

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

«Допущено до захисту»
Зав. кафедри ММР
канд. техн. наук, доцент
_____ Андрій ГРЕЧКА

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за другим (магістерським) рівнем вищої освіти
на тему:
«Моделювання напружено-деформованого стану елементів штампових
блоків під технологічним навантаженням»
«Modeling of the stress-strain state of elements of stamp blocks under
technological load»

Виконав здобувач вищої освіти
II курсу, групи ОТ-21 М 1,4
спеціальності 131
«Прикладна механіка»,
_____ Пух О. В.
1 грудня 2022 р.

Керівник проекту
канд. техн. наук, доцент
_____ Володимир МІРЗАК
1 грудня 2022 р.

Рецензент
канд. техн. наук, доцент

30 листопада 2022 р.

м. Кропивницький

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет: *Механіко-технологічний*

Кафедра: *«Машинобудування, мехатроніка і робототехніка»*

Рівень вищої освіти: *другий (магістерський)*

Галузь знань: *13 «Механічна інженерія»*

Спеціальність: *131 «Прикладна механіка»*

Освітньо-професійна програма: *«Прикладна механіка»*

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри ММР

канд. техн. наук, доцент

_____ Андрій Гречка

26 серпня 2022 р.

**ЗАВДАННЯ НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
ЗА ДРУГИМ (МАГІСТЕРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ**

Пух Ользі Володимирівні

1. Тема роботи: *«Моделювання напружено-деформованого стану елементів штампових блоків під технологічним навантаженням».*

2. Керівник роботи: *Мірзак Володимир Якович, к. т. н., доцент.*

3. Строк подання роботи до захисту: *1 грудня 2022 р.*

4. Мета та завдання випускної кваліфікаційної роботи.

Мета: оптимізація металомісткості штампового оснащення зі збереженням якості штампованих деталей.

Завдання: обґрунтувати напрямок досліджень та актуальність теми; розробити методику експериментальних досліджень; виконати експериментальні дослід-

ження та провести аналіз отриманих результатів; виконати розрахунки з економічної частини.

5. Консультант по роботі, із зазначенням розділу роботи:

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
№ 4 «Економічна частина»	Савеленко Г. В., к. т. н., ст. викл.	3.09.2022 р.	24.11.2022 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Опрацювання навчальної та наукової літератури	15.09.2022 р.	
2	Проведення наукових досліджень, обробка фактичного матеріалу	3.10.2022 р.	
3	Написання першого варіанта тексту, подання його на ознайомлення керівникові	15.11.2022 р.	
4	Усунення недоліків, написання останнього варіанта тексту	1.11.2022 р.	
5	Перевірка роботи на плагіат	12.12.2022 р.	
6	Зовнішнє рецензування роботи	14.12.2022 р.	
7	Захист випускної кваліфікаційної роботи на засіданні екзаменаційної комісії	23.12.2022 р.	

Дата видачі завдання
29 серпня 2022 р.

Підпис керівника
_____ Мірзак В. Я.

Завдання прийнято до виконання
29 серпня 2022 р.

Підпис здобувача
_____ Пух О. В.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
Розділ 1. ОБГРУНТУВАННЯ ВИБРАНОГО НАПРЯМКУ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	11
1.1. Види похибок і фактори, що впливають на напружено-деформований стан штампових блоків.....	11
1.2. Вибір і розрахунки розмірів нижніх плит штамп та його напрямних вузлів.....	17
1.3. Зовнішні фактори, що впливають на експлуатаційні показники штампового оснащення	20
1.4. Аналіз засобів компенсації похибок системи «прес-штамп».....	24
Висновки	25
Розділ 2. МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ...	27
2.1. Загальна методика	27
2.2. Оцінка достовірності результатів проведеного математичного моделювання	28
2.3. Техніка безпеки при проведенні експериментальних робіт.	33
Розділ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ НИЖНІХ ПЛИТ ШТАМПОВИХ БЛОКІВ ПІД ДІЄЮ ТЕХНОЛОГІЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ.....	37
3.1. Методика моделювання напружено-деформованого стану нижніх плит штампових блоків	37
3.2. Побудова плану експерименту	38
3.3. Методика побудови твердотільних моделей збірок нижніх плит штампових блоків та моделювання їх напружено-деформованого стану	40
3.4. Аналіз результатів дослідження напружено-деформованого стану штампових блоків	54
3.5. Рекомендації по проектуванню розділового штампового оснащення.....	68
Висновки	68
Розділ 4. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	70
4.1. Розрахунок витрат на виконання НДР.....	70
4.2. Розрахунок договірної ціни та прибутку НДР.....	74
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	75
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	79

ДОДАТКИ	83
Додаток А. Приклад звіту щодо моделювання деформаційної картини нижньої плити штампового блоку з діагональним розташуванням напрямних вузлів якій реалізовувався із застосуванням розрахункового модуля САПР SolidWorks.....	84
Додаток Б. Довідка про публікацію тез доповіді.....	98

АНОТАЦІЯ

Пух О. В. «Моделювання напружено-деформованого стану елементів штампових блоків під технологічним навантаженням», спеціальність 131 «Прикладна механіка», ОПП – «Прикладна механіка», Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, 2022 рік.

Метою дослідження є оптимізація металомісткості елементів штампового оснащення зі збереженням якості штампованих деталей. Розроблено методику багатофакторного експериментального дослідження напружено-деформованого стану нижніх плит штампових блоків під дією вертикальної складової технологічного зусилля. Встановлено, що переміщення напрямних колонок, закріплених на нижній плиті штампового блока, суттєво залежать від вертикальної складової технологічного зусилля, площі матриці та площі нижньої плити, причому збільшення технологічного зусилля приводить до збільшення переміщення колонок, а збільшення площі матриці і нижньої плити до зменшення таких переміщень. Для напружень за Мізесом в збірці нижньої плити і матриці домінуючим фактором є площа матриці.

штамповий блок, нижня плита, напрямна колонка, технологічний зазор, система «прес-штамп», напружено-деформований стан, компенсатор, жорсткість, металомісткість

ANNOTATION

O. V. Pukh "Modeling the stress-strain state of elements of stamping blocks under technological load", specialty 131 "Applied mechanics", OPP - "Applied mechanics", Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, 2022.

The purpose of the study is to optimize the metal content of the stamping equipment elements while maintaining the quality of the stamped parts. A method of multifactorial experimental research of the stress-strain state of the lower plates of die blocks under the action of the vertical component of the technological force has been developed. It was established that the movement of the guide columns fixed on the lower plate of the die block significantly depends on the vertical component of the technological effort, the area of the matrix and the area of the lower plate, and an increase in the technological effort leads to an increase in the movement of the columns, and an increase in the areas of the matrix and the lower plate to a decrease in such movements. For Mises stresses in the assembly of the bottom plate and the matrix, the dominant factor is the area of the matrix.

die block, bottom plate, guide column, technological gap, "press-stamp" system, stress-strain state, compensator, stiffness, metal density

ВСТУП

Актуальність теми

В сучасних умовах глобального розвитку промислового виробництва в світі питання якості виробів, з одночасним зниженням собівартості технологій їх виробництва, стає все більш пріоритетним. Особливо це важливо в умовах крупносерійного та масового виробництв, які ще існують в електротехнічній та оборонній галузях, виробництві побутової техніки. При виготовленні великої кількості однотипних деталей в промисловості широко застосовуються штампувальні технології з листового матеріалу. Серед них найбільшу частку складають розділові операції (50...60%), які найбільш чутливі до умов, в яких вони виконуються. Інструментом для виконання розділових операцій є різного роду штампи (простої, послідовної та суміщенної дії). Особливістю роботи розділових штамів є те, що якість штампованих деталей більшою мірою залежить від величини технологічного зазору між робочими деталями штаму (близько 10% від товщини матеріалу). Під час роботи штаму на нього діють багато як зовнішніх так і внутрішніх факторів, які приводять до виникнення нерівномірності заданого оптимального зазору, що відображається на стійкості робочих деталей штаму та якості штампованих виробів. Найбільш актуально це для деталей з тонколистового матеріалу, де зазори можуть бути в межах 5...10 мкм на сторону. Загальна кількість суттєвих факторів, яка впливає на роботу штампового оснащення, може бути близько 60. В роботі [1] була розроблена діаграма за методом Ісікави, де систематизований вплив майже усього спектру діючих факторів на показники якості. Як видно з цієї діаграми, найбільш суттєвими є група факторів, які відносяться до пресового обладнання та оснащення, тобто розглядається система «прес-штамп». В цій системі на гілці «штамп» і знаходиться фактор, який привернув нашу увагу як предмет дослідження – деформація нижньої плити штампового блоку. Нижня плита

штампового блоку під час експлуатації штампа знаходиться в складних умовах контактної взаємодії з пресом. Спираючись на підштампову плиту з провальним отвором, який може складати до 35% від площі опорної поверхні, нижня плита блоку під дією технологічного зусилля деформується, викликаючи, так зване, явище “сходження” або “розходження” напрямних колонок. Окрім того, що такий процес приводить до підвищення зносу пари “напрямна колонка – втулка”, порушується ще й рівномірність технологічного зазору з небажаними наслідками для показників якості штампованих деталей. На цей процес накладається також деформація підштампової плити, яка опирається на стіл преса з великим фігурним провальним отвором, площа якого складає до 30% від опорної площі плити. В зв’язку з цим виникає багато остаточно невирішених до цього часу питань, пов’язаних з вибором оптимальних розмірів штампових блоків з точки зору їх металомісткості та впливу окремих елементів на показники якості технологічного процесу штампування. Тому робота, яка направлена на вирішення вище означених питань є актуальним науково-практичним завданням.

Мета і задачі дослідження

Мета дослідження – оптимізація металомісткості елементів штампового оснащення зі збереженням якості штампованих деталей.

Для досягнення поставленої мети потрібно вирішити наступні задачі:

- проаналізувати існуючі методи аналітичних розрахунків елементів штампових блоків та рекомендації по їх вибору;
- проаналізувати вплив похибок системи “прес-штамп” на елементи штампових блоків і визначити ті, які є суттєвими;
- проаналізувати способи та пристрої компенсації похибок системи «прес-штамп»;
- розробити методику багатофакторного експериментального дослідження напружено-деформованого стану нижніх плит штампових блоків під дією вертикальної складової технологічного зусилля;

- провести комп'ютерне моделювання впливу геометричних та силових параметрів на напружено-деформований стан елементів штампного блоку;
- розробити рекомендації по врахуванню геометричних параметрів елементів штампних блоків та способів їх кріплення в системі «прес-штамп» при проектуванні штампного оснащення для тонколистового матеріалу.

Об'єкт дослідження – система "прес-штамп".

Предмет дослідження – елементи штампних блоків під дією вертикальної складової технологічного навантаження

Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному:

1. Набули подальшого розвитку підходи по застосуванню методів комп'ютерного моделювання для рішення задач напружено-деформованого стану елементів штампних блоків в умовах дії вертикальної складової технологічного зусилля. В доповнення до відомих методів аналітичних розрахунків, встановлений вплив технологічного зусилля, площі нижньої плити та площини матриці на переміщення напрямних колонок блока та напруження за Мізесом в системі «прес-штамп» однокривошипного двостійкового відкритого пресу номінальним зусиллям 400кН.

Практичне значення отриманих результатів полягає у наступному:

– розроблено практичні рекомендації для інженерно-технічних працівників підприємств, задіяних в проектуванні розділового штампного оснащення для штампування деталей з тонколистового матеріалу, що дозволяє оптимізувати геометричні параметри елементів штампних блоків.

Апробація результатів магістерської роботи

Основні результати дослідження доповідалися на науково-технічній конференції здобувачів ЦНТУ у 2022 році. Тема доповіді: «Деформаційний стан нижніх плит штампних блоків під технологічним навантаженням».

Публікації

За результатами роботи опубліковані тези доповіді на університетській конференції: О. Пух, В. Мірзак. Деформаційний стан нижніх плит штампових блоків під технологічним навантаженням. *Наука – виробництву, 2022* : Збірник тез доповідей здобувачів вищої освіти LVI науково-технічної конференції, LIII науково-технічної конференції викладачів, аспірантів та співробітників «Наука в ЦНТУ: основні досягнення та перспективи розвитку» за підсумками проведення «Дня науки – 2022» 12 травня 2022 року. Кропивницький: ЦНТУ, 2022. С. 44 – 46.

Структура та обсяг роботи

Магістерська робота складається із вступу, чотирьох розділів, загальних висновків та списку використаних джерел із 32 найменувань. Повний обсяг роботи становить 98 сторінок, включаючи 38 рисунків та 11 таблиць.

ОБГРУНТУВАННЯ ОБРАНОГО НАПРЯМКУ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1. Види похибок і фактори, що впливають на напружено-деформований стан штампових блоків

1.1.1. Вибір предмета дослідження

Якість штампованих деталей та експлуатаційні показники штампового інструменту формуються ще на стадії проектування. Основні етапи проектування розділових штамів відбуваються в наступній послідовності [2, 3, 4]:

- за кресленням деталі формується робоча зона штампу (розраховується по відомих методикам ширина штаби, стрічки або габарити штучної заготовки;

- вибирається стандартний, або проектується пакет, в який входять робочі деталі штампа (пуансони і матриці), кріпильні деталі (пуансонотримачі і матрицетримачі), знімачи та виштовхувачи;

- по габаритам пакета підбирається стандартний штамповий блок, або проектується оригінальний;

- по розрахованому технологічному зусиллю та габаритам штампового блоку (габарити в плані, закрита висота блоку) вибирається прес.

Підбір блоку під спроектований пакет є достатньо складною процедурою. Блок фактично є несучим каркасом для всієї підсистеми «пакет-штамп» і для надійної роботи повинен витримувати значну частину зовнішніх навантажень, щоб завадити зміщенню пуансона відносно матриці в межах оптимального технологічного зазору. Блок встановлюється в робочу зону преса, причому нижня плита блока кріпиться жорстко до підштампової плити преса, а верхня плита (в більшості випадків) за допомогою хвостовика до повзуна преса, який саме і є джерелом згаданих вище зовнішніх навантажень. Повзун кривошипного пресу, який є ланкою кривошипно-шатунного

механізму, рухається по напрямним станини преса, але його рух не є ідеальним. В першу чергу існують суттєві технологічні зазори між напрямними повзуна і станини (наприклад для пресу КД2126Е вони знаходяться в межах від 0,06 мм до 0,12 мм), що приводить до зміщення повзуна в межах цих зазорів під дією технологічного навантаження. Існують і інші геометричні похибки, які докладно описані в роботі [5] та регламентовані відповідними нормами точності на преси [6]. Крім того під дією технологічного навантаження відбувається розкриття станини відкритих кривошипних пресів [7].

Існує певне різноманіття компоновок штампових блоків. Більшість з них регламентована діючими стандартами [8 – 12], (див. рис.1.1– 1.5). Але в стандартах при виборі блока орієнтуються на габарити пакета та його закриту висоту. Технологічне зусилля, яке він може витримувати ніде не оговорюється. Тому, у більшості випадків, стандартні блоки мають завищену металомісткість і є резерви по її зниженню, що і обумовило саме їх вибрати за об'єкт даного дослідження.

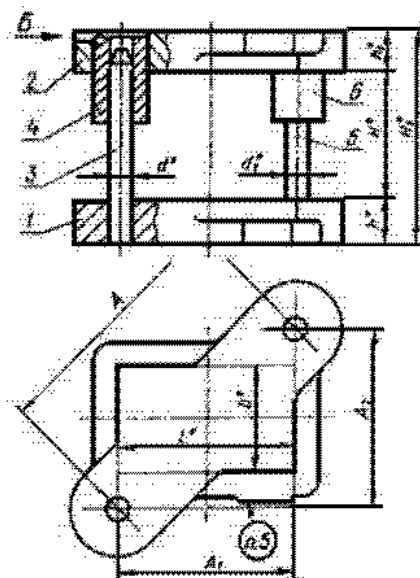


Рисунок 1.1 – Стандартний штамповий блок з діагональним розташуванням напрямних вузлів

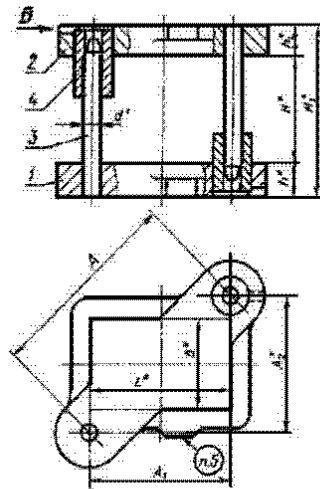


Рисунок 1.2 — Стандартний штамповий блок з діагональним розташуванням напрямних вузлів та їх зустрічним виконанням

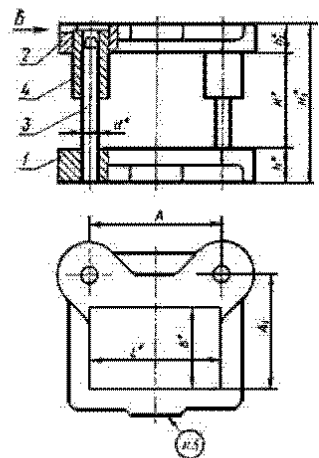


Рисунок 1.3 — Стандартний штамповий блок з заднім розташуванням напрямних вузлів

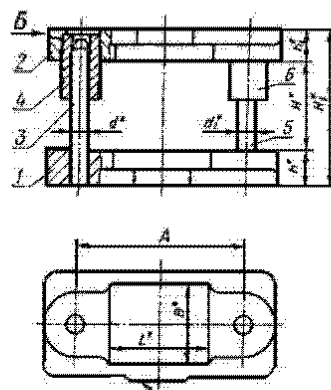


Рисунок 1.4 — Стандартний штамповий блок з осьовим розташуванням напрямних вузлів

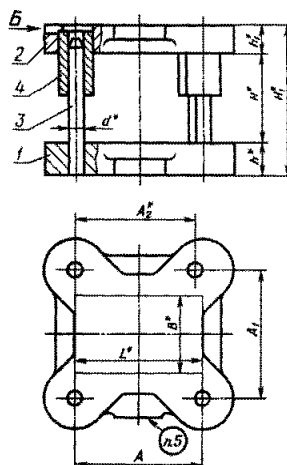


Рисунок 1.5 – Стандартний штамповий блок з чотирма напрямними вузлами

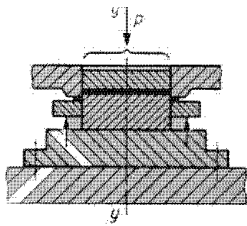
Стандартний штамповий блок складається з наступних елементів (див. рис. 1–5): напрямні колонки, напрямні втулки, нижня плита блоку, верхня плита блоку.

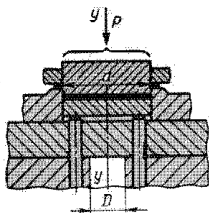
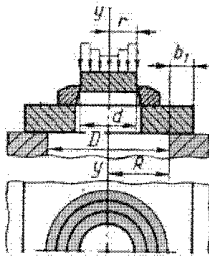
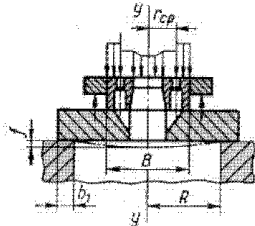
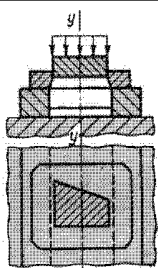
1.2 Вибір і розрахунки розмірів нижніх плит штампа та його напрямних вузлів

Розміри в плані нижньої плити визначають з конструктивних міркувань по розмірам пакета. Габаритні розміри нижньої плити повинні забезпечувати можливість її кріплення до підштампової плити болтами або прихватами.

Існує багато різних схем навантаження нижніх плит штампових блоків. В роботі [13] наведена систематизація схем навантаження нижніх плит в залежності від форми робочого контура, характеру навантаження і конструкції опори (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – Схеми навантаження нижніх плит в залежності від форми робочого контура, характеру навантаження і конструкції опори

1		При суцільній нижній плиті без провального отвору в підштамповій плиті можлива будь-яка розділова операція
---	---	--

2		Вирізаємий контур більше отвору в підштамповій плиті
3		Діаметр ріжучого контура менше діаметра отвору в підштамповій плиті
4		Найбільший розмір ріжучого контура менше діаметра провального отвору в підштамповій плиті
5		Вирізана деталь або відхід видаляється зі штампу через вигрібний паз нижньої плити

Оскільки нижня плита є найбільш навантаженим елементом блока, то її слід перевіряти відповідними розрахунками на міцність та жорсткість. Але в більшості робіт, в цьому напрямку, [2–4] відзначається, що внаслідок великої кількості факторів, які впливають на умови навантаження плит точний розрахунок виконати неможливо. там же дається рекомендація, що на практиці потрібно обмежуватися заданими товщинами плит стандартизованих блоків з їх перевіркою на міцність у випадку великих

навантажень. Пропонується також розрахунок нижніх плит виконувати з врахуванням наступних припущень:

- форма і розміри отвору в нижній плиті повинні відповідати формі і розмірам отвору матриці або іншій деталі, яка безпосередньо контактує з деталлю;
- вказаний отвір ексцентрисний отвору в підштамповій плиті преса;
- повне навантаження сприймає тільки верхня плита.

