній термін виконання роботи;

$$t_{0-1}^{рн} = t_1^p = 0$$

Найбільший ранній із можливих термінів закінчення роботи:

$$t_{i-j}^{р.о} = t_{i-j}^{р.н} + t_{i-j}$$

де $t_{i-j}^{р.о}$ - Раннє закінчення роботи i - j ;

$t_{i-j}^{р.н}$ - Раніше початок роботи i - j ;

t_{i-j} - Тривалість роботи i - j ;

$$t_{i-j}^{р.о} = 0 + 8 = 8$$

Найбільш пізній початок виконання роботи:

$$t_{i-j}^{пн} = t_j^n - t_{i-j}$$

де t_j^n - Пізній термін закінчення роботи;

$$t_{0-1}^{пн} = 8 - 8$$

Пізніше закінчення роботи

$$t_{i-j}^{по} = t_j^n$$

$$t_{0-1}^{по} = t_1^n = 8$$

Повний резерв часу:

$$R_{i-j} = t_{i-j}^{пн} - t_{i-j}^{рн}$$

де $t_{i-j}^{рн}$ - Пізніше початок часу;

$$R_{0-1} = 0 - 0 = 0$$

Резерв часу:

$$r_{i-j} = t_{j-k}^{рн} - t_{i-j}^{ро}$$

де $t_{j-k}^{рн}$ - Раніше початок наступної роботи;

$$r_{0-1} = 8 - 8 = 0$$

Розрахунки кожної операції представлені у таблиці 3.3

Таблиця 3.3 – Розрахунок параметрів мережевого графіка

Шифр роботи	Продовж-сть роботи	Раннє початок роботи	Раннє закінч. роботи	Пізніше початок роботи	Пізніше закінч. роботи	Повний резерв часу роботи	Приватний резерв часу роботи
$i-j$	t_{i-j}	$t_{i-j}^{р.н}$	$t_{i-j}^{р.о}$	$t_{i-j}^{пн}$	$t_{i-j}^{по}$	R_{i-j}	r_{i-j}
0-1	8	0	8	0	8	0	0
1-2	2 64	8	272	8	272	0	0
2-3	112	272	384	272	384	0	0
3-4	64	384	448	384	448	0	0
3-5	104	384	488	384	488	0	0
3-6	96	384	480	384	480	0	0
3-7	64	384	448	384	448	0	0
3-8	48	384	432	384	432	0	0
3-9	112	384	496	384	496	0	0
3-10	72	384	456	384	456	0	0
3-11	112	384	496	384	496	0	0
3-12	112	384	496	384	496	0	0
3-13	24	384	408	384	408	0	0
3-14	32	384	4 1 6	384	426	0	0
10 -15	248	4 56	704	456	704	0	0
15-16	29	704	7 33	704	7 33	0	0
15-17	56	704	760	704	760	0	0
17-18	8	7 60	7 68	7 60	7 68	0	0
17-19	24	7 60	7 84	7 60	7 84	0	0
18-20	36	7 68	804	7 68	804	0	0
20-21	8	804	812	804	812	0	0

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

4.1 Аналіз потенційних і шкідливих факторів умовах роботи штампувальника в ковальсько-пресовому цеху

Умови праці в ковальсько-пресовому цеху супроводжуються впливом значної кількості небезпечних і шкідливих виробничих чинників, які негативно впливають на здоров'я працівників і потребують впровадження відповідних заходів захисту.

До основних шкідливих факторів відносяться:

- Підвищений рівень шуму та вібрації, спричинений роботою важкого штампувального обладнання. Їх значення часто перевищують допустимі норми через неправильне встановлення машин, розбалансованість механізмів, зношення або несправність обладнання.
- Запиленість і задимленість повітря, що виникають внаслідок інтенсивної роботи з нагрівальними печами, обробки розпеченого металу, застосування мастил та охолоджувальних рідин.
- Хімічне забруднення повітря, зокрема виділення таких речовин, як оксид вуглецю (CO) та діоксид сірки (SO_2), що утворюються при нагріванні і деформації металів, згорянні технологічних мастил.

Крім того, значну загрозу становлять рухомі частини виробничого обладнання, електроустановки, переміщення вантажів, а також ризик ураження частин тіла відлетілими фрагментами деформованого матеріалу чи оснастки.