Якщо зробити припущення, що характер навантаження нижньої плити 1 (рис. 1.6) однаковий у всіх її перетинах, перпендикулярних до її площини, то потрібний момент опору W_D перетину плити в напрямку розміра $D_{пл}$ отвору в підштамповій плиті 2 можна визначити з виразу (1.1):

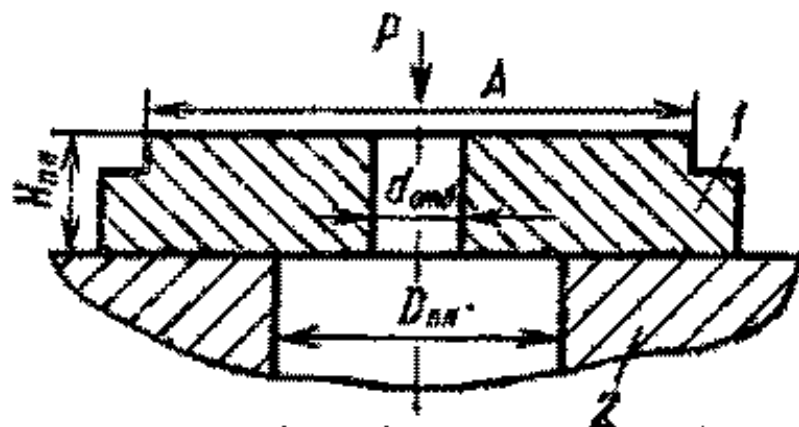


Рисунок 1.6 – Схема до розрахунку нижньої плити штампа

$$W \cong 0,25 \frac{P \cdot D_{\text{пл}}}{[\sigma_u]}. \quad (1.1)$$

де P – повне розрахункове зусилля, яке діє на нижню плиту, кН;

$[\sigma_u]$ – напруження, що допускаються на згин матеріалом нижньої плити, МПа;

По знайденому значенню моменту опору визначається потрібна товщина нижньої плити по формулі (1.2):

$$H_{nl} = 2,5 \sqrt{\frac{W}{A_{p.n.} - d_{отв}}} \quad (1.2)$$

де $d_{отв}$ – діаметр провального отвору в нижній плиті

В роботі [14] пропонується дещо інший підхід. Нижню плиту штампу рекомендується перевіряти по формулі (1.3):

$$H_{nl} \geq \sqrt[3]{\frac{24h_{\min}}{zEB} P_3 \left\{ \frac{(A-d)^2}{4} - \frac{(A-L)^2}{2} + \frac{(A-L)^3}{3(A-d)} \left[1 - \frac{A-L}{4(A-d)} \right] \right\}}, \quad (1.3)$$

де $h_{\min}$ - відстань між нижньою площиною верхньої плити і верхньою площиною нижньої плити штампу при його закритому положенні (висота пакету), мм;

z - зазор між пуансоном і матрицею, мм;

E - модуль пружності матеріалу плити, МПа;

B - ширина плити (менший розмір), мм;

P_3 – зусилля затягування болтів, якими плита кріпиться до столу преса, Н;

A – довжина нижньої плити, мм

d – діаметр провального отвору в підштамповій плиті, мм;

L – відстань між направляючими колонками, мм.

Є також методики розрахунку діаметрів напрямник колонок.

Напрямні елементи (колонки) перевіряють на прогин під радіальним навантаженням [15] по формулі 1.4;

$$Y = (PL^3 / 3EI) + \Theta l, \quad (1.4)$$

де P – сила, що навантажує;

L – довжина колонки від торця до втулки;

E – модуль повздовжньої пружності;

J – осьовий момент інерції перетину, який розглядається;

Θ – кут перекосу колонки у втулці;

l – довжина втулки.

В цій же роботі наведено визначення поняття податливості та жорсткості штампового блоку.

Жорсткість блоку визначається по залежності:

$$C = \frac{P}{Y}, H / \text{мм} \quad (1.5)$$

Величину, зворотну коефіцієнту жорсткості, називають коефіцієнтом піддатливості, або піддатливістю:

$$\Pi = C^{-1} = \frac{Y}{P}, \text{мм} / H \quad (1.4)$$

Є методики розрахунку діаметрів напрямних колонок в залежності від дії горизонтальної складової технологічного зусилля [16].

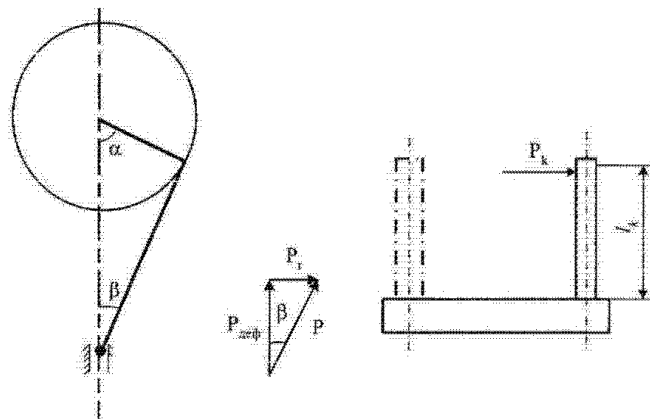


Рисунок 1.7 – До розрахунку напрямних колонок

$$P_z = P_{\text{деф}} \cdot \text{tg} \beta, \quad (1.5)$$

де P_z – горизонтальна сила;

$P_{\text{деф}}$ – зусилля деформування;

β – кут повороту шатуна.

$$P_z = P_{\text{деф}} = \frac{\lambda \cdot \sin \alpha}{\sqrt{1 - \lambda^2 \cdot \sin^2 \alpha}}, \quad (1.6)$$

де $\lambda = \frac{R}{L}$ – коефіцієнт довжини шатуна;
 R – радіус кривошипа;
 L – довжина шатуна.

$$P_{\kappa} = \frac{P_{\varepsilon}}{n}, \quad (1.7)$$

де n – число напрямних колонок

$$d_{\kappa} = \sqrt[3]{\frac{M_{\varepsilon}}{0,1[\sigma_{\varepsilon}]}} = \sqrt[3]{\frac{P_{\kappa} \cdot l_{\kappa}}{0,1[\sigma_{\varepsilon}]}} \quad (1.8)$$

де M_{ε} – максимальний згинаючий момент для консольної балки, навантаженою силою P_{κ} ;
 l_{κ} – довжина колонки;
 $[\sigma_{\varepsilon}]$ – напруження згину, що допускається для матеріалу напрямної колонки.

Зміщення верхньої частини штампу відносно його осі, викликану силою P_{ε} при діаметрі d_{κ} можна знайти із виразу:

$$f = \frac{P_{\varepsilon} \cdot l_{\kappa}^3}{3EI} = \frac{64 \cdot P_{\varepsilon} \cdot l_{\kappa}^3}{3 \cdot n \cdot E \cdot d_{\kappa}^4} \quad (1.9)$$

В роботі [17] при виборі жорсткості напрямних колонок пропонується визначення діаметру останніх вести виходячи з умови незаклинювання їх у втулці. При цьому зазор між колонкою і втулкою a_{κ} не повинен бути менше переміщення в результаті вигину колонки, b_{κ} тобто $a_{\kappa} \geq b_{\kappa}$.

$$d_{\kappa} = 0,126 \sqrt{\frac{P_{\varepsilon} \cdot H^3 \cdot K}{n \cdot z}} \quad (1.10)$$

де P_{ε} – діюче зусилля, Н;
 H – товщина плити;

K – коефіцієнт, який залежить від типу обладнання;

n – число колонок;

z – зазор між робочими елементами технологічного оснащення.

Блоки в зборі розраховують також по відомим методикам опору матеріалів як статично невизначені рами [18], але точність їх невисока із-за різного роду припущень і спрощень.

Виходячи з вищенаведеного можна зробити висновок, що розрахунки товщин нижніх плит не є досконалими. Отримані результати по цім розрахункам значно відрізняються один від одного. Отже роботу в цьому напрямку є сенс продовжувати, застосовуючи нові, більш прогресивні методики встановлення товщин нижніх плит штампів під навантаженням.

1.3 Зовнішні фактори, що впливають на експлуатаційні показники штампового оснащення

Фактори які впливають на знос штампового інструмента та якість деталей практично однакові. До розглянутих вище факторів можна додати тип мастила або покриття, яке використовується при штампуванні, та вихідний стан поверхні робочих частин і їх термообробка.

Зупинимось докладніше на впливі найбільш суттєвих факторів – технологічному зазору і конструкції преса. Інші з перерахованих факторів достатньо постійні за своєю дією і, як правило, стрибкоподібно підвищують або знижують знос робочих деталей штампів у декілька разів. Докладно їхній вплив розглянутий у роботах [18, 19].

За роботою [3] при виборі зазору необхідно прагнути до встановлення його оптимальної величини, при якій задовольняються основні чотири умови якісного розділового штампування, а саме: найменше технологічне зусилля, висока якість поверхні зрізу виробу, найвища точність штампування та, як наслідок, найбільш висока стійкість штампа. Складність визначення оптимального зазору полягає в тому, що для кожного матеріалу і для кожної товщини заготовки він має своє певне значення. Визначається оптимальний

зазор, як із застосуванням емпіричних даних в процентній залежності від товщини матеріалу, так і розрахунковими методами [2, 3]. Слід відмітити, що спостерігається достатньо велика розбіжність результатів щодо визначення оптимального зазору різними методами.

Існує однакова думка багатьох авторів щодо характеру впливу зазору на зміну розмірів деталей. Встановлено, що для різних матеріалів існує визначена оптимальна величина зазору, при якій відхилення розмірів штампованої деталі мінімальні. Так, в роботах [23, 24] досліджено вплив величини зазору на відхилення розмірів отворів в деталях для сталей Э12, Э11, 08кп і ЭО100 товщиною $S = 0,5$ мм. Встановлено, що для кожної сталі існує свій оптимальний зазор при якому відхилення розмірів мінімальні (рис. 1.1).

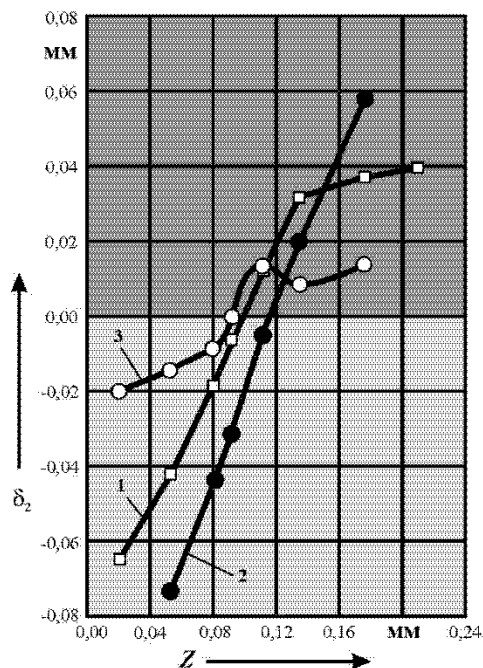


Рис. 1.8 Залежність відхилення розмірів отворів δ_2 від зазору Z для деталей із різних сталей: 1 - Э12; 2 - Э11; 3 - 08кп та ЭО100

Позитивним відхиленням розмірів деталі при вирубуванні (збільшенню розмірів) відповідають менші значення зазорів, а негативним – більші значення. При пробиванні отворів має місце зворотна залежність.

Відзначається також, що залежності відхилень розмірів деталей при вирубуванні δ_1 , і отворів при пробиванні δ_2 від величини зазору Z мають загальний характер. Більшість кривих наближується по виду до кубічної параболи.

Як вже було сказано вище, процес розділення матеріалу в кожному конкретному випадку проходить нестабільно. Оптимальний технологічний зазор після виготовлення штампу може змінюватися в процесі виконання технологічної операції. Тому, оптимальний зазор буде виглядати як сукупність чотирьох складових:

$$Z = Z_0 + e_1 + e_2 + \Delta Z_{зн}, \quad (1.11)$$

де: Z_0 – оптимальний (початковий) зазор; e_1 – величина зміни зазору при закріпленні штампа на пресі; e_2 – динамічна складова зміни зазору, що залежить від експлуатаційних показників преса; $\Delta Z_{зн}$ – величина зміни зазору за рахунок зносу пуансона та матриці.

Джерелами зміни величин e_1 та e_2 можуть бути пружні та теплові деформації робочих деталей штампу та похибки пресового обладнання, вплив яких буде залежати від жорсткості штампового блоку та схеми його кріплення. Наслідки цих змін також відбиваються на якісних параметрах деталі. Так, наприклад, по даним роботи [23] оптимальний зазор, вибраний для конкретного матеріалу в процесі вирубування-пробивання змінюється із-за похибок системи "прес-штамп" на 10-12 % . Це приводить до розсіювання зовнішніх і внутрішніх розмірів деталі на 10-15 % і зміщенню осей вирубаного контуру і пробитого отвору.

За даними роботи [20] при вирубуванні та пробиванні електротехнічної сталі товщиною 0,5 мм крива зміни стійкості в залежності від розміру зазору має максимум. Зазор, який складає 9-12 % від товщини матеріалу, є оптимальний. При збільшенні зазору до 15...30 % і при зменшенні до 4 % стійкість приблизно знижується в 3 рази. Зміна числа ходів преса також впливає на стійкість штамів. В роботі [18] встановлено, що при $Z = 8,5 \%$ і $Z = 30 \%$ торцевий знос пуансона з підвищенням частоти навантаження

інструмента перевищує ріст торцевого зносу матриці приблизно в два рази. Характер зміни бічного зносу пуансона при малому і великому зазорі неоднаковий. При $Z = 8,5 \%$ знос зменшується при збільшенні числа ходів преса з 139 до 428 хв^{-1} , і це зменшення складає 17,3 %. Мінімальне значення бічного зносу пуансона спостерігається при $Z = 30 \%$ та 275 хв^{-1} . Вайнтрауб Д. А. також вважає, що при зменшенні похибки взаємного розташування робочих частин штампа можна підвищити їхню стійкість у 2...3 рази.

Tomselt W. [21] висуває в якості умови нормального зносу штампів при вирубуванні пружне деформування станини не більш 0,025 мм на 100 мм довжини прямої станини при максимальному зусиллі.

Ланской Е. Н. [22] також відзначає, що поряд із великими перевагами пресів відкритого типу вони мають значну ваду – велику величину деформації станини преса.

Можна констатувати, що на сьогоднішній день не існує достатньо надійного способу забезпечення рівномірності технологічного зазору між робочими деталями штампа і дослідження в цьому напрямку повинні бути продовжені.

Забезпечення прийнятних експлуатаційних показників штампового оснащення є комплексною проблемою. Її успішне вирішення можливе лише тоді, коли питання якості, продуктивності і економічності розглядаються у взаємному зв'язку на всіх етапах виготовлення виробу: при розробці принципових схем і виконанні розрахунково-конструкторських робіт, проектуванні і здійсненні технологічних процесів на всіх стадіях виробництва, при проектуванні і виготовленні засобів вимірювання і контролю.

При дослідженні і розрахунку складових загальної похибки процесу тонколистового розділового штампування їх можна звести до наступних трьох основних груп: «прес-штамп-деталь».

1.4 Аналіз засобів компенсації похибок системи «прес-штамп»

З метою компенсації похибок системи «прес-штамп» для розділових операцій розроблено різноманітну номенклатуру засобів та пристроїв, які відрізняються як за принципом дії, так і за розташуванням в даній системі. Плаваючі хвостовики пропонується застосовувати на штампах підвищеної та високої точності. Найбільш поширена конструкція плаваючого хвостовика наведена в роботі [22]. Хвостовик має п'ять ступенів свободи, тобто має можливість значно знизити вплив кутових і горизонтальних зміщень повзуна преса при виконанні розділових операцій. Основні недоліки цієї конструкції – достатньо великі сили тертя між підп'ятником та поверхнею верхньої плити штампного блоку і неможливість виставити рівномірний зазор між бічною циліндричною поверхнею хвостовика і фланця при закріпленні штампа на пресі, що практично зводить нанівець його здатність до компенсації. В конструкції плаваючого хвостовиків, яка наведена в роботі [26], зроблена спроба усунути ці недоліки, але як правило за рахунок обмеження їх технологічних можливостей. Універсальної конструкції так і не було запропоновано, а методики вибору оптимального варіанту із великої кількості існуючих пристроїв не існує.

Для зменшення пружних деформацій у вузлах преса застосовуються пружні компенсатори похибок системи «прес-штамп» на основі еластомірів [27], які розміщують між опорними поверхнями повзуна та верхньої плити штампа. Їх конструкції відрізняються простотою та незначними матеріальними витратами на виготовлення. Але вони мають обмежену область використання за технологічним зусиллям та технологічними операціями холодного листового штампування.

Механічні компенсатори похибок обладнання виконують теж призначення, що і плаваючі хвостовики, але істотно відрізняється по принципу дії і розташуванню в системі "прес-штамп". Якщо плаваючі хвостовики розміщуються на верхній плиті штампа, то компенсатори можуть

розташовуватись на верхній і нижній плитах штампа та під нижньою плитою, вмонтовуватись в пакет, встановлюватись на стіл преса замість підштампової плити, або розміщатись між повзуном і верхньою плитою штампового блока. Тут також спостерігається велика різноманітність конструкцій, але більшість з них має спеціальне призначення. До універсальних слід віднести пристрої компенсації які встановлюються на стіл преса замість підштампової плити [28]. Відзначається, що їх застосування підвищує стійкість штампового оснащення на розділових операціях в 2,5...3 рази. Вважається, що пристрої компенсації також позитивно впливають на початкову точність штампованих деталей, але інформація про порівняльні дослідження в цьому напрямку практично відсутня. Крім того, є суттєві резерви поліпшення експлуатаційних показників існуючих конструкцій.

Таким чином, проведений аналіз засобів компенсації похибок системи «прес-штамп» дозволяє констатувати:

- питання керування експлуатаційними показниками штампового оснащення в різних галузях промисловості досліджені недостатньо;
- потребується подальше вдосконалення засобів компенсації в напрямку обґрунтування вибору типу пристрою компенсації, оптимізації його геометричних параметрів із забезпеченням показників міцності робочих деталей та універсальності застосування.

Висновки і постановка задач

Отже на основі аналізу вище наведеного матеріалу можна зробити наступні висновки:

- на штампові блоки, а отже і на нижні плити їх під час виконання технологічної операції діє велика кількість зовнішніх факторів (похибок), більшість з яких приходить на пресове обладнання;
- існують засоби для компенсації цих похибок, але для підвищення ефективності своєї дії, вони потребують подальшого дослідження та вдосконалення;

- стандартні штампові блоки вибирають по габаритам пакетів, без врахування оптимальних геометричних характеристик їх нижніх плит і наступної перевірки на податливість, що може бути причиною більшої їх металомісткості;

- існуючі методики розрахунку нижніх плит блоків потребують подальшого вдосконалення. На підставі викладеного вище, головним напрямком дослідження є моделювання впливу геометричних параметрів елементів штампових блоків та умов їх кріплення на напружено-деформований стан під дією технологічного зусилля. З цією метою необхідно вирішити наступні задачі:

- проаналізувати існуючі методи аналітичних розрахунків елементів штампових блоків та рекомендації по їх вибору;

- проаналізувати вплив похибок системи “прес-штамп” на елементи штампових блоків і визначити ті, які є суттєвими;

- проаналізувати способи та пристрої компенсації похибок системи «прес-штамп»;

- розробити методику багатофакторного експериментального дослідження напружено-деформованого стану нижніх плит штампових блоків під дією вертикальної складової технологічного зусилля;

- провести комп’ютерне моделювання впливу геометричних та силових параметрів на напружено-деформований стан елементів штампного блоку;

- розробити рекомендації по врахуванню геометричних параметрів елементів штампових блоків та способів їх кріплення в системі «прес-штамп» при проектуванні штампного оснащення для тонколистового матеріалу.

МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Загальна методика

Програмою експериментів для порівняння результатів моделювання в САПР SolidWorks з реальними деформаціями нижньої плити штампового блоку передбачається провести відповідні натурні експерименти. Для цього необхідно визначитися з методом дослідження та підготувати необхідне експериментальне оснащення та вимірювальну апаратуру.

Для моделювання деформаційної картини нижньої плити штампового блоку під дією вертикальної складової технологічного зусилля використовувався метод скінчених елементів [29], який реалізовувався з застосуванням розрахункового модулю САПР SolidWorks [30].

Методика моделювання передбачає:

- створення тривимірних твердотільних параметричних моделей нижніх плит стандартних штампових блоків з діагональним та осьовим розташуванням напрямних вузлів;
- визначення умов закріплення нижніх плит блоків;
- призначення умов навантаження штампових блоків;
- нанесення сітки скінчених елементів на тривимірні моделі зібраних моделей блоків;
- розрахунок переміщення напрямних колонок, напруження текучості по Мізесу та прогину нижньої плити штампових блоків;
- створення зразку звіту дослідження деформаційної картини нижньої плити блоку. Приклад звіту наведено в додатку А.

Для визначення реальної картини деформації нижньої плити штампового блоку під дією вертикальної складової технологічного навантаження передбачається використання прямого методу вимірювання на

основі звичайних вимірювальних приладів (індикатори годинникового типу, мікрометри, штангенциркулі та лінійки)..

2.2. Оцінка достовірності результатів проведеного математичного моделювання

Для оцінки достовірності проведеного моделювання з застосуванням методу кінцевих елементів були проведенні дослідження по навантаженню верхньої плити реального штампового блоку горизонтальним зусиллям. Штамповий блок вибирався за критеріями схожості за кількістю напрямних елементів, закритої висоти, розмірів напрямних колонок та втулок, товщини нижньої та верхньої плити (див. табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Параметри блоків, що порівнюються

Параметри блоку	Стандартний блок з діагональним розташуванням напрямних вузлів (модель)	Штамповий блок з осьовим розташуванням напрямних вузлів (робочий)
Габарити в плані, мм	215×309	
Закрита висота, мм	185	190
Розміри пакету, мм	125×125	130×130
Міжосьова відстань між напрямними вузлами, мм	250	270
Діаметр напрямних колонок, мм	32	32
Товщина верхньої плити, мм	45	45
Товщина нижньої плити, мм	50	50

Схема закріплення та навантаження нижньої плити штампового блоку наведена на рис. 2.1.

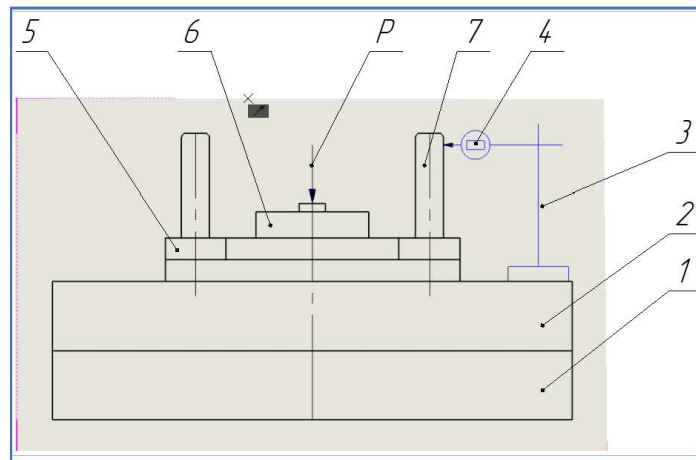


Рисунок 2.1 – Схема закріплення та навантаження нижньої плити штампового блоку: 1 – стіл преса; 2 – підшампова плита; 3 – стійка індикаторна; 4 – цифрова індикаторна головка; 5 – нижня плита штампового блоку; 6 – матриця; 7 – напрямна колонка; P – зусилля навантаження

Навантаження здійснювалося гідроциліндром від ручної насосної установки за показаннями манометра з ціною поділки 1 атмосфера. Переміщення верхньої плити блоку фіксувалося цифровим індикатором годинникового типу з ціною поділки 1 мкм. Індикатор кріпився на багат шарнірній стійці з магнітною основою. Навантаження проводилося поступово з контролем по манометру на позначках 20, 40, 60, 80, 100 атмосфер. Зусилля штока гідроциліндра розраховувалося добутком показань манометра та площі поршня гідроциліндру з переводом у міжнародну систему одиниць СИ (Н). Навантаження по такій схемі проводилося тричі з розрахунком середніх значень показань цифрового індикатора годинникового типу. Загальний вид експериментальної установки наведений на рис. 3.27.



Рисунок 2.2 – Загальний вид експериментальної установки

Результати вимірювань переміщення верхньої плити штампного блоку були зведені у табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Результати вимірювань переміщення верхньої плити штампного блоку

№ з/п	Показання манометра, кг/см ²	Зусилля на штоку гідроциліндра, Н	Показання індикатора годинникового типу, мкм
1.	0	0	0
2.	20	56670	5
3.	40	113354	10
4.	60	170031	14
5.	80	226708	18
6.	100	283385	24

Для оцінювання похибки вимірювань були зроблені 3 навантаження та розвантаження при показанні манометра 40 кг/см², (показання індикатора – 8

мкм, 12 мкм, 11 мкм). Розрахунок похибки був здійснений за методикою, наведеною нижче.

$$\bar{E}_k = \frac{E_{k1} + E_{k2} + \dots + E_{ki}}{n} \quad (2.1)$$

де E_{k1}, E_{k2}, E_{ki} – результати вимірів деформацій колонок;

$\bar{E}_k, \bar{E}_n$ – середні арифметичні значення величин;

n – кількість вимірів;

$i = 1, 2, 3 \dots$

При наявності окремих результатів, які різко відрізнялися від обчисленого середнього значення, достовірність перевірялася за критерієм Стюдента, для чого необхідно:

а) обчислити середнє квадратичне відхилення S за формулами:

$$\bar{E}_k = \sqrt{\frac{(E_{k1} - \bar{E}_k)^2 + (E_{k2} - \bar{E}_k)^2 + \dots + (E_{kn} - \bar{E}_k)^2}{n-1}} \quad (2.2)$$

де

E_{k1}, E_{k2}, E_{kn} – результати вимірів деформацій колонок;

$\bar{E}_k$ – середні арифметичні значення величин;

n – кількість вимірів;

б) перевірити достовірність результатів, які різко відхиляються за формулами:

$$\frac{|(E_{k\max(\min)} - \bar{E}_k)|}{S_k} \leq t \quad (2.3)$$

де

$E_{k\max(\min)}$ – максимальний (мінімальний) результат вимірювання;

t – критерій Стюдента.

В подальшому, результати вимірювань були внесені у блок побудови діаграм та графіків офісної програми Microsoft Excel. Побудований графік наведений на рис. 2.3.

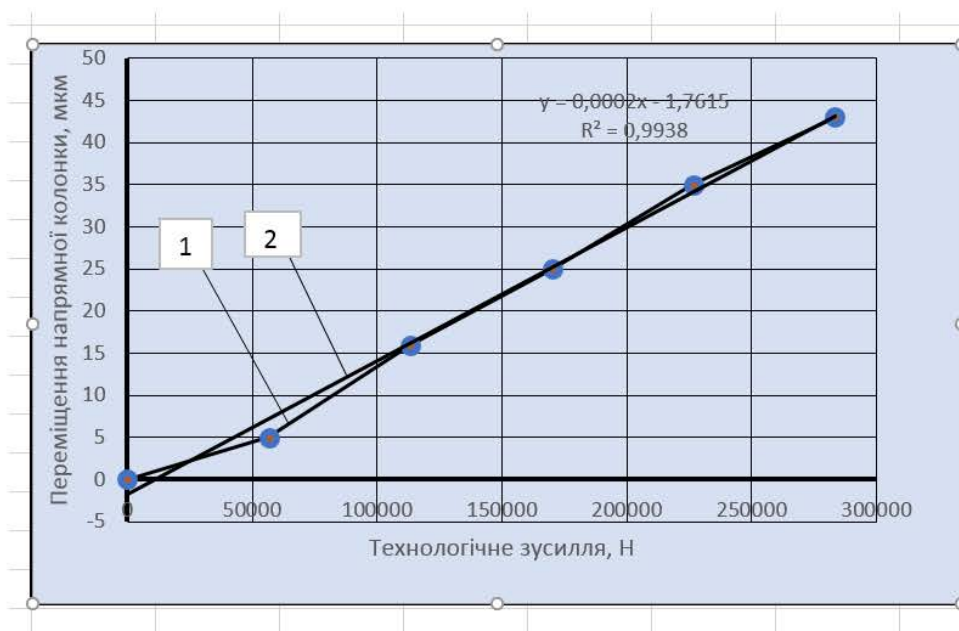
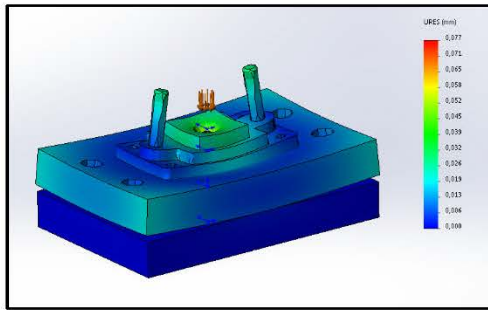
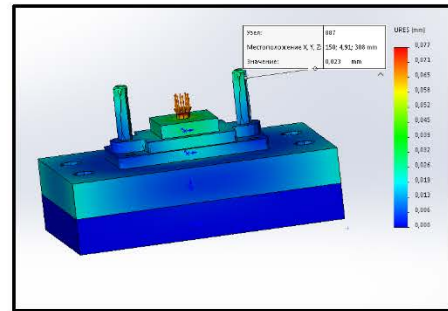


Рисунок 2.3 – Переміщення напрямної колонки блока під навантаженням: 1 – експериментальна крива; 2 – теоретична крива

Для оціночного співставлення результатів моделювання в САПР SolidWorks на модель нижньої плити штампового блоку з напрямними колонками було накладене по величині таке ж саме зусилля, як і на реальному штампі, з імітацією контакту пуансона з матрицею. Методом зондування на моделі (див. рис. 2.4) у точці контакту щупа цифрового індикатора годинникового типу з напрямною колонкою величина переміщення склала 23 мкм у порівнянні з 24 мкм на реальному штампі. Такий результат можна вважати прийнятним.



а)



б)

Рисунок 2.4 – Переміщення напрямної колонки внаслідок деформації нижньої плити блока під технологічним навантаженням (283385 Н): а) – деформований результат; б) – процес зондування

Отже підсумовуючи вище викладене, можна зробити висновок, що поведінка моделі нижньої плити штампового блоку з напрямними елементами під навантаженням адекватна реальним деформаційним процесам, які відбуваються в реальних умовах роботи штампового оснащення.

2.3 Техніка безпеки при проведенні експериментальних робіт

2.3.1 Вимоги безпеки перед початком роботи

Перед початком роботи потрібно:

- одягнути та привести до ладу передбачений для виконання роботи спецодяг, спецвзуття та ЗІЗ;
- оглянути і привести в належний стан робоче місце, прибрати зайве;
- оглянути інструмент, інвентар, пристосування, перевірити їх справність;
- переконатися в достатній освітленості робочого місця; при необхідності використання переносного світильника переконатися в його справності, при цьому напруга для його живлення не повинна перевищувати 42 В.

– гідравлічний прес має бути закріплений на підлозі і відповідати таким вимогам:

- корпус преса (станина) не повинен мати тріщин та інших ушкоджень;
- манометр робочого тиску гідравлічного преса має бути справним;
- робоча зона, спрямована у бік проходів або в сторону іншого обладнання, має бути відгороджена захисним екраном;
- пристосування для випресовування повинні підходити за розміром і не мати схильності до руйнування (розтріскування);
- підставки під оброблювану деталь повинні відповідати розмірам деталі і мати можливість фіксації деталі на пресі;
- гідравлічні шланги не повинні мати ушкоджень, вони повинні бути надійно закріплені на штуцерах;
- гідроциліндр не повинен пропускати робочу рідину через ущільнення.
- при виявленні загрози безпечному проведенню роботи, необхідно доповісти про це безпосередньому керівнику і до роботи не приступати. Дозволяється приступати до роботи тільки після усунення виявлених недоліків.

2.3.2 Вимоги безпеки під час роботи

Під час роботи працівники повинні:

- бути уважними, не відволікатися на сторонні справи та розмови, не відволікати інших працівників;
- постійно підтримувати чистоту та порядок на робочому місці, тримати в чистоті і справності всі вузли і механізми преса;
- стежити за справністю роботи електрообладнання та електроприладів; у разі раптового припинення подачі електроенергії прес необхідно відключити від електричної мережі;
- стежити за справністю всіх контрольно-вимірювальних приладів; при виявленні несправностей необхідно вжити заходи щодо зупинки преса та повідомити про це безпосереднього керівника;

- стежити за тим, щоб не було витоків робочої рідини в місцях приєднання шлангів;

- при пресуванні деталі стежити, щоб вона була міцно закріплена, а спеціальне пристосування було встановлене без перекосів. Робочі деталі встановлювати стійко на підручних пристосуваннях так, щоб унеможливити їх зміщення під час роботи. Обробляти деталі, що знаходяться в підвішеному стані або які утримуються руками, не допускається.

Забороняється:

- допускати до управління пресом сторонніх осіб;
- проводити регулювання та ремонт обладнання під час роботи преса;
- працювати на несправному пресі;
- працювати з несправними контрольно-вимірювальними приладами та гідравлічною магістраллю;
- доторкатися до рубильників та іншого електроустаткування без гумових рукавичок;
- залишати прес, який працює, без нагляду.

2.3.3 Вимоги безпеки після закінчення роботи

- вимкнути прес. Закрити вентиль (клапан) на масляній магістралі;
- привести робоче місце в належний стан, зібрати та перенести у відведені місця залишки матеріалів, їх відходи, інструменти тощо;
- ретельно протерти і очистити пристосування і інструмент від стружки, тирси, пилу тощо;
- зняти спеціальний одяг, спецвзуття, інші засоби індивідуального захисту та помістити їх до місця зберігання;
- вимити руки, обличчя, переодягнутися у чистий одяг;
- доповісти керівнику про виявлені під час роботи недоліки.

2.3.4 Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях

В процесі роботи можуть виникнути наступні аварійні ситуації:

- загоряння обладнання або матеріалів, виникнення пожежі;

– пошкодження ізоляції електрообладнання, виникнення напруги дотику та крокової напруги;

- заклинювання рухомих частин обладнання;
- розрив частин механізмів, що рухаються або обертаються;
- виліт матеріалів, що обробляються.

У разі виникнення аварійної ситуації необхідно:

– обгородити небезпечну зону і не допускати в неї сторонніх осіб;

– якщо обстановка не загрожує життю і здоров'ю працівників і не повинна призвести до більш тяжких наслідків, необхідно її зберегти такою, якою вона була на момент настання події, для проведення розслідування;

- повідомити про те, що сталося, керівника робіт;
- у випадку виникнення пожежі приступити до її ліквідації; якщо погасити пожежу своїми силами неможливо, викликати пожежну команду.

У разі настання нещасного випадку:

- негайно звільнити потерпілого від дії вражаючого фактору;
- перенести його в безпечне місце;
- визначити стан потерпілого, при необхідності надати йому домедичну допомогу, а у тяжких випадках викликати екстрену медичну допомогу.
- при ліквідації аварійної ситуації виконувати вказівки керівника робіт.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ НИЖНІХ ПЛИТ ШТАМПОВИХ БЛОКІВ ПІД ДІЄЮ ТЕХНОЛОГІЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ

3.1. Методика моделювання напружено-деформованого стану нижніх плит штампових блоків

З метою дослідження напружено-деформованого стану нижніх плит штампових блоків при розміщенні їх на відкритих кривошипних пресах були прийняті наступні вихідні умови:

– нижня плита блоку розділового штампа з діагонально розташованими напрямними колонками та закріпленою матрицею встановлювалась на підштампову плиту, яка закріплювалась на столі відкритого кривошипного пресу номінальним зусиллям 400 кН;

за основу були вибрані плити з розмірами робочих площин 125x125 мм та 200x200 мм;

Підштампова плита пресу спиралася на стіл пресу з фігурним провальним отвором загальною площею 66281 мм², що складає майже 27% площі стола. Нижня плита штампу закріплювалась на підштамповій плиті преса, яка має круглий провальний отвір площею 13266 мм². Під дією технологічного навантаження на матрицю в обох плитах виникає складний напружено-деформований стан, який впливає на експлуатаційні показники штампового блоку. Відбувається зміщення осей напрямних колонок, прогинається нижня плита блоку, виникають напруження в матеріалі.

На цей стан можуть впливати різноманітні фактори. В результаті попереднього аналізу нами були визначені наступні:

- технологічне зусилля, (X_1);
- площа нижньої плити, (X_2);
- товщина нижньої плити, (X_3);
- площа матриці, (X_4).

–товщина матриці, (X_5).

З метою з'ясування, який з факторів більшою мірою впливає на перераховані експлуатаційні показники, був розроблений багатфакторний дворівневий план експерименту.

3.2. Побудова плану експерименту

Повний факторний експеримент для п'ятих факторів і двох рівнів визначається по формулі:

$$N = 2^k = 2^5 = 32 \quad (3.1)$$

де N – кількість дослідів;

k – кількість факторів.

Для зменшення трудомісткості підготовки та проведення експерименту приймаємо дробовий дворівневий факторний план типу:

$$N = 2^{k-p} = 2^{5-2} = 8$$

де $p = 2$.

Значення факторів на верхньому і нижньому рівнях та імена залежних змінних наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Значення факторів на верхньому і нижньому рівнях

Фактори	Технологічне зусилля, Н X_1	Площа нижньої плити, мм ² X_2	Товщина нижньої плити, мм X_3	Площа матриці, мм ² X_4	Товщина матриці, мм X_5	Залежна змінна*		
Верхній рівень ($x_i = +1$)	300000	91812	63	22500	50	y_1 ,	y_2 ,	y_3
Нижній рівень ($x_i = -1$)	150000	39979	45	10000	30			

*Примітка: y_1 – переміщення прямої колонки, мкм; y_2 – прогин нижньої плити, мкм; y_3 – максимальні напруження в нижній плиті за Мізесом (σ_{max}), МПа

Надалі розробка плану експеримента та його аналіз виконувався в прикладній програмі STATISTICA [43].

Із запропонованих видів планів в меню «Планування експерименту» вибираємо «Стандартні плани (Бокса, Хантера)» і далі «Стандартні дворівневі плани». Задаємо прийняте заздалегідь число факторів – 5. Програма пропонує можливі варіанти як повних планів, так і з дробовою реплікою. Вибираємо

варіант з найменшою кількістю дослідів – 5/1/8, де перша цифра позначає кількість факторів, друга – кількість блоків (серій дослідів), третя – число дослідів. Фіксуємо обраний тип плану. З'являється діалогове вікно *План експеримента з дворізними факторами*. Вибираємо порядок проведення дослідів *Стандартний*. Після натиснення кнопки *Відобразити план* з'явиться дробовий факторний план експерименту (рис. 3.1.)

Планир. план	План: 2**(5-2) план (План_2_19_12_2022)				
	A	B	C	D	E
1	-1,00000	-1,00000	-1,00000	1,00000	1,00000
2	1,00000	-1,00000	-1,00000	-1,00000	-1,00000
3	-1,00000	1,00000	-1,00000	-1,00000	1,00000
4	1,00000	1,00000	-1,00000	1,00000	-1,00000
5	-1,00000	-1,00000	1,00000	1,00000	-1,00000
6	1,00000	-1,00000	1,00000	-1,00000	1,00000
7	-1,00000	1,00000	1,00000	-1,00000	-1,00000
8	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000

Рисунок 3.1 – Дробовий факторний план експерименту (скрин екрану)

Для зручності редагуємо план, задавши імена факторів та імена верхнього і нижнього рівнів у текстовому форматі. Додаємо до плану стовпці з іменами обраних раніше залежних змінних (y_1 , y_2 , y_3) для введення результатів дослідів (функції відгуку). Для отримання значень залежних змінних створюємо відповідні варіанти твердотільних моделей збірок на базі стандартних штампових блоків з діагональним розташуванням напрямних колонок в САПР SolidWorks.

Після моделювання напружено-деформованого стану нижніх плит штампових блоків методом кінцевих елементів у САПР SolidWorks (див. п.п. 3.3). отримані результати дослідів вводимо у таблицю плану експериментів. Після редагування таблиці дробовий двофакторний план прийме вигляд, наведений на рисунку 3.2.

Планир. план	План: 2**(5-2) план ((Немає активного набору даних))							
	Технологічне зусилля, Н X_1	Площа нижньої плити, мм ² X_2	Товщина нижньої плити, мм X_3	Площа матриці, мм ² X_4	Товщина матриці, мм X_5	Переміщенн я напрямної колонки, мкм y_1	Прогин нижньої плити, мкм y_2	Максимальні напруження в нижній плиті за Мізесом, МПа y_3
1	150000	39979	45	15625	50	18	17	32,1
2	300000	39979	45	6400	30	49	29	69,7
3	150000	91812	45	6400	50	20	23	57,4
4	300000	91812	45	15625	30	29	32	49,7
5	150000	39979	63	15625	30	17	16	31,2
6	300000	39979	63	6400	50	39	38	69,9
7	150000	91812	63	6400	30	21	17	39,8
8	300000	91812	63	15625	50	24	26	40,3

Рисунок 3.2 – Дробовий факторний план експерименту у текстовому форматі (скрин екрану)

3.3. Методика побудови твердотільних моделей збірок нижніх плит штампових блоків та моделювання їх напружено-деформованого стану

В першому розділі роботи було встановлено, що на експлуатаційні показники штампового оснащення в системі «прес-штамп» впливає велика кількість різноманітних факторів. Частина їх стосується штампового інструменту, а саме його жорсткості та металомісткості. На роботу штампового оснащення, окрім його взаємодії з повзуном преса, впливає спосіб його розміщення та установки в робочий зоні. Нижня плита блоку закріплюється на підштамповій плиті преса з круглим провальним отвором, а підштампова плита, в свою чергу, спирається на стіл преса з достатньо великим фігурним провальним отвором. Під дією технологічного навантаження опорні плити штампових блоків деформуються, що приводить до прискореного зносу жорстко зв'язаних з ними напрямних колонок та зниження якості штампованих деталей. Точних аналітичних методів розрахунку нижніх плит штампу до цього часу не існує. Є емпіричні формули розрахунку товщин плит, під якими знаходиться отвір, але, як правило, всі вони дають завищені результати. Внаслідок цього спроектовані штампи мають збільшену металомісткість, що не сприяє економії металу. Але інформації про те, як саме визначена в плані експерименту комбінація факторів впливає на напружено-деформований стан нижньої плити штампових блоків не існує.

Дослідити це на реальних об'єктах достатньо важко, оскільки маємо справу з мікропереміщеннями, які для реєстрації потребують дорогого вимірювального обладнання і певних часових ресурсів. В цих умовах доцільно застосувати методи аналізу напружено-деформованого стану на базі розрахункових пакетів сучасних САПР, які засновані на методі кінцевих елементів.

Метод скінченних елементів (МСЕ) є одним із найбільш поширених чисельних методів розрахунку різноманітних конструкцій. Популярність його пояснюється можливістю застосування його до розрахунку систем довільної складності при відносно недорогим, доступним та ефективним програмним забезпеченням.

Метод скінченних елементів заснований на тому, що область, в якій шукається рішення диференціальних рівнянь, розбивається на певну кількість елементів. У кожному з елементів вибирається вид апроксимуючої функції. У найпростішому випадку це поліном першого ступеня. Поза своїм елементом апроксимуюча функція дорівнює нулю. Значення функцій на кордонах елементів (вузлах) є рішенням задачі і заздалегідь невідомі. Коефіцієнти апроксимуючих функцій зазвичай шукаються в умовах рівності значення сусідніх функцій на кордонах між елементами і виражаються через значення функцій у вузлах. Складається система лінійних алгебраїчних рівнянь. Кількість рівнянь дорівнює кількості невідомих значень у вузлах, помноженому на число вузлів і обмежується тільки обчислювальними можливостями ЕОМ. Кожен з елементів пов'язаний з обмеженою кількістю сусідніх, що істотно спрощує її рішення.

В даній роботі для застосування МСЕ була обрана САПР SolidWorks з доповненням блоку Simulator [42].

Основною задачею моделювання МСЕ в даній роботі було встановлення впливу конструктивних особливостей нижніх плит штампових блоків та умов технологічного навантаження на залежні змінні, які були обумовленими планом експерименту (див. рис. 3.2.).