Згідно з класифікацією, виробничі процеси кузнечно-термічного цеху належать до II групи – тобто таких, що виконуються у несприятливих метеоумовах із виділенням пилу, при цьому потребують значного фізичного напруження. Категорія робіт – важка праця, пов'язана з регулярним фізичним навантаженням, переміщенням і перенесенням вантажів масою понад 10 кг.

В таблиці 4.1 наведено оцінку чинників виробничого середовища та трудового процесу для робочого місця штампувальника.

Таблиця 4.1 – Оцінка факторів виробничого трудового процесу штампувальника ковальсько-пресового цеху

№	Фактор	Нормативне значення	Фактичне значення	Клас шкідливості	Тривалість дії за зміну, %
1	Сірча7а кислота (2 кл. небезпеки), мг/м³	0,05	-	I	80
2	Оксид вуглецю (3 кл. небезпеки), мг/м³	20,0	4,0	I	80
3	Пил фіброгенної дії, мг/м³	2,0	2,78	II	92
4	Загальна вібрація, дБ	92	94	III	92
5	Шум, дБА	80	105	III	92
6	Мікроклімат (в теплий період):– температура повітря, °С– швидкість руху повітря, м/с– відносна вологість, %– інфрачервоне випромінювання, Вт/м²	260,540–60140	300,240900	II	80
7	Категорія праці	Важка, IV ступінь напруженості	—	—	—
8	Загальна оцінка умов праці	—	—	Шкідливі умови праці	—

В умовах роботи штампувальника виявлено 4 шкідливі виробничі фактори, з яких:

- III ступінь шкідливості – 1 (шум),
- II ступінь – 2 (пил, мікроклімат),
- I ступінь – 1 (вплив хімічних речовин).

Враховуючи це, умови праці вважаються шкідливими, а відповідно до чинного законодавства і галузевих нормативів, працівникам цеху рекомендовано встановити наступні пільги та компенсації:

- право на пенсію за списком №1;
- надбавка до заробітної плати в розмірі до 24%;

- додаткова відпустка тривалістю 10 днів.

4.2 Заходи щодо захисту від виявлених шкідливих та небезпечних виробничих факторів

Для забезпечення безпечних умов праці у ковальсько-пресовому цеху необхідне комплексне впровадження технічних, організаційних і санітарно-гігієнічних заходів, спрямованих на усунення або зменшення дії виявлених шкідливих і небезпечних виробничих факторів.

Безпечність експлуатації пресового обладнання має забезпечуватись:

- застосуванням безпечних конструктивних схем, елементів захисту та блокування;
- автоматизацією і механізацією технологічних операцій, що дозволяє виключити або мінімізувати присутність працівника у небезпечній зоні;
- дистанційним керуванням процесами та системами.

Для зниження рівня шуму та вібрацій до нормативних значень рекомендовано дотримуватись вимог:

- ГОСТ 12.1.012-90 «Вібрація. Загальні вимоги безпеки»;
- ГОСТ 12.1.003-83 «Шум. Загальні вимоги безпеки».

Це може бути досягнуто шляхом:

- удосконалення конструкцій пресів і зменшення жорсткості їх вузлів;
- встановлення обладнання на віброгасильні фундаменти або опори з еластичними вставками;
- розміщення нижньої частини фундаменту обладнання нижче фундаменту будівлі для зменшення передавання коливань;
- зменшення необхідності фізичної присутності штампувальника біля робочої зони шляхом автоматизованої подачі заготовок.

Для захисту працівників рекомендується:

- використовувати взуття з амортизувальною підошвою для зниження дії вібрації;

- застосовувати протишумові засоби – беруші, навушники, протишумові шоломи;
- використовувати захисний одяг, каски та захисні окуляри для запобігання травмуванню від окалини, відлетілих частинок та дотику до розпечених поверхонь;
- застосовувати клещі відповідної форми та довжини, щоб руки працівника не потрапляли до зони штампування і не зазнавали термічного впливу.

Для очищення повітря в цеху від пилу та аерозолів використовуються:

- циклонні фільтри,
- вихрові, жалюзійні та камерні пиловловлювачі.
- відпрацьовані мастильні матеріали після використання необхідно зливати у спеціальні відстійники для подальшої регенерації та повторного використання після очищення.