Перед проведенням аналізу MCE була виконана попередня підготовка, яка полягала у наступному:

- відповідно до плану експерименту (див. рис. 3.2) були розроблені твердотільні параметричні моделі деталей окремих елементів штампових блоків та пресу (стіл пресу, підштампова плита, нижня плита блоку з напрямними колонками, матриця) в САПР SolidWorks (рис. 3.3) з яких відповідними інструментами складалася збірка (рис. 3.4);

- з створених деталей, відповідно до кожного номеру дослідів, були зібрані 8 варіантів твердотільних параметричних збірок штампових блоків, які підлягали аналізу MCE в модулі Simulator з призначенням матеріалів елементам блока з бібліотеки матеріалів SolidWorks. Були зроблені деякі спрощення, а саме: з конструкції напрямних вузлів були вилучені різні проточки та канавки для змащення, а з матриці всі кріпильні елементи (болти, гвинти, штифти); вертикальна складова зусилля прикладалася до поверхні матриці, через яку зусилля передається на нижню плиту.

- для кожної збірки був обраний статичний вид досліджень. Статичні дослідження обчислюють переміщення, сили реакції, навантаження, напруги і розподіл запасу міцності. Матеріал руйнується там, де навантаження перевищили певний рівень. Обчислення запасу міцності базується на критеріях руйнування. Програма пропонує 4 критерії руйнування. Статичні дослідження дозволяють уникнути руйнування, викликаного напруженнями, які перевищують ті, що допускаються. Коефіцієнт запасу міцності менше одиниці означає руйнування матеріалу. Великі коефіцієнти міцності в деякій області вказують на низькі навантаження і на те, що можна, можливо, вилучити певну частину матеріалу з цієї області. Тіло, коли до нього застосовуються навантаження, деформується і вплив навантажень передається через все тіло. Зовнішні навантаження включають в себе внутрішні сили і реакції, які компенсують цей вплив і повертають тіло в стан рівноваги. Лінійний статичний аналіз розраховує сили переміщень, напруги, навантаження і реакції при впливі прикладених навантажень. При проведенні

пробних експериментів було виявлено, що діючі навантаження значно менші ніж ті, що допускаються міцністю матеріалу, тому коефіцієнт запасу міцності не був включений в результати дослідження.

– для проведення статичного аналізу були прийняті наступні припущення: всі навантаження додаються повільно і поступово, поки не досягнуть своїх повних величин. По досягненню своїх повних величин навантаження залишаються постійними. Таке припущення дозволяє знехтувати внутрішніми силами і силами демпфірування через малі прискорення і швидкості. Взаємини між навантаженнями і викликаними реакціями передбачаються лінійними. Якщо, наприклад, збільшити вдвічі величину навантажень, реакція моделі (переміщення, навантаження і напруги) також збільшиться вдвічі. Допущення лінійності можна приймати, якщо: всі матеріали в моделі підкоряються закону Гука, відповідно до якого напруга прямо пропорційна деформації; викликані переміщення досить малі, щоб можна було знехтувати змінами в жорсткості, викликаними навантаженням; граничні умови не змінюються під час прикладання навантажень. Навантаження повинні бути постійними за величиною, напрямком і розподілом. Вони не повинні змінюватися під час деформування моделі.

– були вибрані умови кріплення збірки (фіксація нижньої поверхні столу пресу, рис. 3.5) ;

– до поверхні матриці прикладалось зовнішнє навантаження (вертикальна складова технологічного зусилля, рис. 3.6.);

– вибирались види контактів компонентів збірки, виходячи з реальних умов їх кріплення.

– вибирались з'єднання елементів збірки аналогами болтів або гвинтів із завданням умов їх попереднього навантаження а саме: – підштампова плита преса кріпилася до стола преса чотирма гвинтами діаметром 22 мм з попереднім навантаженням 50 кН, а нижня плита блоку кріпилася до підштампової плити двома гвинтами діаметром 16 мм з попереднім

навантаженням 20 кН. Умови кріплення та величини попередніх навантажень не змінювались для всіх запланованих дослідів.

– створювалася сітка для моделі збірки. При створенні сітки для моделі, програмне забезпечення генерує поєднання твердого тіла, оболонки, пружини і дотичні елементи на основі створеної геометрії. Програма автоматично створює такі сітки. Програма створює сітку на твердому тілі з тетраедральними 3D твердотільними елементами для кожного твердого тіла в папці "Деталі". Тетраедральні елементи є придатними для об'ємистих об'єктів. Програма автоматично застосовує комбіновану сітку, коли в моделі присутні різні геометричні форми.

– методом підбору визначалися оптимальні параметри нанесення сітки кінцевих елементів з врахуванням обчислювальних ресурсів персонального комп'ютера (рис. 3.7.);

– надалі відбувався запуск обчислювального процесу з наступним формуванням результатів.

Згідно плану дослідження формувалися наступні результати: епюри переміщення напрямних колонок, епюри прогину нижньої плити блоку, епюри максимальних напружень нижньої плити за Мізесом. Критерій максимального напруження за Мізесом заснований на теорії Mises-Hencky, відомої також як теорія максимальної енергії формозміни.

В обчисленні головних напружень s_1 , s_2 и s_3 , напруження за Мізесом виражені як:

$$S_{vonMises} = \{[(s_1 - s_2)^2 + (s_2 - s_3)^2 + (s_1 - s_3)^2]/2\}^{(1/2)} \quad (3.3)$$

Теорія стверджує, що пластичний матеріал починає руйнуватися в місцях, де напруження за Мізесом стає рівним граничному напруженню. У більшості випадків, межа текучості використовується в якості граничного напруження. Однак, програма дозволяє використовувати граничне розтягування або ставити своє власне максимальне напруження.

$$S_{vonMises} > S_{предел.}$$

(3.4)

Межа текучості - властивість, яка залежна від температури. Справжня задана величина межі текучості повинна враховувати температуру компонента. Коефіцієнт запасу міцності в даному місці підраховується на основі $(FOS) = S_{предел.} / S_{vonMises}$

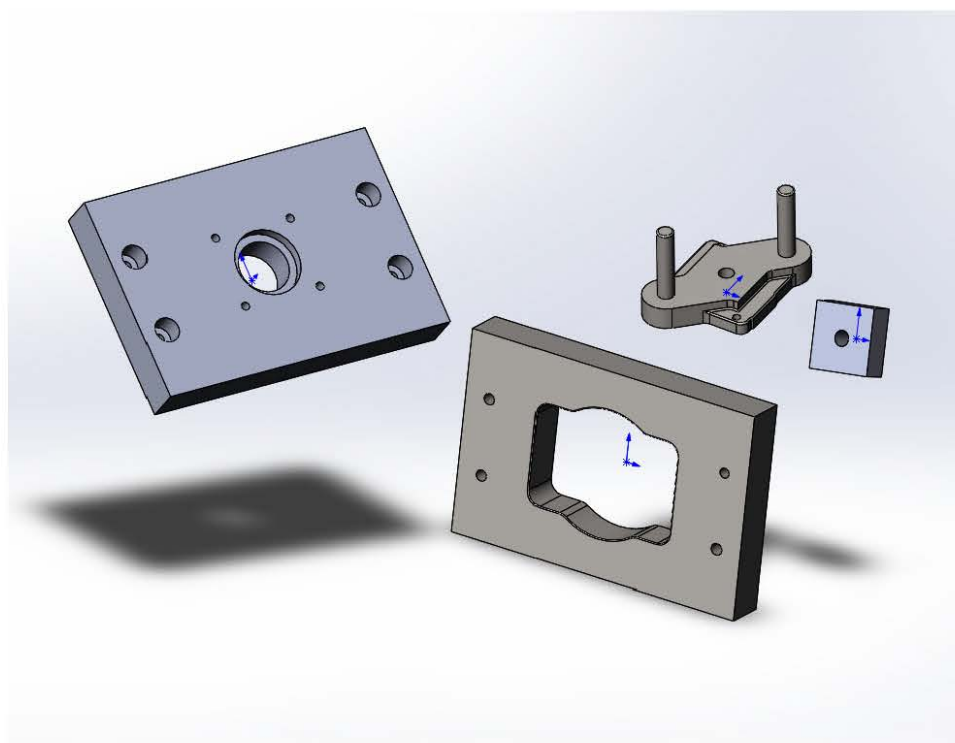


Рисунок 3.3 – Твердотільні параметричні моделі деталей штампових блоків та деталей кривошипного пресу

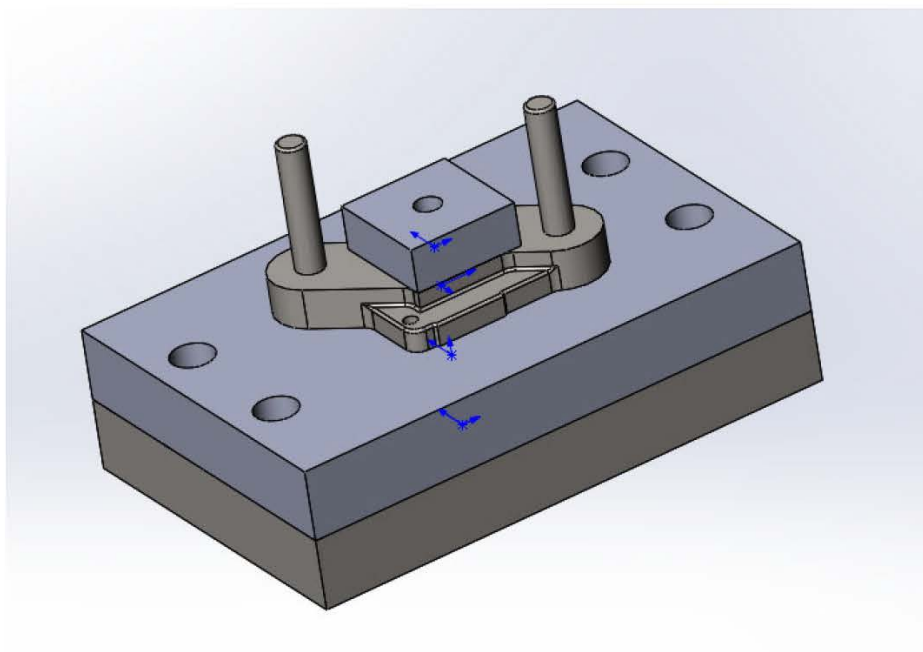
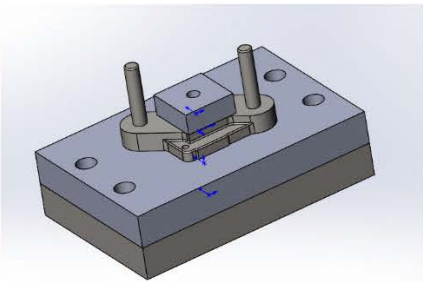
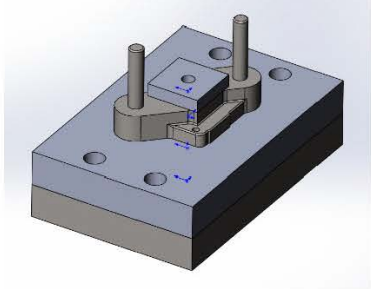


Рисунок 3.4 –Твердотільна параметрична модель збірки нижньої плити штампового блоку з діагональним розташуванням напрямних колонок з деталями пресу

Таблиця 3.2 – Варіанти збірки штампового блоку згідно номеру дослідів

№ дослідів по плану	Варіант зборки блока	№ дослідів по плану	Варіант зборки блока
1.		5.	

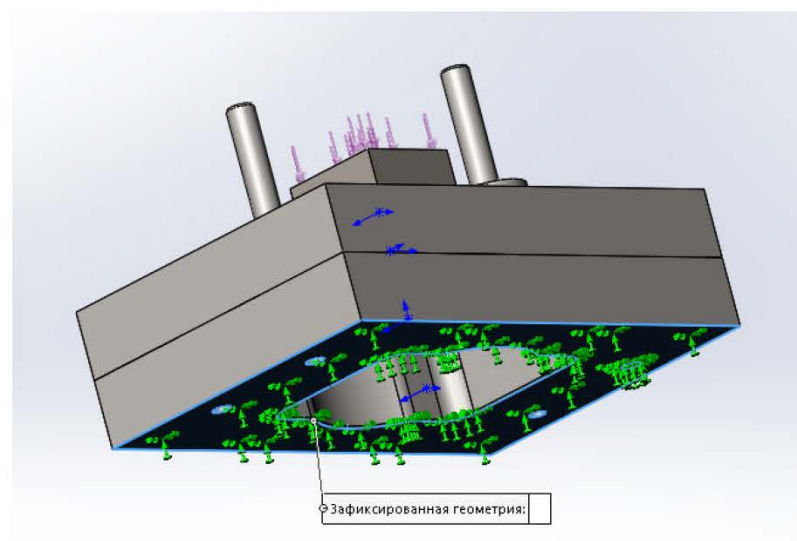
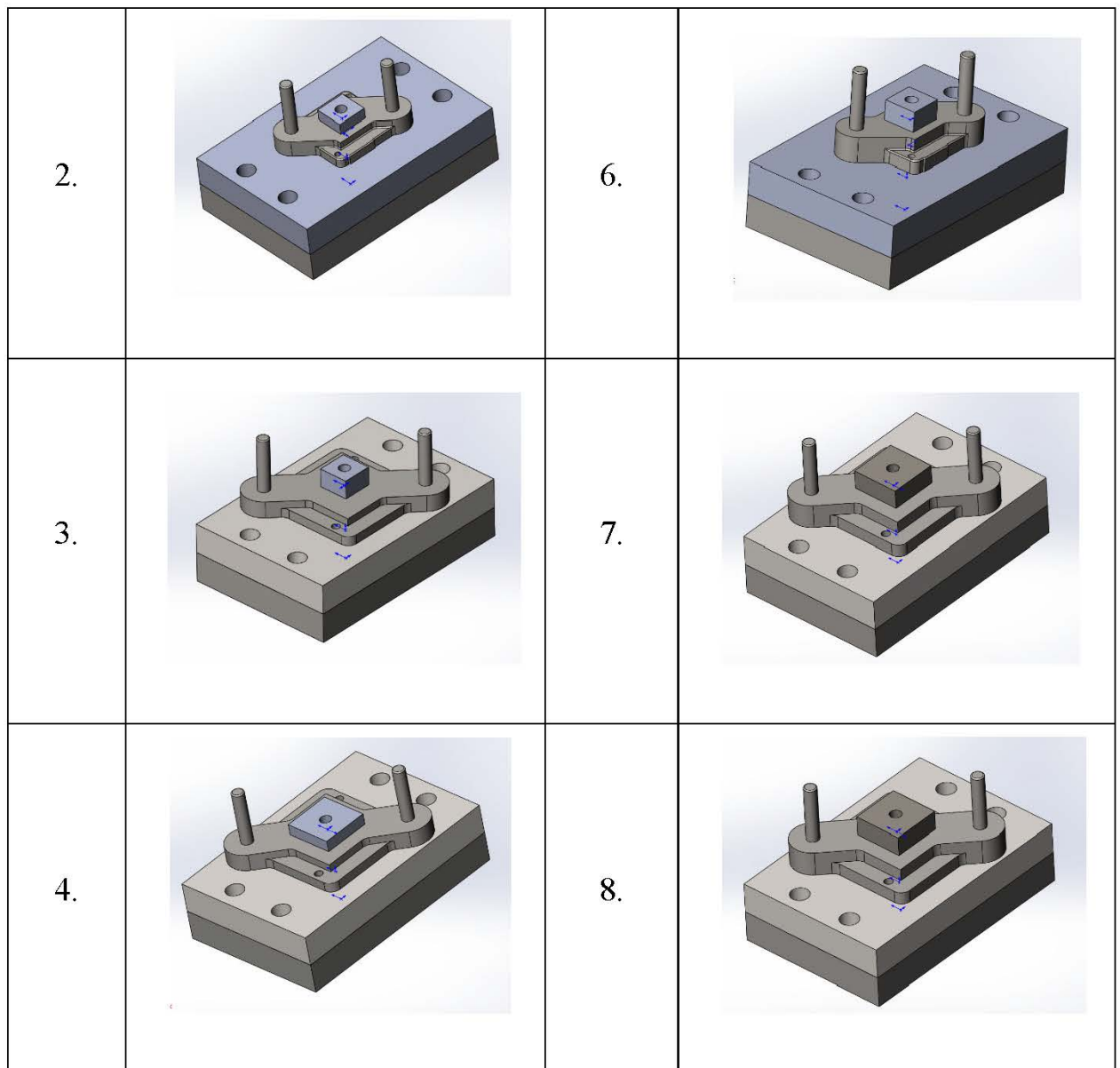


Рисунок 3.5 – Фіксація столу преса в розрахунковому модулі Simulator
САПР SolidWorks

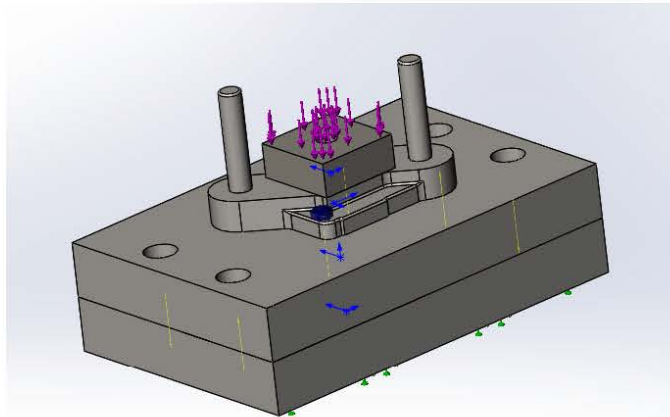


Рисунок 3.6 – Накладення технологічного зусилля на модель збірки нижньої плити штампового блоку з підштамповою плитою і столом преса в розрахунковому модулі Simulator CAEP SolidWorks (скрин екрану)

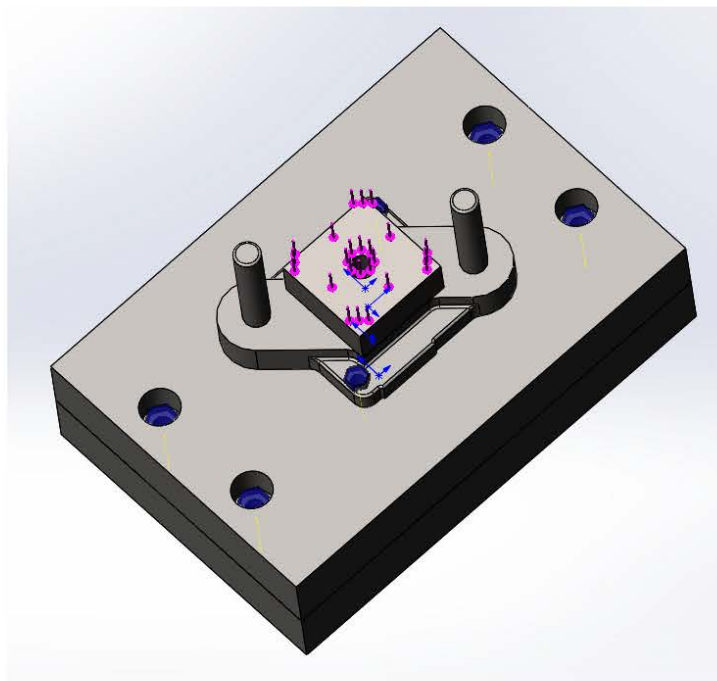


Рисунок 3.7 – Застосування жорстких з'єднувачів на компоненти збірки (стіл преса – підштампова плита та підштампова плита – нижня плита штампового блоку) в розрахунковому модулі Simulator CAEP SolidWorks (скрин екрану)

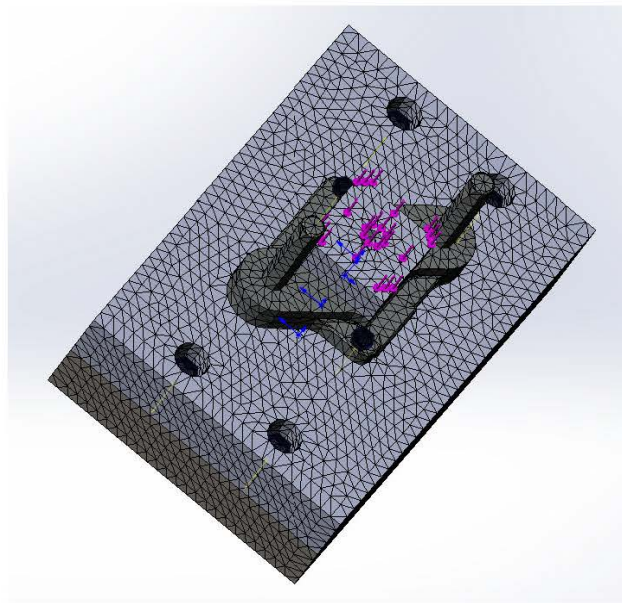


Рисунок 3.8 – Нанесення сітки на модель збірки нижньої плити штампового блоку разом зі столом преса та підштамповою плитою в розрахунковому модулі Simulator САПР SolidWorks (скрин екрану)

Крім отримання візуальної картини розподілу напружень та переміщень виконувалося перевірочне зондування блоку в найбільш проблемних місцях. Зондування дозволяє отримати числове значення поля в певному місці розташування. За допомогою зонда можна переглянути числове значення поля в найближчому вузлі або центрі елемента від точки натискання. Результати можна відобразити на графіку або зберегти їх у файлі.

Візуалізація результатів моделювання по кожній моделі стандартного штампового блоку згідно номеру дослідів наведені на рис. 3.8, 3.9 та в табл. 3.3, 3.4.

Далі знову переходимо до ПП STATISTICA з метою подальшого аналізу отриманих результатів.