Для забезпечення безпечної експлуатації кривошипного преса необхідно дотримуватись таких правил:

- налагодження штампів, огляд та ремонт обладнання здійснюється лише при вимкненому електродвигуні та повній зупинці маховика; прес має перебувати у нижньому положенні ползуна;
- контроль за правильністю нагріву заготовок, розмірами, вагою та правильністю встановлення і кріплення штампової оснастки;
- перед початком зміни слід перевірити справність:
- систем керування;
- трубопроводів високого тиску;
- контрольних приладів;
- засобів змащування;
- огороджень рухомих частин;
- електрообладнання повинне відповідати Правилам технічної експлуатації електроустановок споживачів;
- керування пресом повинно здійснюватися за допомогою кнопкової системи з напругою не більше 36 В;

- забороняється штампувальникам відкривати електрошафи, пускові пристрої та інші елементи електросистеми.

Регламент технічного обслуговування та ремонт:

- для надійної та безпечної експлуатації преса слід забезпечити своєчасне технічне обслуговування, а саме:
- візуальний зовнішній огляд не рідше одного разу за зміну;
- перевірка систем змащення, роботи муфти, гальма;
- підтяжка кріпильних деталей;
- контроль стану штампів та своєчасна їх заміна при зношенні.
- ці дії дозволяють значно подовжити строк служби обладнання та знизити ймовірність аварійних ситуацій і передчасних виходів преса з ладу.

Таким чином, забезпечення відповідного контролю за умовами праці, систематичний моніторинг шкідливих факторів і впровадження ефективних засобів індивідуального та колективного захисту є критично важливими для збереження здоров'я працівників та зниження професійного ризику.

4.3 Виробнича санітарія

4.3.1 Мікроклімат

Метеорологічні умови або мікроклімат виробничого середовища визначаються такими параметрами, як температура повітря, відносна вологість, швидкість руху повітря та атмосферний тиск. Контроль та підтримання оптимальних параметрів мікроклімату має важливе значення для забезпечення нормального теплового обміну між організмом працівника та навколишнім середовищем.

Рівень тепловиділення організмом залежить від інтенсивності фізичного навантаження і може змінюватись від 80 Дж/с (у стані спокою) до 500 Дж/с (при важкій роботі). Якщо теплова енергія, що генерується організмом, не буде

ефективно відводитися в навколишнє середовище, це призведе до перегріву, перевтоми, а в окремих випадках – до теплового удару.

З метою забезпечення сприятливих умов для роботи у кузнечно-термічному цеху необхідно:

- підтримувати температуру повітря в межах встановлених норм для теплого та холодного періодів року;
- забезпечити належну вентиляцію для регулювання вологості та швидкості повітряних потоків;
- контролювати рівень теплового випромінювання від обладнання та розігрітого металу.

4.3.2 Склад повітря робочої зони

Повітря робочої зони — це повітря у межах 2 метрів від рівня підлоги, де безпосередньо перебуває працівник. Його чистота є важливим фактором безпечної і продуктивної праці. Нормальний склад повітря має такий вміст основних компонентів:

- азот (N_2) — 78%,
- кисень (O_2) — 20,9%,
- вуглекислий газ (CO_2) — не більше 0,03%,
- інші гази — до 0,01%.

Для підтримання необхідного газового складу повітря в цеху та зниження концентрації шкідливих речовин (окису вуглецю, диму, сірчаного газу тощо), вживаються такі заходи:

1. Механізація та автоматизація виробничих процесів – зменшує контакт працівників із джерелами шкідливих речовин і теплового випромінювання, одночасно підвищуючи продуктивність праці.
2. Застосування герметичного обладнання – мінімізує викиди шкідливих речовин у робочу зону.

3. Раціональна вентиляція та опалення – дозволяє регулювати температуру, вологість, концентрацію шкідливих речовин.
4. Використання засобів індивідуального захисту – у разі неможливості зниження рівня шкідливості до нормативного.

Санітарно-гігієнічні вимоги до роботи систем вентиляції включають:

- відповідність кількості приточного та витяжного повітря (з мінімальною різницею між ними);
- правильне розміщення вентиляційних каналів: приплив здійснюється з найменш забруднених зон, витяжка – з найбільш забруднених;
- запобігання локальному перегріву або переохолодженню;
- мінімальний рівень шуму від роботи вентиляційних пристроїв;
- відповідність систем електро- та вибухобезпечності.

У ковальсько-пресовому цеху передбачено природний повітрообмін, який здійснюється за допомогою загальнообмінної безканальної вентиляції. Приток свіжого повітря відбувається через нижні аераційні отвори в зовнішніх стінах, а видалення забрудненого повітря – через верхні аераційні отвори під стелею або через світлові ліхтарі. Усі аераційні прорізи обладнані регульованими фрамугами або створками, що дозволяє оптимізувати потоки повітря залежно від погодних умов та інтенсивності роботи.

4.3.3 Освітлення виробничих приміщень

Ковальсько-пресовий цех працює у дві зміни, а деякі термічні відділення — у три зміни. У зв'язку з цим природне освітлення не може забезпечити достатній рівень освітленості протягом усього робочого часу, тому виникає потреба в штучному освітленні.

Штучне освітлення забезпечує необхідну освітленість для безпечного виконання технологічних операцій та наладки обладнання без виникнення виробничих дефектів і травматизму. Вимоги до штучного освітлення регламентуються СНіП II–4–79.

У виробничому приміщенні застосовується комбіноване освітлення, що включає загальне та місцеве. Загальне освітлення реалізується шляхом рівномірного або локального розміщення світильників. Місцеве освітлення призначене для підсвічування робочих зон та має світильники з відбивачами з непрозорого матеріалу, із захисним кутом не менше 30°.

Штучне освітлення поділяється на:

- робоче — для забезпечення нормальної роботи цеху в темний час доби;
- аварійне — вмикається для евакуації працівників або завершення технологічного процесу у разі вимкнення основного освітлення.

Відповідно до характеристики зорової роботи в цеху:

- розряд зорової роботи — III;
- підрозряд — в;
- мінімальний розмір об'єкта розпізнавання — 0,3–0,5 мм;
- контраст об'єкта з фоном — середній;
- характеристика фону — середня;
- нормативна освітленість (комбіноване освітлення) — 200 лк.

Для загального освітлення застосовуються газорозрядні лампи високого тиску типу ДРЛ і ДРІ, що встановлюються на висоті:

- 6–12 м — лампи потужністю 50–125 Вт;
- від 9 м і вище — лампи потужністю 250 Вт.

Між будівлями з природним освітленням через віконні прорізи дотримуються санітарні розриви, що забезпечують необхідну інсоляцію та аерацію.

4.3.4 Електробезпека

Електробезпека є одним з ключових аспектів безпеки праці у виробничих умовах. Згідно з вимогами ПУЕ-87, ковальсько-пресовий цех належить до категорії приміщень з підвищеною небезпекою ураження електричним струмом.

З метою запобігання електротравматизму необхідно дотримуватись таких заходів:

- виконання підлоги на робочих місцях штампувальників із діелектричних (токоізолювальних) матеріалів;
- забезпечення працівників захисним спецодягом, зокрема з електроізоляційними властивостями;
- заборона доступу працівників до електрощитів, пускових пристроїв без відповідного допуску;
- регулярний технічний огляд та обслуговування електрообладнання згідно з регламентом.

4.4 Заходи з пожежної безпеки

Пожежна безпека в цеху забезпечується шляхом проведення організаційних і технічних заходів, спрямованих на запобігання виникненню пожеж, захист людей, зменшення матеріальних збитків та екологічних наслідків у разі виникнення загоряння. Основні вимоги регламентуються СТП 549.12.314–87.

Категорії приміщень за вибухо- і пожежонебезпекою:

- основний цех — категорія Г;
- комора ПММ — Б/В – Іа;
- комори господарського обслуговування, механіка, архіви — В/П – ІІа.

Організаційні заходи:

- суворо визначені місця для куріння та використання відкритого вогню;
- контроль за дотриманням правил пожежонебезпечних робіт, зокрема зварювальних;
- обмеження кількості заготовок, напівфабрикатів і готової продукції на робочих місцях;
- регулярне прибирання горючих відходів, правильне зберігання спецодягу та ветоші;
- вимикання електрообладнання при пожежі;

- утримання у справному стані засобів пожежогасіння (гідрантів, вогнегасників, пожежної сигналізації);
- планові огляди та ремонти електроустановок і технологічного обладнання.