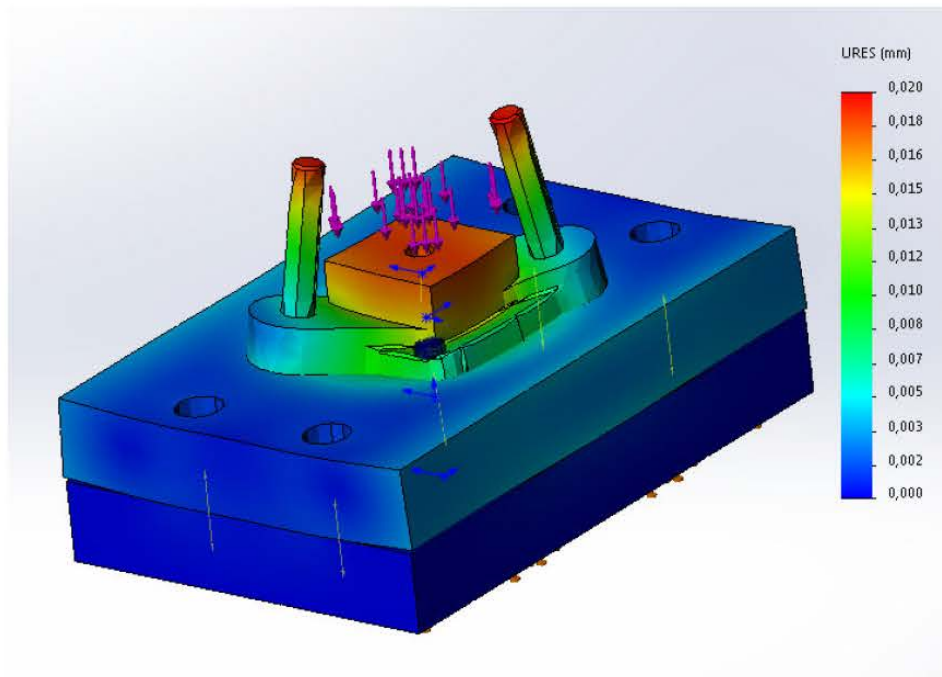


Рисунок 3.9 – Візуалізація епюри переміщень напрямних елементів штампового блоку під дією технологічного зусилля в розрахунковому модулі Simulator CAIP SolidWorks (скрин екрану)

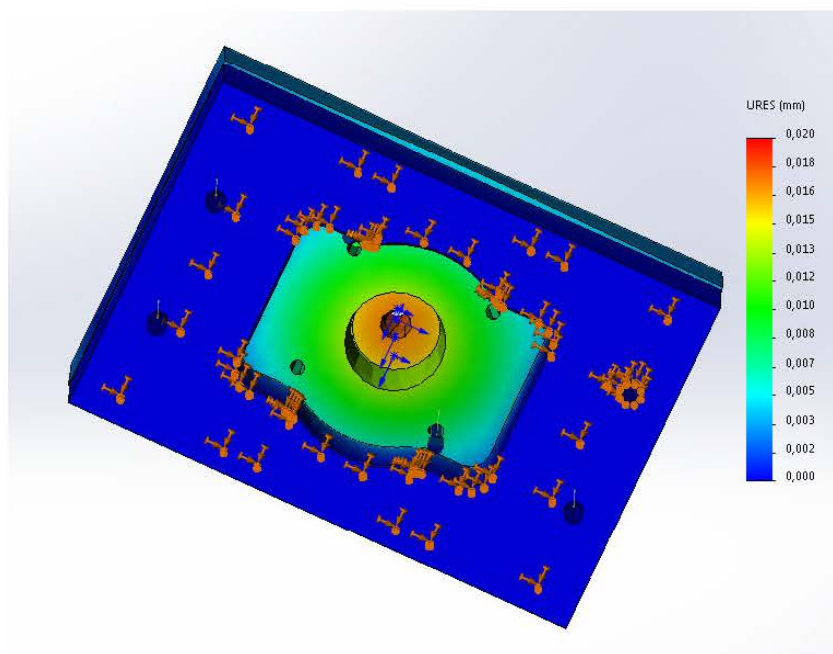


Рисунок 3.10 – Візуалізація епюри переміщень нижньої плити штампового блоку під дією технологічного зусилля в розрахунковому модулі Simulator CAIP SolidWorks (скрин екрану)

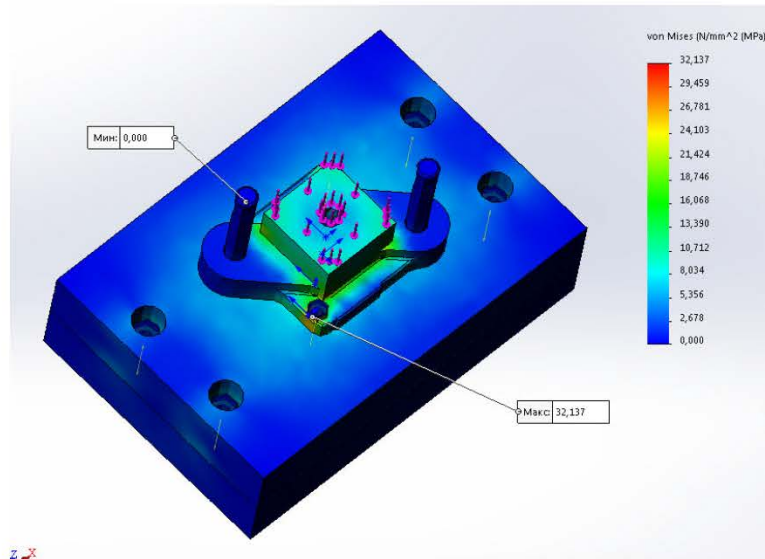
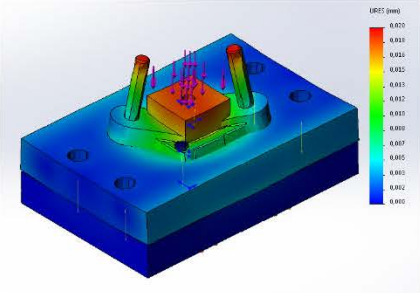
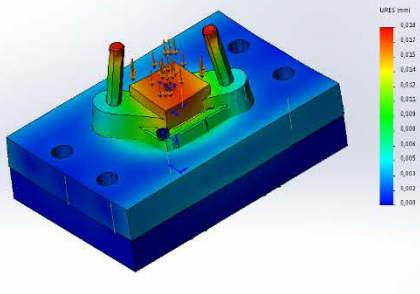
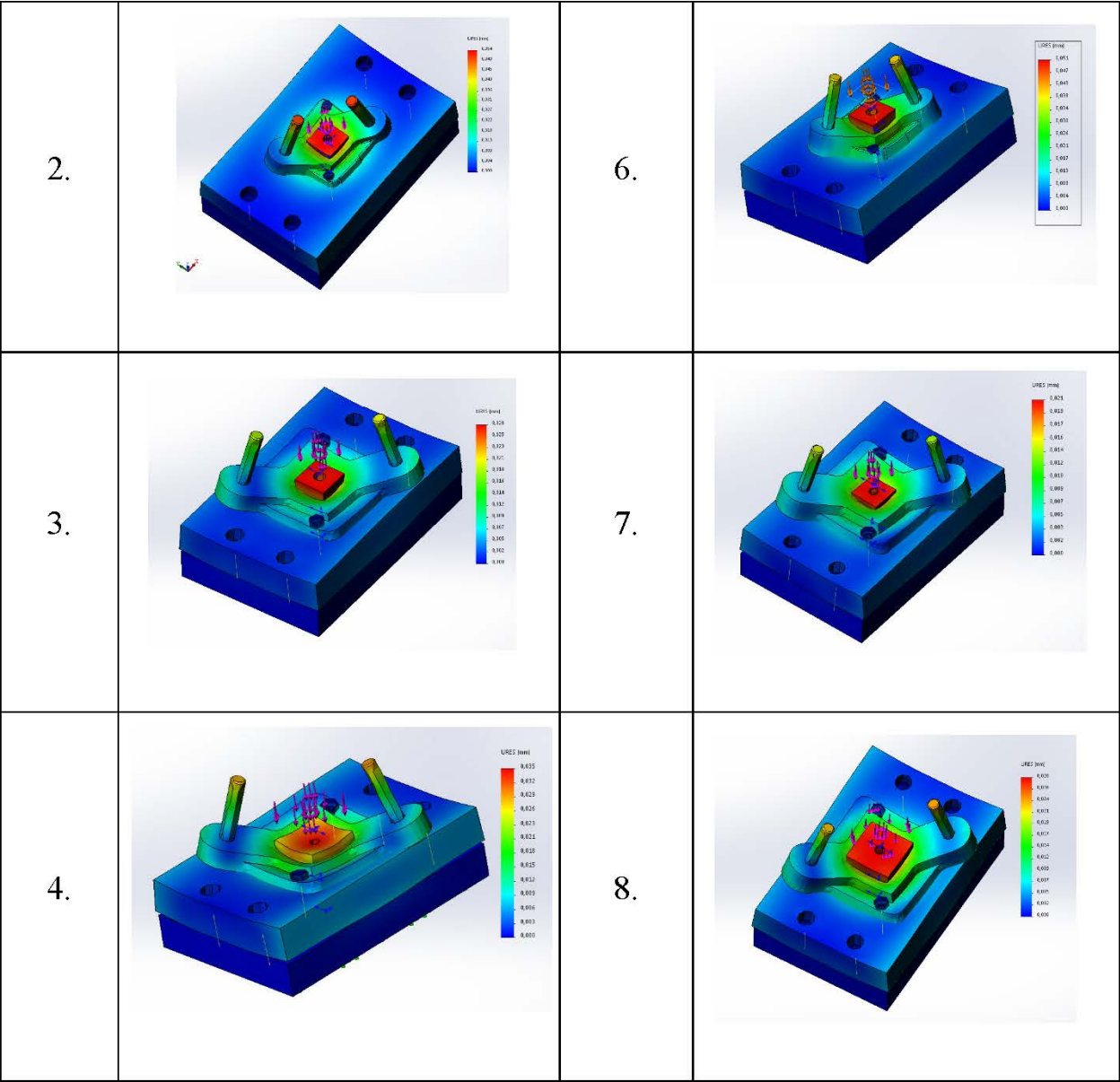


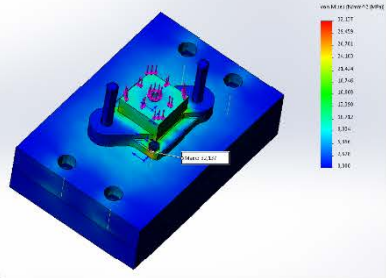
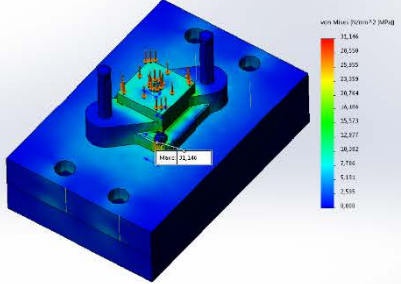
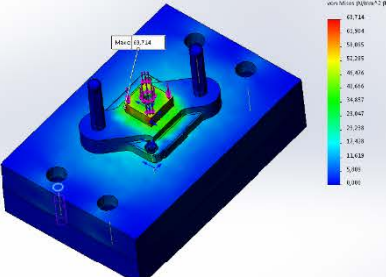
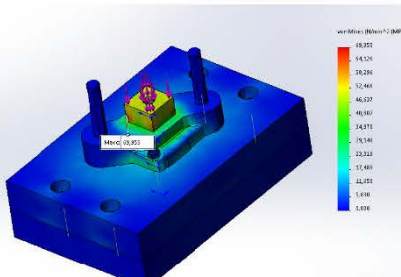
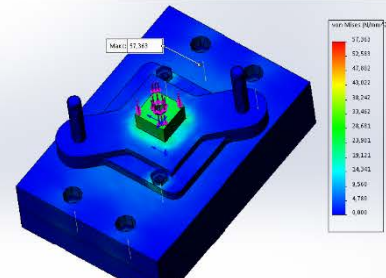
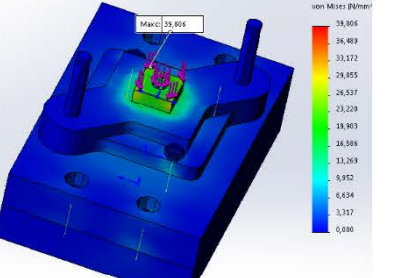
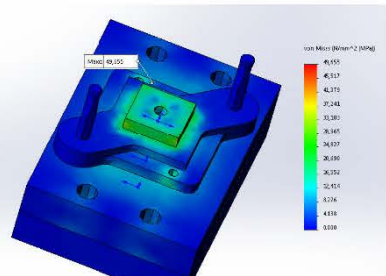
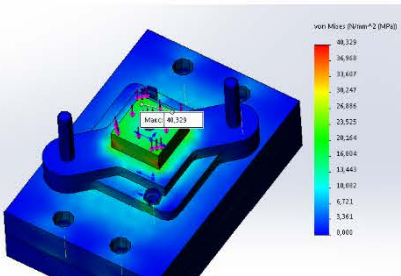
Рисунок 3.11 – Візуалізація епюри напружень в збірці нижньої плити штампового блоку сумісно з компонентами стола преса та підштампової плити під дією технологічного зусилля в розрахунковому модулі Simulator САПР SolidWorks (скрин екрану)

Таблиця 3.3 – Візуалізація максимального переміщення напрямних колонок збірки нижньої плити штампового блоку згідно номеру дослід

№ дослід у по плану	Варіант збірки блока	№ дослід у по плану	Варіант збірки блока
1.		5.	



Таблиця 3.4 – Візуалізація максимальних напружень в нижній плиті штампового блоку за Мізесом згідно номеру дослідів

№ дослідів по плану	Варіант збірки блока	№ дослідів по плану	Варіант збірки блока
1.		5.	
2.		6.	
3.		7.	
4.		8.	

3.4. Аналіз результатів дослідження напружено-деформованого стану штампових блоків

Для аналізу плану через вікно *Стандартні дворівневі плани* переходимо до *Аналіз плану*. Вибираємо залежну і незалежні змінні. Після натиснення кнопки *ОК* переходимо у вікно аналізу експерименту з дворівневими факторами.

На вкладці *Модель* вибираємо опцію *Без взаємодій*, тобто модель не буде враховувати взаємодію факторів один з одним. Отримуємо модель виду:

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_4x_4 + a_5x_5,$$

де a_i ($i = 1, \dots, 5$) – коефіцієнти рівняння регресії;

x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 – це відповідно визначені раніше фактори

Переходимо на вкладку *План* і вмикаємо кнопку *Генератори дробового плану*. З'являється таблиця в якій вказаний генератор – спосіб добутку основних факторів 1, 2, 3 для отримання значень факторів 4, 5. Так фактор 4 отримується як добуток (взаємодія) факторів 1 і 2 (псевдонім 12), а фактор 5 створений як взаємодія факторів 1 і 3 (псевдонім 13).

Генератор дробового плану (План_2_19_12_2022)	
2**(5-2) план	
(Фактори похначені номерами)	
Фактор	Псевд.
4	12
5	13

Рисунок 3.12 – Генератор дробового плану (скрин екрану)

На цій же вкладці *План* вмикаємо кнопку *Кореляція факторів*. З'являється таблиця зі значеннями коефіцієнтів кореляції факторів і залежної змінної (рис.3.13).

Фактор	Кореляції факторів і змінних (План_2_19_12_2022)					
	(1) Технологічне зусилля, Н X_1	(2) Площа нижньої плити, мм ² X_2	(3) Товщина нижньої плити, мм X_3	(4) Площа матриці, мм ² X_4	(5) Товщина матриці, мм X_5	Переміщення напрямої колонки, мкм y_1
(1) Технологічне зусилля, Н X_1	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,76
(2) Площа нижньої плити, мм ² X_2	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	-0,34
(3) Товщина нижньої плити, мм X_3	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	-0,18
(4) Площа матриці, мм ² X_4	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	-0,48
(5) Товщина матриці, мм X_5	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	-0,18
Переміщення прямої колонки, мкм y_1	0,76	-0,34	-0,18	-0,48	-0,18	1,00

Рисунок 3.13 — Коефіцієнти кореляції факторів і залежної змінної
(скрин екрану)

На останньому стовпчику таблиці видно, що найбільша кореляція у залежної змінної *Переміщення прямої колонки* з фактором *Технологічне зусилля*, залежність помірна, але близька до сильної [4]. З факторами *Площа матриці*, *Площа нижньої плити* залежність помірна, а з факторами *Товщина матриці* та *Товщина нижньої плити* залежність слабка. З даних таблиці можна зробити висновок, що найбільш сильний вплив на *Переміщення прямої колонки* надає фактор *Технологічне зусилля*, далі – фактори *Площа матриці* і *Площа нижньої плити* майже з однаковою по силі дією. Фактори *Товщина матриці* та *Товщина нижньої плити* незначно впливають на переміщення прямої колонки. Знак (–) перед коефіцієнтами кореляції з факторами *Площа матриці* та *Площа нижньої плити* означає, що при переході у факторів від нижнього рівня до верхнього переміщення прямої колонки зменшується. Знак (+) перед коефіцієнтом кореляції фактору *Технологічне зусилля* означає, що при переході у фактору від нижнього до верхнього рівня переміщення прямої колонки збільшується. Отримані висновки збігаються з логікою поведінки штапового блока в умовах дії вертикальної складової технологічного зусилля.

З метою перевірки достовірності отриманих висновків скористаємося результатами дисперсійного аналізу. Для цього переходимо на вкладку *Дисперсійний аналіз/Ефекти*.

Отримуємо таблицю результатів дисперсійного аналізу, яка наведена на рисунку 3.14.

		Дисперсійний аналіз: Прм.: Переміщення напрямної колонки, мкм у; R-кв.=,99201;Скор.,97202 (План_2_19_12_2022) 2**(5-2) план; Остаточн.SS=3,625 3П Переміщення напрямної колонки, мкм у;			
Фактор		SS	df	MS	F
(1) Технологічне зусилля, Н/м	X ₁	528,1250	1	528,1250	145,6897
(2) Площа нижньої плити, мм²	X ₂	105,1250	1	105,1250	29,0000
(3) Товщина нижньої плити, мм	X ₃	28,1250	1	28,1250	7,7586
(4) Площа матриці, мм²	X ₄	210,1250	1	210,1250	57,9655
(5) Товщина матриці, мм	X ₅	28,1250	1	28,1250	7,7586
Сумарно		7,2500	2	3,6250	
Общая SS		906,8750	7		

Рисунок 3.14 – Таблиця результатів дисперсійного аналізу переміщення напрямної колонки: R-кв.=0,96267; (скрин екрану)

З таблиці видно, що найбільшу мінливість (близько 60%) залежної змінної *Переміщення напрямної колонки*, яка характеризується статистикою SS, пояснює фактор *Технологічне зусилля*, потім йдуть фактори *Площа матриці* і *Площа нижньої плити*, з мінливістю 23% і 11% відповідно. Мінливість, яка пояснюється фактори *Товщина матриці* та *Товщина нижньої плити* наближається до 3%. Якщо звернемо увагу на рівень значущості (p) Фішера (F) менше 0,05 для першого фактора *Технологічне зусилля*, то можна зробити висновок, що перший фактор абсолютно достовірно впливає на залежну змінну, другий та четвертий фактор майже достовірно, а фактори 3 та 5 менш достовірно. Як бачимо, дисперсійний аналіз підтвердив результати кореляційного аналізу.

Далі спробуємо з'ясувати, як фактори кількісно впливають на залежну змінну *Переміщення напрямної колонки*. Для цього активуємо опцію *Оцінка ефектів*. З'явиться таблиця наведена на рис. 3.15

Фактор	Оцінки ефектів, R-кв.=,99201;Скор.,97202 (План_2_19_12_2022) 2**(5-2) план; Остаточн.SS=3,625 ЗП Переміщення напрямної колонки, мкм у ₁									
	Ефект	Ст.Ош	t(21)	p	-95 %	+95 %	Коэф.	Ст.Ош	-95 %	+95 %
	Дов.Пред	Дов.Пред	Дов.Пред	Дов.Пред	Дов.Пред	Дов.Пред	Дов.Пред	Дов.Пред	Дов.Пред	Дов.Пред
Середнє значення	27,1250	0,673146	40,29589	0,000615	24,2297	30,02131	27,12509	0,673146	24,22969	30,02131
(1) Технологічне зусилля, Н.Х	16,2500	1,346291	12,07020	0,006704	10,4574	22,04262	8,12509	0,673146	5,22869	11,02131
X ₁ (2) Площа нижньої плити, мм²	-7,2500	1,346291	-5,38516	0,032796	-13,0426	-1,45738	-3,62509	0,673146	-6,52131	-0,72869
X ₂ (3) Товщина нижньої плити, мм	-3,7500	1,346291	-2,78543	0,108343	-9,5426	2,04262	-1,87509	0,673146	-4,77131	1,02131
X ₃ (4) Площа матриці, мм²	-10,2500	1,346291	-7,61361	0,016818	-16,0426	-4,45738	-5,12509	0,673146	-8,02131	-2,22869
X ₄ (5) Товщина матриці, мм	-3,7500	1,346291	-2,78543	0,108343	-9,5426	2,04262	-1,87509	0,673146	-4,77131	1,02131
X ₅										

Рисунок 3.15 – Таблиця оцінки ефектів (скрин екрану)

Числа, наведені у першому стовпчику таблиці є ефектами, які за виключенням *Середнього/вільного члена* є відхиленнями середнього залежної змінної від'ємних установок від середнього залежної змінної позитивних для кожного відповідного фактору. Це означає, що при фіксованих значеннях інших факторів змінивши, наприклад, фактор *Технологічне зусилля* з верхнього рівня на нижній отримаємо зменшення переміщення напрямної колонки на 16 мкм. Ефекти для факторів 1, 2, 4 статистично значимі, так як рівень значимості p критерія Стюдента менше ніж 0.05. В таблиці також наведені стандартні помилки ефектів (*Ст. Ош*), 95%-і довірчі інтервали для ефектів та коефіцієнти рівняння регресії (*Коэф.*) зі стандартними помилками (*Ст. Ош. Коэф.*).

Порівнюючи результати таблиць на рис. 3.14 та рис. 3.15 легко побачити, що ті ж самі 3 фактори, які були статистично значимі, показують найвищі оцінки ефектів. Таким чином можна зробити висновок, що значення цих трьох факторів достатньою мірою сильно впливають на переміщення напрямної колонки.

Більш повну інформацію про регресійні коефіцієнти можна отримати натиснувши на кнопку *Регресійні коефіцієнти*.

Модель зв'язку факторів і залежної змінної для нашого випадку буде мати вигляд

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_4x_4 + a_5x_5$$

де a_i ($i = 1, \dots, 5$) – коефіцієнти рівняння регресії;

x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 – це відповідно визначені раніше фактори

Таблиця регресійних коефіцієнтів наведена на рисунку 3.16

Регресія: R-кв.=,99201;Скор.,97202 (План_2_19_12_2022) 2**(5-2) план; Остаточн.SS=3,625 ЗП Переміщення напрямної колонки, мкм y_1						
Фактор	Регрес. Коеф.	Ст.Ош.	t(2)	p	-95,% Дов.Пред	+95,% Дов.Пред
Сред/Св.член	42,95307	5,797076	7,40944	0,017732	18,01026	67,89587
(1)Технологічне зусилля, Н X_1	0,00011	0,000009	12,07020	0,006794	0,00007	0,00015
(2)Площа нижньої плити, мм ² X_2	-0,00014	0,000026	-5,38516	0,032796	-0,00025	-0,00003
(3)Товщина нижньої плити, мм X_3	-0,20833	0,074794	-2,78543	0,108343	-0,53015	0,11348
(4)Площа матриці, мм ² X_4	-0,00111	0,000146	-7,61351	0,016818	-0,00174	-0,00048
(5)Товщина матриці, мм X_5	-0,18750	0,067315	-2,78543	0,108343	-0,47713	0,10213

Рисунок 3.16 — Таблиця регресійних коефіцієнтів до рівняння напрямної колонки блоку (скрин екрану)

З таблиці видно, що коефіцієнти або статистично значимі, або максимально наближені до цієї межі. В цілому побудована лінійна модель адекватно описує взаємозв'язок між факторами і залежною змінною, так як коефіцієнт детермінації R -кв, близький до одиниці ($\approx 0,99$).

Якщо підставити коефіцієнти в рівняння регресії, то отримаємо рівняння, по якому можна передбачити значення залежної змінної при заданих значеннях факторів:

$$y = 42,95 + 0,00011x_1 - 0,00014x_2 - 0,2083x_3 - 0,0011x_4 - 0,1875x_5$$

Отже, по даному регресійному рівнянню можна обчислювати значення переміщення напрямних колонок по різним, комбінаціям значень факторів, в тому числі і тих, що не входять у план експерименту.

При переході на вкладку *Залишки* і натиснувши на кнопку *Передбачені і залишки* отримаємо таблицю (рис.3.17) з вихідними значеннями залежної

змінної і порашованими програмою по рівнянню регресії для усіх експериментів з плану.

Наблюд. план	Спостережені, передбачені значення та залишки (План_2_19_12_2022) 2**{5-2} план; Остаточн. SS=3,625 ЗП Переміщення напрямної колонки, мм y_1		
	Наблюд.е	Предск.	Остатки
1	18,00000	17,50000	0,50000
2	49,00000	47,75000	1,25000
3	20,00000	20,50000	-0,50000
4	29,00000	30,25000	-1,25000
5	17,00000	17,50000	-0,50000
6	39,00000	40,25000	-1,25000
7	21,00000	20,50000	0,50000
8	24,00000	22,75000	1,25000

Рисунок 3.17 – Таблиця даних, що передбачені та спостерігаються по максимальному переміщенню напрямної колонки (скрин екрану)

З таблиці видно, що передбачувані програмою переміщення напрямної колонки майже співпадають з тими, що спостерігаються. Це є свідченням адекватності моделі.

Також об'єктивною характеристикою адекватності моделі є розподіл величин залишків, які обчислюються як різниця між передбачуваними або модельними (обчисленими на побудованій моделі) і значеннями, що спостерігаються. Для адекватної моделі залишки – це випадкові величини з нормальним розподілом і математичним очікуванням, яке дорівнює нулю (білий шум).

Перевіримо адекватність моделі по *Імовірносному графіку* (рис. 3.18) на якому значення залишків, що спостерігаються відмічаються на горизонтальній осі X, очікувані нормальні значення залишків для відповідних величин після їх впорядкування по зростанню відмічаються по вертикальній осі Y. Якщо всі значення (точки на площині) укладаються на пряму очікуваних нормальних значень залишків, то можна вважати що залишки відповідають нормальному розподілу.

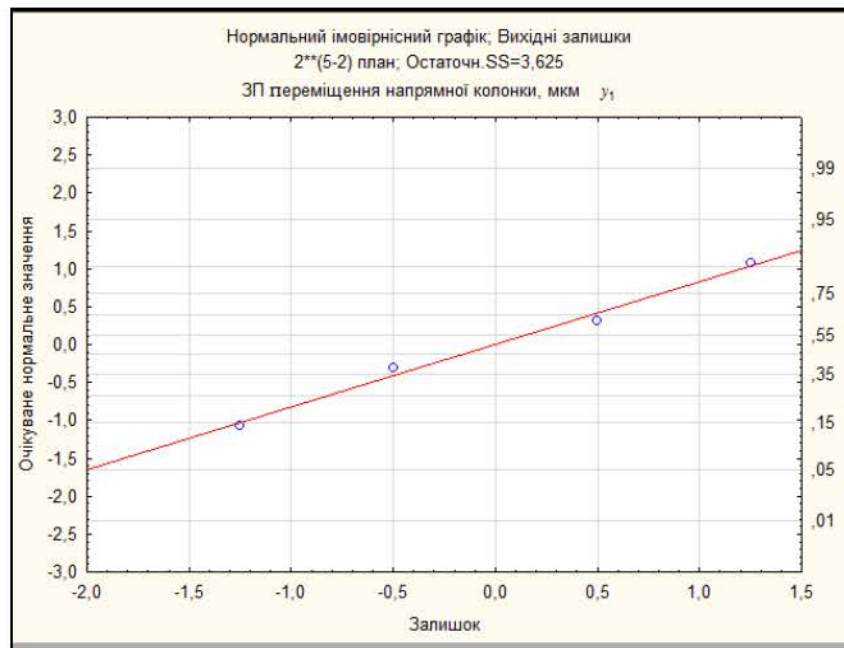


Рисунок 3.18 — Імовірнісний графік залишків (скрин екрану)

На завершення аналізу будуюмо діаграму Парето (рис. 3.19). На цій діаграмі оцінки ефектів дисперсійного аналізу впорядковані по абсолютній величині значень – від найбільших до найменших. Величина кожного ефекту представлена стовпчиком. По величині стовпчиків можна робити висновок про ступінь впливу факторів на залежну змінну.

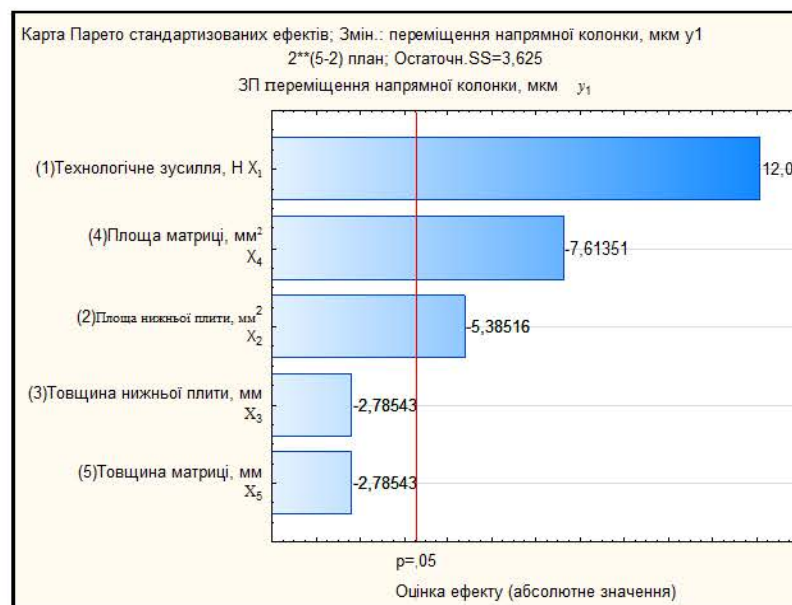


Рисунок 3.19 — Діаграма Парето (скрин екрану)

Так само проведемо аналіз іншої залежної змінної – максимальні напруження в нижній плиті за Мізесом, дані по якій також були внесені в план експерименту (див. рис. 3.2).

Пропускаємо опис попередніх підготовчих процедур і починаємо з вкладки *План/Кореляція факторів*. З'являється таблиця зі значеннями коефіцієнтів кореляції факторів і залежної змінної (рис.3.20).

Фактор	Кореляції факторів і змінних (План_2_19_12_2022) 2**(5-2) план					
	(1) Технологічне зусилля, Н X_1	(2) Площа нижньої плити, мм ² X_2	(3) Товщина нижньої плити, мм X_3	(4) Площа матриці, мм ² X_4	(5) Товщина матриці, мм X_5	Максимальні напруження в нижній плиті за Мізесом, МПа y_3
(1) Технологічне зусилля, Н X_1	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,59
X_2 (2) Площа нижньої плити, мм ²	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	-0,13
X_3 (3) Товщина нижньої плити, мм	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	-0,24
X_4 (4) Площа матриці, мм ²	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	-0,72
X_5 (5) Товщина матриці, мм	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,08
Максимальні напруження в нижній плиті за Мізесом, МПа y_3	0,59	-0,13	-0,24	-0,72	0,08	1,00

Рисунок 3.20 – Коефіцієнти кореляції факторів і залежної змінної
Максимальні напруження в нижній плиті за Мізесом (скрин екрану)

З останнього стовпчика таблиці видно, що найбільша кореляція у залежної змінної *Максимальні напруження в нижній плиті за Мізесом* з факторами *Площа матриці* та *Технологічне зусилля* залежність помірна [4]. З факторами *Площа нижньої плити*, *Товщина нижньої плити* та *Товщина матриці* залежність близька до слабкої. З даних таблиці можна зробити висновок, що найбільш сильний вплив на *Максимальні напруження в нижній плиті за Мізесом* надає фактор *Площа матриці*, далі – фактор *Технологічне зусилля* з трохи меншою по силі дією. Фактори *Площа нижньої плити*, *Товщина нижньої плити* та *Товщина матриці* незначно впливають на максимальне напруження. Знак (–) перед коефіцієнтами кореляції з факторами *Площа нижньої плити*, *Товщина нижньої плити* та *Площа матриці* означає, що при переході факторів від нижнього рівня до верхнього максимальне напруження зменшується. Знак (+) перед коефіцієнтом кореляції фактора

Технологічне зусилля означає, що при переході фактора від нижнього до верхнього рівня максимальні напруження за Мізесом збільшуються. Отримані висновки також збігаються з логікою поведінки штампового блока в умовах дії технологічного зусилля.

Переходимо до вкладки *Дисперсійний аналіз/Ефекти*. Розглянемо таблицю результатів, яка наведена на рисунку 3.21.

		Дисперсійний аналіз: Прим.:Максимальні напруження в нижній плиті за Мізесом, МПа y_3 ; R-кв.=,94539;Скор.,80887 (План_2_19_12_2022) 2**(5-2) план; Остаточн.SS=46,38125 ЗП Максимальні напруження в нижній плиті за Мізесом, МПа y_3				
Фактор	SS	сс	MS	F	p	
(1)Технологічне зусилля, Н X_1	596,851	1	596,8513	12,86837	0,069685	
X_2 (2)Площа нижньої плити, мм ²	30,811	1	30,8113	0,66430	0,500666	
X_3 (3)Товщина нижньої плити, мм	95,911	1	95,9113	2,06789	0,287017	
X_4 (4)Площа матриці, мм ²	871,531	1	871,5313	18,79059	0,049315	
X_5 (5)Товщина матриці, мм	10,811	1	10,8113	0,23310	0,676918	
Ошибка	92,762	2	46,3812			
Общая SS	1698,679	7				

Рисунок 3.21 — Таблиця результатів дисперсійного аналізу *Максимальні напруження в нижній плиті за Мізесом* (скрин екрану)

З таблиці випливає, що найбільшу мінливість (близько 51%) залежної змінної *Максимальні напруження в нижній плиті за Мізесом*, яка характеризується статистикою SS, пояснює фактор *Площа матриці*, потім йдуть фактори *Технологічне зусилля*, приблизно 35% мінливості та *Товщина нижньої плити* близько 6%, Якщо звернемо увагу на рівень значущості (p) Фішера (F) менше 0,05 для четвертого фактору *Площа матриці* то можна зробити висновок, що четвертий фактор абсолютно достовірно впливає на залежну змінну. Інші фактори впливають з низьким ступенем достовірності. Як бачимо, дисперсійний аналіз підтвердив результати кореляційного аналізу.

Скористаємося опцією *Оцінка ефектів* для визначення кількісного впливу факторів на *Максимальні напруження в нижній плиті за Мізесом*. Отримаємо нову таблицю, наведену на рисунку 3.22.

		Оцінки ефектів; R-кв.=,94539;Скор.,80887 (План_2_19_12_2022) 2**(5-2) план; Остаточн.SS=46,38125 ЗП Максимальні напруження в нижній плиті за Мізесом, МПа u_3								
Фактор	Ефект	Ст.Ош.	t(2)	p	-95, % Дов.Пред	+95, % Дов.Пред	Коеф.	Ст.Ош. Коеф.	-95, % Дов.Пред	+95, % Дов.Пред
Сред/Св.член	48,7625	2,407832	20,25162	0,002429	38,4024	59,12257	48,7625	2,407832	38,4024	59,12257
(1)Технологічне зусилля, Н X_1	17,2750	4,815665	3,58725	0,069685	-3,4451	37,99513	8,6375	2,407832	-1,7226	18,99757
X_2 (2)Площа нижньої плити, мм ²	-3,9250	4,815665	-0,81505	0,500666	-24,6451	16,79513	-1,9625	2,407832	-12,3226	8,39757
X_3 (3)Товщина нижньої плити, мм	-6,9250	4,815665	-1,43802	0,287017	-27,6451	13,79513	-3,4625	2,407832	-13,8226	6,89757
X_4 (4)Площа матриці, мм ²	-20,8750	4,815665	-4,33481	0,049315	-41,5951	-0,15487	-10,4375	2,407832	-20,7976	-0,07743
X_5 (5)Товщина матриці, мм	2,3250	4,815665	0,48280	0,676918	-18,3951	23,04513	1,1625	2,407832	-9,1976	11,52257

Рисунок 3.22 – Таблиця оцінки ефектів *Максимальні напруження в нижній плиті за Мізесом* (скрин екрану)

Числа наведені у першому стовпці таблиці є ефектами, які за виключенням *Середнього вільного члена* є відхиленнями середнього залежної змінної відемних установок від середнього залежної змінної позитивних для кожного відповідного фактору. Це означає, що якщо при фіксованих значеннях інших факторів, змінимо значення фактору *Площа матриці* з (–) на (+) то можна очікувати зменшення залежної змінної *Максимальні напруження в нижній плиті за Мізесом* на 21 мкм. Ефекти для четвертого фактору статистично значущі, оскільки p критерій Стьюдента менше ніж 0,05, а для фактору 1 дуже близький до нього.

Порівнюючи результати таблиць на рис. 3.21 і 3.22 видно, що ті ж самі фактори які були статистично значущі, або майже статистично значущі показують найвищі оцінки ефектів. Значення цих факторів достатньою мірою впливають на *Максимальні напруження в нижній плиті за Мізесом*.

Активуємо опцію *Регресійні коефіцієнти* (рис.3.23).

Модель зв'язку факторів і залежної змінної буде мати такий самий вигляд, як і для переміщення напрямної колонки (див. формулу 3.1)

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_4x_4 + a_5x_5$$

де a_i ($i = 1, \dots, 5$) – коефіцієнти рівняння регресії;

x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 – це відповідно визначені раніше фактори

		Регресія: R-кв = 94539; Скор. 80887 (План_2_19_12_2022) 2**(5-2) план; Остаточн. SS=46.38125 ЗП Максимальні напруження в нижній плиті за Мізесом, МПа				
Фактор	Регрес. Коэф.	Ст. Ош	t(2)	p	-95 % Дов. Пред.	+95 % Дов. Пред.
Сред. Св. член	68.88475	20.73606	3.32198	0.079906	-20.3353	158.1048
(1) Технічне тиснення Н Х ₁	0.00012	0.00002	3.58725	0.069685	-0.0000	0.0003
(2) Площа нижньої плити, мм ² Х ₂	-0.00008	0.00009	-0.81505	0.500666	-0.0005	0.0003
(3) Товщина нижньої плити, мм Х ₃	-0.38472	0.26754	-1.43802	0.287017	-1.5358	0.7664
(4) Площа матриці, мм ² Х ₄	-0.00226	0.00052	-4.33431	0.049315	-0.0045	-0.0000
(5) Товщина матриці, мм Х ₅	0.11625	0.24078	0.48280	0.676918	-0.9198	1.1523

Рисунок 3.23 – Таблиця регресійних коефіцієнтів до рівняння
Максимальні напруження в нижній плиті за Мізесом; (скрин екрану)

З таблиці видно, що коефіцієнти для першого та четвертого факторів або статистично значимі, або максимально наближені до цієї межі. В цілому побудована лінійна модель адекватно описує взаємозв'язок між факторами і залежною змінною, так як коефіцієнт детермінації *R-кв*, близький до одиниці ($\approx 0,945$).

Якщо підставити коефіцієнти в рівняння регресії, то отримаємо рівняння, по якому можна передбачити значення залежної змінної при заданих значеннях факторів. Оскільки вплив фактора *Товщина матриці* на залежну змінну мінімальний, то його можна виключити з рівняння регресії. Тоді рівняння прийме наступний вигляд:

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_4x_4$$

де a_i ($i = 1, \dots, 4$) – коефіцієнти рівняння регресії;

x_1, x_2, x_3, x_4 – це відповідно визначені раніше фактори

Рівняння з коефіцієнтами прийме наступний вигляд:

$$y = 68,88 + 0,00012x_1 - 0,0008x_2 - 0,3847x_3 - 0,0027x_4$$

Для перевірки підставимо значення факторів для другої строчки плану:

$$y = 68,8847 + 0,00012(1) - 0,0008(-1) - 0,3847(-1) - 0,0027(-1) = 69,2683 \text{ МПа}$$

Результати перевірки збіглися.

Отже, по даному регресійному рівнянню можна обчислювати значення *Максимальні напруження в нижній плиті за Мізесом* по будь-яким комбінаціям значень факторів, в тому числі і тих, що не входять у план експерименту.

Якщо перейти на вкладку *Залишки* і натиснути на кнопку *Передбачені і залишки* то з'явиться таблиця (рис.3.24) з вихідними значеннями залежної змінної і порахованими програмою по рівнянню регресії для усіх експериментів з плану.

	Спостережені, передбачені значення та залишки (План_2_19_12_2022) 2**(5-2) план; Остаточн.SS=46,38125 ЗП Максимальні напруження в нижній плиті за Мізесом, МПа y_3			
Наблюд. план	Наблюдае	Предск.	Остатки	
1	32,10000	36,27500	-4,17500	
2	69,70000	72,10000	-2,40000	
3	57,40000	53,22500	4,17500	
4	49,70000	47,30000	2,40000	
5	31,20000	27,02500	4,17500	
6	69,90000	67,50000	2,40000	
7	39,80000	43,97500	-4,17500	
8	40,30000	42,70000	-2,40000	

Рисунок 3.24 – Таблиця даних, що передбачені та спостерігаються по *Максимальні напруження в нижній плиті за Мізесом* (скрин екрану)

З таблиці видно, що передбачувані програмою значення достатньо близьки до тих, що спостерігаються, що є свідченням адекватності моделі.

Більш об'єктивною характеристикою адекватності моделі є розподіл величин залишків, які обчислюються як різниця між передбачуваними або модельними (обчисленими на побудованій моделі) і значеннями, що спостерігаються.

Перевіримо адекватність моделі по *Імовірнісному графіку* (рис. 3.25), на якому значення залишків, що спостерігаються відмічаються на горизонтальній осі X; очікувані нормальні значення залишків для відповідних величин після їх впорядкування по зростанню відмічаються по вертикальній осі Y. Якщо всі значення (точки на площині) укладаються на пряму очікуваних нормальних

значень залишків, то можна вважати що залишки відповідають нормальному розподілу.

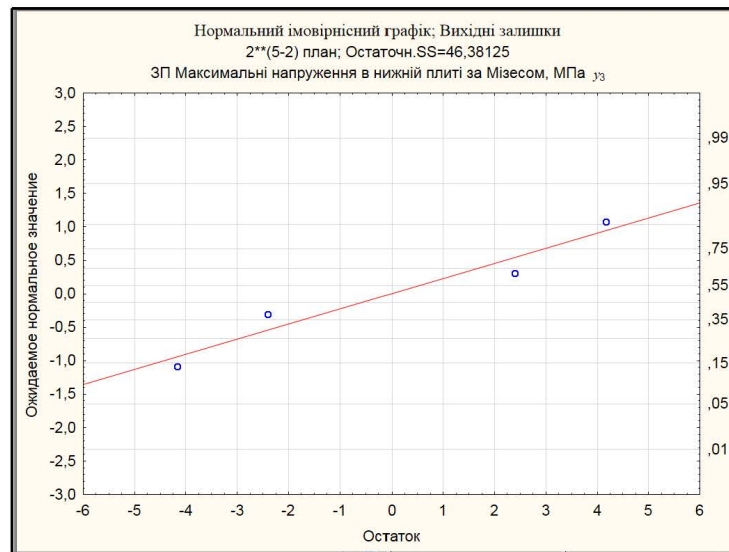


Рисунок 3.25 — Імовірнісний графік залишків (скрин екрану)

Будуємо діаграму Парето (рис. 3.26). На цій діаграмі оцінки ефектів дисперсійного аналізу впорядковані по абсолютній величині значень – від найбільших до найменших. Величина кожного ефекту представлена стовпчиком. По величині стовпчиків можна робити висновки про ступінь впливу факторів на залежну змінну.