Технічні заходи:

- виробниче приміщення — одноповерхове, відповідає ОНТП–01–82;
- обладнання пожежобезпечне при нормальній експлуатації, у разі аварій передбачені запобіжні заходи;
- окремі ділянки для обробки алюмінієвих та титановых сплавів оснащені первинними засобами пожежогасіння;
- підлоги біля печей викладені рифленими металевими плитами;
- для змазування штампів використовуються негорючі або важкозаймисті матеріали;
- заборонено одночасний нагрів заготовок з алюмінієвих і титановых сплавів із чорними металами;
- заготовки перед завантаженням очищуються від стружки, пилу, масла;
- регулярно здійснюється очищення печей від окалини та шлаку;
- печі обладнані системами контролю та регулювання температури;
- забороняється експлуатація обладнання з несправностями, які можуть спричинити пожежу або загоряння.

4.5 Дослідження способів захисту від надмірного тепловиділення

Для забезпечення безпеки працівників та нормальних метеорологічних умов у ковальсько-пресовому цеху необхідно вживати заходів щодо захисту від надмірного тепловиділення. До таких заходів належать:

- організація ефективної вентиляції виробничих приміщень;
- застосування тепловідвідних пристроїв та захисних екранів для ізоляції джерел тепла.

Системи вентиляції

Основна задача вентиляції — забезпечення чистоти повітря та підтримання мікроклімату відповідно до санітарних норм. За способом переміщення повітря вентиляція поділяється на:

- природну;
- механічну.

За функціональним призначенням:

- припливну — для подачі свіжого повітря;
- витяжну — для видалення забрудненого повітря.

За зоною дії:

- загальнообмінну — забезпечує обмін повітря в усьому приміщенні;
- місцеву — видаляє або подає повітря в окремих зонах.

Механічна вентиляція

У механічних системах повітрообмін здійснюється за рахунок штучно створеної різниці тиску за допомогою вентиляторів або ежекторів. Вона є більш ефективною, ніж природна, оскільки дає змогу:

- попередньо очищати повітря від пилу;
- регулювати температуру та вологість;
- точково подавати повітря в робочі зони, незалежно від зовнішніх погодних умов.

До складу механічних систем вентиляції входять: вентилятори, електродвигуни, калорифери (повітронагрівачі), шумоглушники, пиловловлювачі, системи автоматики тощо. Вони дозволяють організовувати повноцінний повітрообмін навіть у великих цехах, що особливо актуально при роботі з обладнанням, яке виділяє значну кількість тепла.

Недоліком механічної вентиляції є високе енергоспоживання та необхідність технічного обслуговування.

Природна вентиляція

Природна вентиляція працює за рахунок різниці тиску повітряних мас, що виникає під впливом зовнішніх чинників: температури, напрямку та швидкості

вітру. Повітряні потоки переміщуються через отвори, шахти або вікна. Швидкість повітря у каналах природної вентиляції зазвичай не перевищує 1 м/с.

Основні переваги природної вентиляції:

- простота конструкції;
- відсутність потреби у використанні електроенергії;
- низька вартість.

Основний недолік — нестабільність роботи та залежність від зовнішніх кліматичних умов, що робить її малоефективною в умовах надмірного тепловиділення, характерного для кузнечних і термічних процесів.

Висновок

Для ефективного захисту працівників від перегрівання та підтримання допустимого мікроклімату доцільно використовувати комбіновану вентиляцію, в якій поєднуються переваги механічної та природної систем. Доповненням до вентиляційних заходів є застосування теплових екранів, що знижують інтенсивність теплового випромінювання на робочих місцях, а також відведення тепла через спеціалізовані теплопоглинаючі конструкції.

ВИСНОВКИ

У ході виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи проведено аналіз існуючих методів захисту кривошипних пресів від перевантаження та розроблено вдосконалене конструктивне рішення механізму запобігання перевантаженням.