Рисунок 3.26 — Діаграма Парето (скрин екрану)

Для незалежної змінної *Прогин нижньої плити* адекватність моделі в даних умовах проведення експерименту не підтвердилась, тому результати аналізу не наводяться.

За результатами проведеного статистичного аналізу можна зробити наступні висновки:

– величина технологічного зусилля суттєво (близько 60%) впливає на переміщення напрямних колонок, закріплених на нижній плиті штампового блока. Збільшення зусилля приводить до пропорційного збільшення переміщень. Другий суттєвий фактор, який впливає на переміщення напрямної колонки, є площа матриці (близько 23%). При збільшенні площі матриці переміщення напрямних колонок зменшується. Третій по ступені впливу фактор (площа нижньої плити, близько 11%) також приводить до зміни поведінки напрямних колонок при навантаженні технологічним зусиллям. Збільшення площі нижньої плити приводить до зменшення переміщення напрямних колонок. Дещо неочікуваним виявився результат по малому впливу товщин нижньої плити та матриці на процес переміщення напрямних колонок (в межах 3%). Хоча тенденції впливу зрозумілі. Збільшення товщин плит як матриці, так і нижньої плити приводить до зменшення переміщення напрямних колонок.

– на максимальні напруження в нижній плиті за Мізесом найбільший ефект створює фактор *Площа матриці (близько 51%)*. При збільшенні площі матриці максимальні напруження в нижній плиті за Мізесом зменшуються. Фактор технологічного зусилля дещо менше (35%) впливає на напруження в нижній плиті і при його збільшенні також максимальні напруження зменшуються. Вплив інших факторів (*товщина нижньої плити (6%), площа нижньої плити (близько 2%), товщина матриці (близько 1%),*) значно слабший. Потрібно також звернути увагу на те, що не зважаючи на значне технологічне навантаження (75% номінального зусилля пресу) максимальні напруження в нижній плиті, в умовах проведення дослідження, не перевищували відмітку у 70МПа. Тобто при самих гірших умовах

навантаження нижня плита блока, яка виготовлена з литої вуглецевої сталі (межа текучості 350 МПа), має майже п'ятиразовий запас міцності, що вказує на значні резерви по зменшенню металомісткості при конструюванні штампового оснащення;

– для незалежної змінної *Прогин нижньої плити* адекватність моделі, в даних умовах проведення експерименту, не підтвердилась, хоча тенденції по результатах аналізу проглядаються. Домінуючим є фактор величини технологічного зусилля (близько 75%). Одною з причин, на нашу думку, чому обрані фактори не показали достовірний вплив на прогин нижньої плити, можуть бути умови закріплення нижньої плити блоку до підштампової плити пресу. При моделюванні використовувались жорсткі з'єднувачі (аналоги стандартних кріпильних елементів) з попереднім навантаженням, вплив яких у даному дослідженні не перевірявся. Тобто це питання потрібно буде врахувати у подальших дослідженнях в цьому напрямку.

3.5. Рекомендації по проектуванню розділового штампового оснащення

З метою зменшення переміщення напрямних колонок, закріплених на нижній плиті штампового блоку рекомендується наступне:

1. Якщо дозволяє закрита висота штампа та величина технологічного зусилля рекомендується вибирати прес з меншими габаритами стола і підштампової плити, оскільки вони будуть мати менші по габаритам провуальні отвори. Чим більше буде відношення площі нижньої плити і матриці до площі отвору в столі і підштамповій плиті, тим менше буде виявлятися ефект «сходження-розходження» напрямних колонок.

2. У більших по площі нижніх плит штампових блоків є більша можливість економії матеріалу за рахунок зменшення їх товщини (до 20%).

3. При малих розмірах штампових блоків і матриць збільшення їх жорсткості за рахунок товщини малоефективно.

4. Встановлення розділових штампів на механічні компенсатори похибок системи «прес-штамп» суттєво зменшує деформації нижніх плит штампових блоків з великим відношенням їх площ отворів під ними. Це пов'язано з різним напружено-деформованим станом верхньої плити компенсатора та підштампової плити.

Розділ 4

ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Розрахунок витрат на виконання НДР

Витрати на виконання НДР щодо дослідження зменшення металомісткості штампового оснащення при використанні компенсатора похибок системи "прес-штамп" розраховуються шляхом складання калькуляції кошторисної вартості НДР за наступними статтями [32]:

1. витрати на оплату праці;
2. відрахування на соціальні заходи;
3. матеріали;
4. витрати на використання комп'ютерної техніки;
5. витрати на використання спецобладнання для наукових (експериментальних) робіт;
6. накладні витрати;
7. інші витрати.

4.1.1 Розрахунок витрат на оплату праці

Вихідні дані наводяться у таблиці 4.1., розрахунок витрат у таблиці 4.2.

Таблиця 4.1 – Вихідні дані для розрахунку витрат на оплату праці

№ п/п	Посада виконавців	Місячний оклад, грн.	Середньоденна ставка, грн/дн
1	Керівник МКР, провідний науковий співробітник	9894	412,25
2	Старший науковий співробітник, 0,5 ставки	8679	361,62
3	Молодший науковий співробітник 0,5 ставки	7001	291,70
4	Технік I кат. 0,5 ставки	5005	208,54

Таблиця 4.2 – Розрахунок витрат на оплату праці

№ п/п	Посада виконавців	Час розробки, дні	Денна заробітна плата, грн	Витрати на розробку, грн
1	Керівник МКР, старший науковий співробітник	120	412,25	4947,00
2	Науковий співробітник, 0,5 ставки	120	180,81	21697,20
3	Фахівець, I кат. 0,5 ставки	120	145,85	17502,00
4	Технік I кат. 0,5 ставки	120	208,54	25024,80
Разом				69171,00

4.1.2 Відрахування у єдиний соціальний внесок

Відрахування у спеціальні державні фонди складають 22 % від суми заробітної плати.

$$\Phi_{\text{д}} = 69171 \times 0,22 = 15217,62 \text{ грн}$$

4.1.3 Розрахунок витрат на матеріали

У таблиці 4.3 наведено перелік куплених матеріалів і розраховані витрати на них.

Таблиця 4.3 – Розрахунок витрат на матеріали

№ п/п	Найменування купованих виробів	Одиниця виміру	Ціна на одиницю виміру, грн	Кількість купованих виробів	Сума, грн	Транспортні витрати (10% від суми)	Загальна сума, грн
1	Папір (формат А4)	уп	177	5	885,00	88,5	973,5
2	Ручка кулькова	шт	2,50	10	25,00	2,5	27,5
3	Олівець простий	шт	6	10	60,00	6,0	66,00
4	Флеш-пам'ять	шт	139	4	556,00	55,6	611,6
5	Зошит, 120 арк	шт	94	4	376,00	37,6	413,6
6	Тонер для принтера	уп	448	1	448,00	44,8	492,8
7	Штангенциркуль	шт	439	1	439,00	43,9	482,9
8	Магніт	шт	80	5	400	40	440
9	Ніж	шт	99	5	495	49,5	544,5
Разом							4052,4

4.1.4 Витрати на використання комп'ютерної техніки

Витрати складаються з наступних компонентів:

- амортизації комп'ютерної техніки;
- користування програмним забезпеченням;
- витрати на електроенергію.

Приймаємо середню вартість години роботи комп'ютера – 12 грн. Згідно діючих норм з охорони праці, середній щоденний час роботи на комп'ютері – 4 години. Розраховані дані зводимо у таблицю 4.4.

4.1.5 Витрати за статтею “Спецобладнання”

В даній НДР спецобладнання не використовувалось.

4.1.6 Накладні витрати

Накладні витрати проектних організацій включають три групи видатків: витрати на управління, загальногосподарські витрати, невиробничі витрати. Приймаємо 15% від заробітної плати.

$$69171,00 \times 0,15 = 10375,65 \text{ грн}$$

Таблиця 4.4 – Розрахунок витрат на використання комп'ютерної техніки

№ п/п	Назва етапів робіт, при виконанні яких використовується комп'ютер	Час використання комп'ютера		Витрати на використання комп'ютера, грн.
		днів	годин	
1	Проведення досліджень та оформлення їх результатів	90	360	4320
2	Розробка проекту	20	80	960
3	Оформлення технічної документації	5	20	240
4	Підготовка презентації	5	20	240
Разом		120	480	5760

4.1.7 Інші витрати

Приймаємо в розмірі 6000 грн.

4.1.8 Кошторис витрат на виконання НДР

Складається калькуляція планової собівартості НДР і зводиться в таблицю 4.5.

Таблиця 4.5. – Кошторис витрат на виконання НДР

№ п/п	Найменування елементів витрат	Сума витрат, грн
1	Витрати на оплату праці	69171,00
2	Відрахування у спеціальні державні фонди	15217,62
3	Витрати на куповані вироби	4052,4
4	Витрати на використання комп'ютерної техніки	5760
5	Накладні витрати	10375,65
6	Інші витрати	6000
Разом		110576,67

4.2 Розрахунок договірної ціни та прибутку НДР

Договірна ціна НДР попередньо розраховується за формулою:

$$\Pi = C \cdot (1 + p), \text{ грн.}, \quad (4.1)$$

де Π – договірна ціна, грн.;

C – собівартість проведення НДР, грн.;

p – рівень рентабельності витрат у виконавця НДР.

Очікуваний прибуток від реалізації НДР складає:

$$\Pi = \Pi - C \text{ грн.}, \quad (4.2)$$

де Π – очікуваний прибуток від виконання НДР.

Для даної НДР ціна визначена як: 110576,67 грн. (закладено 20 % рентабельності)

$$\Pi = 110576,67 \times (1 + 0,2) = 132692,01 \text{ грн}$$

$$110576,67 \times 1,2 = 22115,33 \text{ грн}$$

$$\text{Тоді прибуток буде рівним: } \Pi = \Pi - C = 119158,80 - 91660,61 = 27498,18 \text{ грн.}$$

$$\Pi = \Pi - C = 132692,01 - 110576,67 = 22115,33 \text{ грн.}$$

Висновки

У цьому розділі проведено розрахунки собівартості НДР та планового прибутку від її реалізації.

Дослідження, які проведені у роботі, спрямовані на зменшення металомісткості нижніх плит штампових блоків. У разі успіху у проведенні досліджень їх результати дадуть змогу розробити ефективні заходи по зменшенню металомісткості стандартних штампових блоків без втрати якості деталей, що будуть штампуватися з їх використанням.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Основні результати магістерської роботи полягають у наступному:

1. В сучасних умовах глобального розвитку промислового виробництва в світі питання якості виробів, з одночасним зниженням собівартості технологій їх виробництва, стає все більш пріоритетним. Особливо це важливо в умовах крупносерійного та масового виробництв, які ще існують в електротехнічній та оборонній галузях, виробництві побутової техніки. При виготовленні великої кількості однотипних деталей в промисловості широко застосовуються штампувальні технології з листового матеріалу. Серед них найбільшу частку складають розділові операції (50...60%), які найбільш чутливі до умов, в яких вони виконуються. Інструментом для виконання розділових операцій є різного роду штампи (простої, послідовної та суміщенної дії). Особливістю роботи розділових штамів є те, що якість штампованих деталей більшою мірою залежить від величини технологічного зазору між робочими деталями штампу (близько 10% від товщини матеріалу). Під час роботи штампа на нього діють багато як зовнішніх так і внутрішніх факторів, які приводять до виникнення нерівномірності заданого оптимального зазору, що відображається на стійкості робочих деталей штампу та якості штампованих виробів. Найбільш актуально це для деталей з тонколистового матеріалу, де зазори можуть бути в межах 5...10 мкм на сторону. Загальна кількість суттєвих факторів, яка впливає на роботу штампового оснащення, може бути близько 60. В роботі [1] була розроблена діаграма за методом Ісікави, де систематизований вплив майже усього спектру діючих факторів на показники якості. Як видно з цієї діаграми, найбільш суттєвими є група факторів, які відносяться до пресового обладнання та оснащення, тобто розглядається система «прес-шамп». В цій системі на гілці «шамп» і знаходиться фактор, який привернув нашу увагу як предмет дослідження – деформація нижньої плити штампового блоку. Нижня плита штампового блоку під час експлуатації штампа знаходиться в складних умовах

контактної взаємодії з пресом. Спираючись на підштампову плиту з провальним отвором, який може складати до 35% від площі опорної поверхні, нижня плита блоку під дією технологічного зусилля деформується, викликаючи, так зване, явище “сходження” або “розходження” напрямних колонок. Окрім того, що такий процес приводить до підвищення зносу пари “напрямна колонка – втулка”, порушується ще й рівномірність технологічного зазору з небажаними наслідками для показників якості штампованих деталей. На цей процес накладається також деформація підштампової плити, яка опирається на стіл преса з великим фігурним провальним отвором, площа якого складає до 30% від опорної площі плити. В зв’язку з цим виникає багато остаточно невирішених до цього часу питань, пов’язаних з вибором оптимальних розмірів штампових блоків з точки зору їх металомісткості та впливу окремих елементів на показники якості технологічного процесу штампування. Тому робота, яка направлена на вирішення вище означених питань є актуальним науково-практичним завданням.

2. Проаналізовані існуючі методи аналітичних розрахунків елементів штампових блоків та рекомендації по їх вибору. Встановлено, що існуючі методики розрахунку нижніх плит блоків потребують подальшого вдосконалення. На підставі викладеного вище, головним напрямком дослідження є моделювання впливу геометричних параметрів елементів штампових блоків та умов їх кріплення на напружено-деформований стан під дією технологічного зусилля.

3. Проаналізовано вплив похибок системи “прес-штамп” на елементи штампових блоків і визначено ті, які є суттєвими. До найбільш суттєвих відносяться похибки пов’язані з пресовим обладнанням та особливостями конструкції штампового оснащення.

4. Проаналізовано способи та пристрої компенсації похибок системи «прес-штамп». Встановлено, що резерви засобів компенсації ще не вичерпані і роботи по їх вдосконаленню бажано продовжити.

5. Розроблена методика багатофакторного експериментального дослідження напружено-деформованого стану нижніх плит штампових блоків під дією вертикальної складової технологічного зусилля;

6. Проведено комп'ютерне моделювання впливу геометричних та силових параметрів на напружено-деформований стан елементів штампного блоку. Встановлено, що величина технологічного зусилля суттєво (близько 60%) впливає на переміщення напрямних колонок, закріплених на нижній плиті штампного блоку. Збільшення зусилля приводить до пропорційного збільшення переміщень. Другий суттєвий фактор, який впливає на переміщення напрямної колонки, є площа матриці (близько 23%). При збільшенні площі матриці переміщення напрямних колонок зменшується. Третій по ступені впливу фактор (площа нижньої плити, близько 11%) також приводить до зміни поведінки напрямних колонок при навантаженні технологічним зусиллям. Збільшення площі нижньої плити приводить до зменшення переміщення напрямних колонок. Дещо неочікуваним виявився результат по малому впливу товщин нижньої плити та матриці на процес переміщення напрямних колонок (в межах 3%). Хоча тенденції впливу зрозумілі. Збільшення товщин плит як матриці, так і нижньої плити приводить до зменшення переміщення напрямних колонок.

Дещо інша ситуація відбувається з напруженнями в нижній плиті. На максимальні напруження в нижній плиті за Мізесом найбільший ефект створює фактор *Площа матриці (близько 51%)*. При збільшенні площі матриці максимальні напруження в нижній плиті за Мізесом зменшуються. Фактор технологічного зусилля дещо менше (35%) впливає на напруження в нижній плиті і при його збільшенні максимальні напруження також збільшуються. Вплив інших факторів (*товщина нижньої плити (6%), площа нижньої плити (близько 2%), товщина матриці (близько 1%),*) значно слабший. Потрібно також звернути увагу на те, що не зважаючи на значне технологічне навантаження (75% номінального зусилля пресу) максимальні напруження в нижній плиті, в умовах проведення дослідження, не перевищували відмітку у

70МПа. Тобто при самих гірших умовах навантаження нижня плита блока, яка виготовлена з литої вуглецевої сталі (межа текучості 350 МПа), має майже п'ятиразовий запас міцності, що вказує на значні резерви по зменшенню металомісткості при конструюванні штампового оснащення.

Для залежної змінної *Прогин нижньої плити* адекватність моделі, в даних умовах проведення експерименту, не підтвердилась, хоча тенденції по результатах аналізу проглядаються. Домінуючим є фактор величини технологічного зусилля (близько 75%). Одною з причин, на нашу думку, чому обрані фактори не показали достовірний вплив на прогин нижньої плити, можуть бути умови закріплення нижньої плити блоку до підштампової плити пресу. При моделюванні використовувались жорсткі з'єднувачі (аналоги стандартних кріпильних елементів) з попереднім навантаженням, вплив яких у даному дослідженні не перевірявся. Тобто це питання потрібно буде врахувати у подальших дослідженнях в цьому напрямку.

7. Розроблені рекомендації по врахуванню геометричних параметрів елементів штампових блоків та способів їх кріплення в системі «прес-штамп» при проектуванні штампового оснащення для тонколистового матеріалу.

8. Попередні результати дослідження доповідалися на науково-технічній конференції здобувачів ЦНТУ у 2022 році. За результатами дослідження опубліковані тези доповіді на університетській конференції: О. Пух, В. Мірзак. Деформаційний стан нижніх плит штампових блоків під технологічним навантаженням. *Наука – виробництву, 2022* : Збірник тез доповідей здобувачів вищої освіти LVI науково-технічної конференції, LIII науково-технічної конференції викладачів, аспірантів та співробітників «Наука в ЦНТУ: основні досягнення та перспективи розвитку» за підсумками проведення «Дня науки – 2022» 12 травня 2022 року. Кропивницький: ЦНТУ, 2022. С. 44 – 46.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Підвищення якості тонколистового розділового штампування механічним компенсатором похибок системи "прес-штамп": автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.03.05 / Мірзак Володимир Якович ; Кременчуц. нац. ун-т ім. Михайла Остроградського. - Кременчук, 2017. - 24 с. : рис., табл. - Бібліогр.: с. 17-21.
2. Романовский В. П. Справочник по холодной штамповке / Романовский В. П. – [6-е изд.]. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отделение, 1979. – 530 с.
3. Зубцов М. Е. Листовая штамповка [Текст]: учеб. / М. Е. Зубцов. – 3-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение, 1980. – 432 с.
4. Справочник конструктора штампов. Листовая штамповка / под общ. ред. Л. И. Рудмана. – М. : Машиностроение, 1988. – 496 с.
5. Титаренко, Н. И. Точность системы пресс-штамповый блок / Н. И. Титаренко. – Киев : Наукова думка, 1980. – 135 с.
6. 6. ГОСТ 15475-89. Прессы однокривошипные простого действия закрытые. Нормы точности: – Введ. 1990-07-01. – М. : Изд, стандартов 1996. – 14 с.
7. Касымкулов С. К. Деформируемость станин открытых прессов, разработка методики расчета и оптимизация конструкции [Текст]: автореф. дис. на соиск. уч. степени канд. техн. наук: спец. 05.03.05 «Процессы и машины обработки давлением» / С. К. Касымкулов. – Москва, 1984. – 20 с.
8. ГОСТ 13124-83. Штампы для листовой штамповки. Блоки штампов с диагональным расположением направляющих узлов скольжения. Конструкция и размеры: Введ. 1984-07-01. – М. : Изд, стандартов 1986. – 14 с.
9. ГОСТ 13125-83. Штампы для листовой штамповки. Блоки штампов с задним расположением направляющих узлов скольжения. Конструкция и размеры: Введ. 1984-07-01. – М. : Изд, стандартов 1986. – 18 с.

10. ГОСТ 13126-83. Штампы для листовой штамповки. Блоки штампов с осевым расположением направляющих узлов скольжения. Конструкция и размеры: Введ. 1984-07-01. – М. : Изд, стандартов 1986. – 32 с.

11. ГОСТ 21173-83. Штампы для листовой штамповки. Блоки штампов с четырьмя направляющими узлами скольжения. Конструкция и размеры: Введ. 1984-07-01. – М. : Изд, стандартов 1986. – 21 с.

12. ГОСТ 13130-83. Штампы для листовой штамповки. Блоки. Технические условия: Введ. 1984-07-01. – М. : Изд, стандартов 1986. – 5 с.

13. Методичні вказівки до практичних занять з курсу «Проектування та розрахунків штампового оснащення для холодного штампування» для студентів спеціальності 131 Прикладна механіка, спеціалізації «Обладнання та технології пластичного формування конструкцій машинобудування» всіх форм навчання Частина II /Укл. В.І. Дубина, В.В. Широкобоков. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2020. – 24 с.

14. Методичні вказівки до практичних занять студентів кредитного модуля «Технологія холодного штампування та конструювання штамів 2» підготовки бакалавра спеціальності 131 Прикладна механіка спеціалізацій Системи комп'ютерних технологій машинобудування пластичним формоутворенням, Технології композиційних та наноструктурних конструкцій, Технології озброєння та засобів безпеки / Уклад.: Орлюк М.В., Вишневський П.С. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – 43 с.

15. Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни «Конструювання та виготовлення штамів». Частина 1 «Холодне штампування» для студентів спеціальності 131 – Прикладна механіка, спеціалізації «Обладнання та технології пластичного формування конструкцій машинобудування» всіх форм навчання. /Укл.: Матюхін А.Ю. - Запоріжжя: ЗНТУ, 2018. - 58 с.

16. Шумакова Л.С. Проектирование заготовительно-штамповочной оснастки: учеб. пособие / Л.С. Шумакова, Ю.С. Андреевская - М.: МАТИ, 2008. – 80с.