У результаті виконаного дослідження досягнуто таких основних результатів:

1. Проаналізовано причини виникнення аварійних перевантажень у кривошипних пресах і встановлено, що найбільш ефективними є гідравлічні та механогідравлічні системи захисту.
2. Оцінено сучасні технічні рішення щодо запобігання перевантаженням, виявлено їхні переваги та недоліки. На основі цього обґрунтовано необхідність удосконалення існуючих систем шляхом підвищення швидкодії, надійності та ремонтопридатності.
3. Запропоновано конструкцію вдосконаленого гідравлічного запобіжного пристрою з покращеними характеристиками відновлення після спрацювання. Конструкція забезпечує швидке реагування на критичне навантаження та мінімізацію простою обладнання.
4. Виконано розрахунки основних параметрів кривошипного гарячештампувального пресу
5. Проведено обґрунтування запропонованої модернізації. Показано, що впровадження вдосконаленого механізму дозволяє підвищити безпеку експлуатації преса, знизити витрати на ремонт та підвищити продуктивність за рахунок скорочення простоїв.

Таким чином, поставлену в роботі мету — підвищення ефективності та надійності системи захисту кривошипного преса від перевантажень — досягнуто. Запропоновані рішення можуть бути впроваджені в промислових умовах для модернізації існуючих пресів або застосовані при розробці нових моделей обладнання гарячого штампування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Явтушенко О.В. Проектування та розрахунок кривошипних пресів. Курсове проектування: навч. посібник / О.В. Явтушенко, А.В. Глебенко, Т.О. Васильченко. – Запоріжжя: Вид-во ЗНТУ, 2012. – 436 с.
2. Моделювання мехатронної ковальсько-пресової систем: навчальний посібник / С. В. Швець, У. С. Швець, В. М. Борисюк. – Суми : Сумський державний університет, 2022. – 177 с.
3. 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.
4. Жук А. Я., Желябіна Н. К. Основи розрахунків приводів машин: Навчальний посібник. Запоріжжя: ЗДІА, 1996. 145 с.
5. Жук А. Я., Малишев Г. П. Основи технічного діагностування: навч-метод. посіб.– Запоріжжя: ЗДІА, 2007. – 114 с.
6. Васильченко Т.О, Шевченко І.А, Гречаний О.М. Опір матеріалів : навчально-методичний посібник Запоріжжя : ЗНУ, 2020. – 263 с.
7. Гайдамака А.В. Деталі машин. Основи теорії та розрахунків: навчальний посібник. Харків: Харківський політехнічний інститут, 2020.
8. Кухар В.В., Аніщенко О. С., Присяжний А. Г.Основи експериментальних методів дослідження процесів обробки металів тиском : навчальний посібник. Маріуполь : ПДТУ, 2019. 234 с
9. Кравченко В. М., Іщенко А. О., Сидоров В. А., Буцукін В. В. Експлуатація та обслуговування машин. Донецьк: Донбас, 2014. 543 с.
10. Седуш В.Я. Надійність, ремонт і монтаж металургійних машин: Підручник.– 3–є вид., перероб. і доп. – К.:НМК ВО, 1992. – 368с.
11. Седуш В.Я. Надійність, ремонт і монтаж металургійних машин : підручник. 4-е вид.,перероб. і доп. Донецьк: ТОВ «Юго – Восток, Лтд», 2008. 379 с.

12. Ремонт металургійного обладнання : навч. посіб. / А. Я. Жук та ін. К. : вид. дім "Кондор", 2017. 236 с.
13. Технічне обслуговування металургійного обладнання : навч. посіб. / А. Я. Жук та ін. К. : вид. дім "Кондор", 2017. 288 с.
14. Охорона праці на гірничо–металургійному підприємстві: навч. посібник. Ч.І: Металургійний комплекс. / В.О.Шеремет та ін. Дніпропетровськ: Січ, 2002. 375 с.
15. НПАОП 0.00–4.01–08 Положення 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.
16. ДСН 3.3.6.042–99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень
17. 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.
18. Геврик Е. О. Охорона праці. Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. / Е. О. Геврик. – К: Ельга, Ніка–центр, 2003. – 280 с.
19. 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.
20. Ткачук К. Н. Охорона праці та промислова безпека. Навч.посіб. / К. Н. Ткачук. та ін. – К: Основа, 2009. – 360 с.

ПЕРЕЛІК ВИКОНАНИХ КРЕСЛЕНЬ

Найменування	Формат
1. План цеху	А1
2. Прес кривошипний гарячештампувальний. Вид загальний	2хА1
3. Муфта	А1
4. Маховик	А3
5. Диск ведений	А3
6. Мережевий графік капітального ремонту цеху	А1

ДОДАТКИ