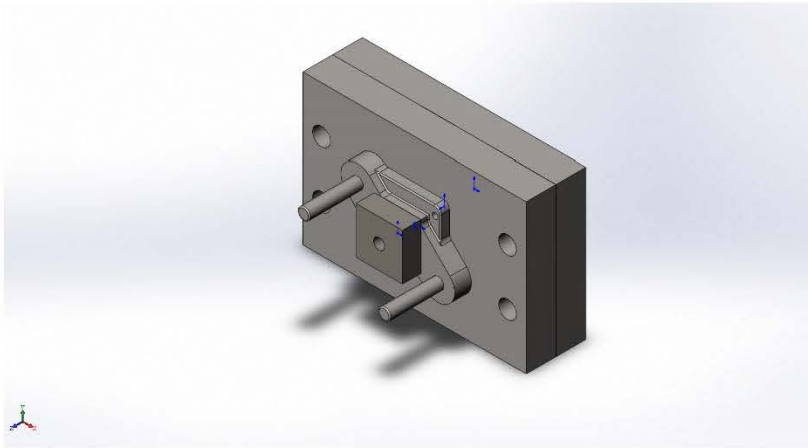
17. Жолткевич Н.Д. Обратимая технологическая оснастка для ГПС / Н.Д. Жолткевич, А.Я. Мовшович, В.П. Горбулин. – Киев; Техника, 1992. – 216 стр.
18. Михаленко Ф. П. Стойкость разделительных штампов / Ф. П. Михаленко. – М.: Машиностроение, 1976. – 207 с.
19. Зубцов М. Е. Стойкость штампов / М. Е. Зубцов, В.Д. Корсаков. – Л., Машиностроение, 1971. – 200 с.
20. Вайнтрауб Д. А. О влиянии зазора на стойкость разделительных штампов / Д. А. Вайнтрауб // Кузнечно-штамповочное производство, 1968, № 6. – С. 22 – 23.
21. Tomselt W. Now to ineredse press and press to liefе factorg and Plaut, 1963, 51, N5, 307-312.
22. Ланской Е.Н. Выбор рациональных размеров сечения станины прессов открытого типа / Е. Н. Ланской: сб. трудов "Исследования в области штамповочного производства", N5, СТАНКИН, 1960. – С. 10–15.
23. Шенкар В. С. Исследование точности линейных размеров пластин при листовой штамповке / В. С. Шенкар, Ф. М. Шустичкий // Кузнечно-штамповочное производство. – 1975. – № 9. – С. 24-27.
24. Гусихин Г. П. О влиянии зазора и геометрии инструмента на точность и усилия при вырубке / Г. П., Гусихин, А. П. Лисин // Прогрессивные методы современной штамповки. – Кишинев: 1973. – С. 23-26.
25. Хвостовики плавающие для штампов листовой штамповки. Конструкция и размеры: ГОСТ 16719-71. – Введ. 1972-01-01. – М. : Стандартиформ, 2006. – 10 с.
26. А. с. 1119752 А СССР, М. Кл. В 21 D 28/14. Устройство для соединения штампа с ползуном прессы / В. Д. Амелин и Л. В. Гуцевич (СССР). - № 3496844/25-27; заявл. 06.10.82; опубл. 23.10.84, Бюл. № 39.
27. Диамантопуло, К. К. Компенсация несоосности системы «пресс-штамп» изношенного штамповочного оборудования / К. К. Диамантопуло, В. В. Кухарь, А. И. Евтеев // Металлургические процессы и оборудование. – 2005. – № 2. – С. 31–34.

28. Мірзак В. Я. Компенсатори похибок пресів: [монографія] / В. Я. Мірзак, В. М. Боков. – Кропивницький: ПП «Ексклюзив-Систем», 2017. – 148 с. ISBN 978-617-7079-52-0.
29. Зинкевич О., Морган К. Конечные элементы и аппроксимация / Зинкевич О. – М.: Мир, 1986. – 318 с.
30. Алямовский А. А. SolidWorks/COSMOSWorks. Инженерный анализ методом конечных элементов / Алямовский А. А. – М.: ДМК Пресс, 2004. – 432 с., ил.
31. Халафян А.А. Промышленная статистика:Контроль качества, анализ процессов, планирование экспериментов в пакете STATISTICA: Учебное пособие / А.А. Халафян – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2013. – 384 с.
32. Методичні вказівки до виконання економічної частини дипломних робіт з предмету Менеджмент організацій, НУ ЛП. URL: <https://ua.kursoviks.com.ua/metodychki/81-vkazivki-do-vikonannya-ekonomichnoi-chastini-diplomnikh-robit-menedzhment-organizatsiy-nu-lp> (дата звернення: 15.11.2022).

Додатки

Додаток А

**Приклад звіту щодо моделювання деформаційної картини збірки
нижньої плити штампного блоку з діагональним розташуванням
напрямних вузлів якій реалізовувався із застосуванням розрахункового
модуля САПР SolidWorks**



Описание

Данные отсутствуют

Симуляция Сборка_E1

Date: 20 листопада 2022 р.

Создатель:: Solidworks

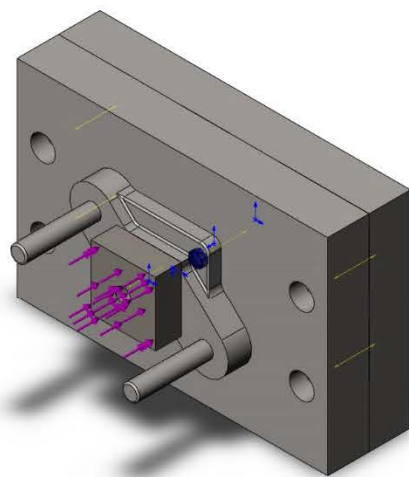
Имя исследования: Статический 1

Тип анализа: Статический

Содержание

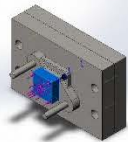
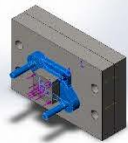
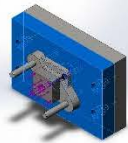
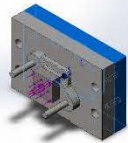
Описание.....	85
Допущения.....	Ошибка! Закладка не определена.
Информация о модели	86
Свойства исследования	87
Единицы	87
Свойства материала	88
Нагрузки и крепления	89
Определения соединителей	90
Данные контакта	93
Информация о сетке	94
Данные датчиков.....	Ошибка! Закладка не определена.
Результирующие силы	95
Балки	Ошибка! Закладка не определена.
Результаты исследования.....	96
Вывод	Ошибка! Закладка не определена.

Информация о модели



Имя модели: Сборка_E1
Активная конфигурация: По умолчанию

Твердые тела

Имя и ссылки документа	Рассматривается как	Объемные свойства	Путь документа/Дата изменения
Вырез-Вытянуть1 	Твердое тело	Масса: 5,74348 kg Объем: 0,000745907 m ³ Плотность: 7 700 kg/m ³ Масса: 56,2861 N	E:\Download\E_1\Матрица_125_125_50_E1.SLDPRT
Вырез-Вытянуть2 	Твердое тело	Масса: 15,7703 kg Объем: 0,00202184 m ³ Плотность: 7 800 kg/m ³ Масса: 154,549 N	E:\Download\E_1\Плита нижняя блока_125_125_45_E1.SLDPRT
Вырез-Вытянуть7 	Твердое тело	Масса: 140,645 kg Объем: 0,0180315 m ³ Плотность: 7 800 kg/m ³ Масса: 1 378,32 N	E:\Download\E_1\Подштамповая плита_упрощ_2_E1.SLDPRT
Скругление4 	Твердое тело	Масса: 101,556 kg Объем: 0,0139118 m ³ Плотность: 7 300 kg/m ³ Масса: 995,251 N	E:\Download\E_1\Стол_1_E1.SLDPRT

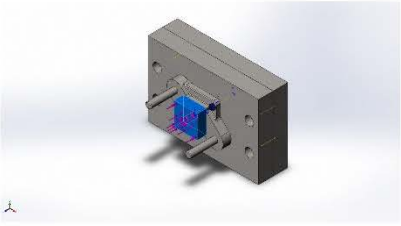
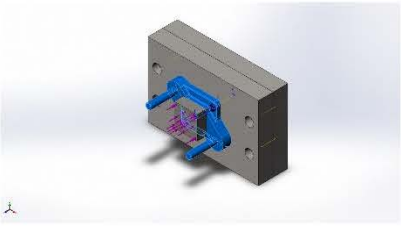
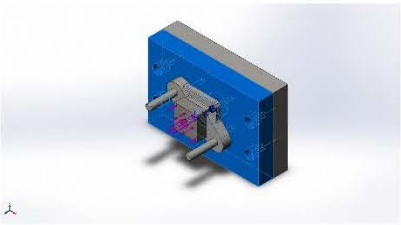
Свойства исследования

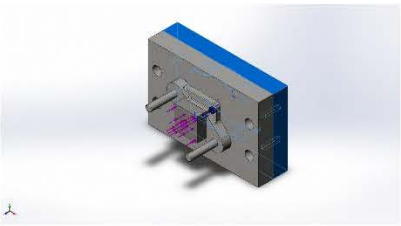
Имя исследования	Статический 1
Тип анализа	Статический
Тип сетки	Сетка на твердом теле
Тепловой эффект:	Вкл
Термический параметр	Включить тепловые нагрузки
Температура при нулевом напряжении	298 Kelvin
Включить эффекты давления жидкости из SOLIDWORKS Flow Simulation	Выкл
Тип решающей программы	Авто
Влияние нагрузок на собственные частоты:	Выкл
Мягкая пружина:	Выкл
Инерционная разгрузка:	Выкл
Несовместимые параметры связи	Авто
Большие перемещения	Выкл
Вычислить силы свободных тел	Вкл
Трение	Выкл
Использовать адаптивный метод:	Выкл
Папка результатов	Документ SOLIDWORKS (E:\Download\E 1)

Единицы

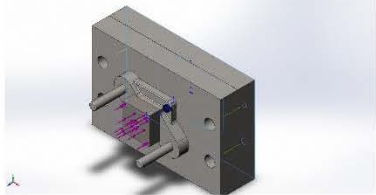
Система единиц измерения:	СИ (MKS)
Длина/Перемещение	mm
Температура	Kelvin
Угловая скорость	Рад/сек
Давление/Напряжение	N/m^2

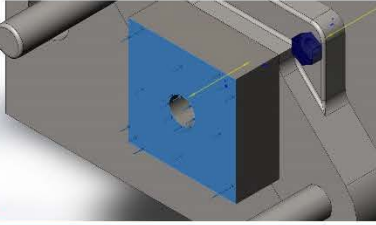
Свойства материала

Ссылка на модель	Свойства	Компоненты
	Имя: Легированная сталь (SS) Тип модели: Линейный Упругий Изотропный Критерий прочности по умолчанию: Максимальное напряжение von Mises Предел текучести: $6,20422e+08 \text{ N/m}^2$ Предел прочности при растяжении: $7,23826e+08 \text{ N/m}^2$ Модуль упругости: $2,1e+11 \text{ N/m}^2$ Коэффициент Пуассона: 0,28 Массовая плотность: $7\,700 \text{ kg/m}^3$ Модуль сдвига: $7,9e+10 \text{ N/m}^2$ Коэффициент теплового расширения: $1,3e-05 / \text{Kelvin}$	Твердое тело 1(Вырез-Вытянуть1)(Матрица_125_125_50_E1-1)
Данные кривой: N/A		
	Имя: Литая углеродистая сталь Тип модели: Линейный Упругий Изотропный Критерий прочности по умолчанию: Неизвестно Предел текучести: $2,48168e+08 \text{ N/m}^2$ Предел прочности при растяжении: $4,82549e+08 \text{ N/m}^2$ Модуль упругости: $2e+11 \text{ N/m}^2$ Коэффициент Пуассона: 0,32 Массовая плотность: $7\,800 \text{ kg/m}^3$ Модуль сдвига: $7,6e+10 \text{ N/m}^2$ Коэффициент теплового расширения: $1,2e-05 / \text{Kelvin}$	Твердое тело 1(Вырез-Вытянуть2)(Плита нижняя блока_125_125_45_E1-1)
Данные кривой: N/A		
	Имя: Простая углеродистая сталь Тип модели: Линейный Упругий Изотропный Критерий прочности по умолчанию: Максимальное напряжение von Mises Предел текучести: $2,20594e+08 \text{ N/m}^2$ Предел прочности при растяжении: $3,99826e+08 \text{ N/m}^2$ Модуль упругости: $2,1e+11 \text{ N/m}^2$ Коэффициент Пуассона: 0,28 Массовая плотность: $7\,800 \text{ kg/m}^3$ Модуль сдвига: $7,9e+10 \text{ N/m}^2$ Коэффициент теплового расширения: $1,3e-05 / \text{Kelvin}$	Твердое тело 1(Вырез-Вытянуть7)(Подштамповая плита_упрощ_2_E1-1)

Данные кривой: N/A		
	Имя:	Литая легированная сталь
	Тип модели:	Линейный Упругий Изотропный
	Критерий прочности по умолчанию:	Неизвестно
	Предел текучести:	2,41275e+08 N/m ²
	Предел прочности при растяжении:	4,48082e+08 N/m ²
	Модуль упругости:	1,9e+11 N/m ²
	Коэффициент Пуассона:	0,26
	Массовая плотность:	7 300 kg/m ³
	Модуль сдвига:	7,8e+10 N/m ²
	Коэффициент теплового расширения:	1,5e-05 /Kelvin
Данные кривой: N/A		

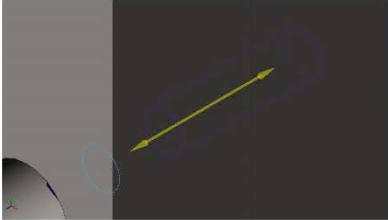
Нагрузки и крепления

Имя крепления	Изображение крепления	Данные крепления		
Зафиксированный-1		Объекты: 1 грани Тип: Зафиксированная геометрия		
Результирующие силы				
Компоненты	X	Y	Z	Результирующая
Сила реакции(N)	-0,000520706	0,000448227	150 000	150 000
Реактивный момент(N.m)	0	0	0	0

Имя нагрузки	Загрузить изображение	Загрузить данные
Сила-1		Объекты: 1 грани Тип: Приложить нормальную силу Значение: 150 000 N

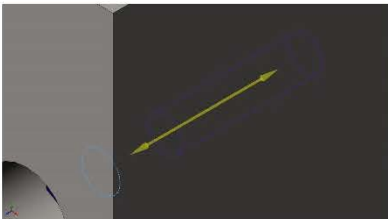
Определения соединителей

Штырьковый/болтовой/подшипниковый соединитель

Ссылка на модель	Данные соединителя	Данные силы
 Цекованный винт-1	Объекты: 1 кромки, 1 грани Тип: Болт(Диаметр головки/гайки)(Без &гайки) Диаметр головки: 33 mm Номинальный диаметр хвостовика: 22 mm Предварительная нагрузка (По оси): 50 000 Модуль Юнга: 2,1e+11 Коэффициент Пуассона: 0,28 Единицы предварительной загрузки: N	Данные отсутствуют

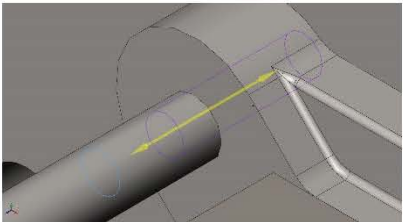
Силы соединителя

Тип	X-составляющая	Y-составляющая	Z-составляющая	Результирующая
Осевое усилие (N)	0	0	50 098	50 098
Поперечная сила (N)	23,255	-24,306	0	33,639
Изгибающий момент (N.m)	-1,0737	-0,82833	0	1,3561

 Цекованный винт-2	Объекты: 1 кромки, 1 грани Тип: Болт(Диаметр головки/гайки)(Без &гайки) Диаметр головки: 33 mm Номинальный диаметр хвостовика: 22 mm Предварительная нагрузка (По оси): 50 000 Модуль Юнга: 2,1e+11 Коэффициент Пуассона: 0,28 Единицы предварительной загрузки: N	Данные отсутствуют
--	--	--------------------

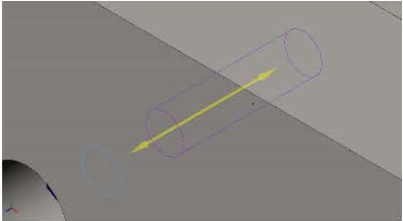
Силы соединителя

Тип	X-составляющая	Y-составляющая	Z-составляющая	Результирующая
Осевое усилие (N)	0	0	50 099	50 099
Поперечная сила (N)	18,209	24,355	0	30,409
Изгибающий момент (N.m)	1,0275	-0,54907	0	1,165

	Объекты: 1 кромки, 1 грани Тип: Болт(Диаметр головки/гайки)(Без &гайки) Диаметр головки: 33 mm Номинальный диаметр хвостовика: 22 mm Предварительная нагрузка (По оси): 50 000 Модуль Юнга: 2,1e+11 Коэффициент Пуассона: 0,28 Единицы предварительной загрузки: N	Данные отсутствуют
---	--	--------------------

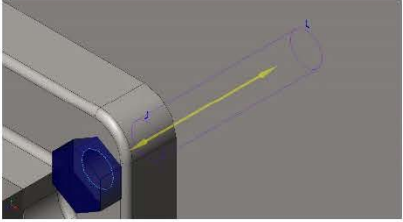
Силы соединителя

Тип	X-составляющая	Y-составляющая	Z-составляющая	Результирующая
Осевое усилие (N)	0	0	50 100	50 100
Поперечная сила (N)	-23,416	-24,701	0	34,036
Изгибающий момент (N.m)	-1,0436	0,86764	0	1,3572

	Объекты: 1 кромки, 1 грани Тип: Болт(Диаметр головки/гайки)(Без &гайки) Диаметр головки: 33 mm Номинальный диаметр хвостовика: 22 mm Предварительная нагрузка (По оси): 50 000 Модуль Юнга: 2,1e+11 Коэффициент Пуассона: 0,28 Единицы предварительной загрузки: N	Данные отсутствуют
---	--	--------------------

Силы соединителя

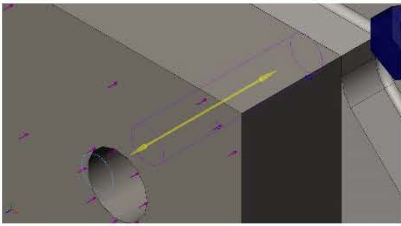
Тип	X-составляющая	Y-составляющая	Z-составляющая	Результирующая
Осевое усилие (N)	0	0	50 099	50 099
Поперечная сила (N)	-18,048	24,652	0	30,553
Изгибающий момент (N.m)	1,1042	0,56292	0	1,2394

	Объекты: 1 кромки, 1 грани Тип: Болт(Диаметр головки/гайки)(Без &гайки) Диаметр головки: 24 mm Номинальный диаметр хвостовика: 16 mm Предварительная нагрузка (По оси): 20 000	Данные отсутствуют
---	---	--------------------

	Модуль Юнга: 2,1e+11 Коэффициент Пуассона: 0,28 Единицы N предварительной загрузки:	
--	--	--

Силы соединителя

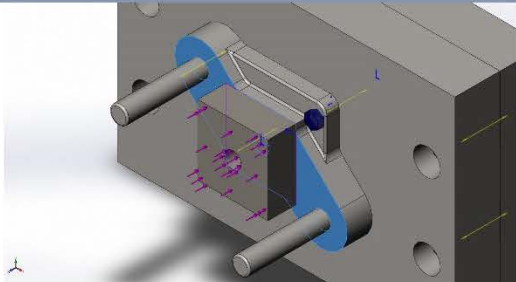
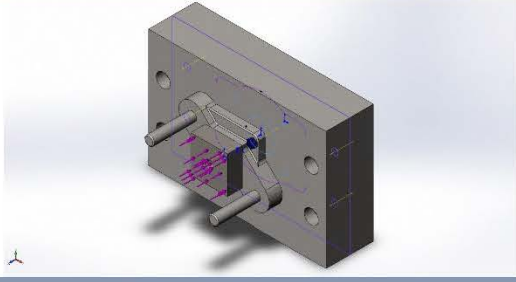
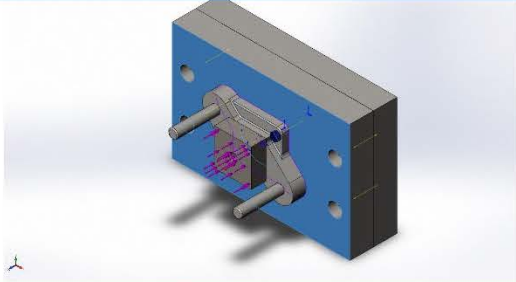
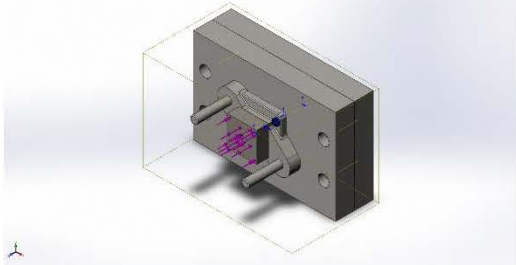
Тип	X-составляющая	Y-составляющая	Z-составляющая	Результирующая
Осевое усилие (N)	0	0	19 690	19 690
Поперечная сила (N)	125,45	109,77	0	166,69
Изгибающий момент (N.m)	3,8844	-3,9339	0	5,5285

 Цекованный винт-6	Объекты: 1 кромки, 1 грани Тип: Болт(Диаметр головки/гайки)(Без &гайки) Диаметр головки: 24 mm Номинальный диаметр хвостовика: 16 mm Предварительная нагрузка (По оси): 20 000 Модуль Юнга: 2,1e+11 Коэффициент Пуассона: 0,28 Единицы N предварительной загрузки:	Данные отсутствуют
--	--	--------------------

Силы соединителя

Тип	X-составляющая	Y-составляющая	Z-составляющая	Результирующая
Осевое усилие (N)	0	0	19 699	19 699
Поперечная сила (N)	-125,45	-109,77	0	166,69
Изгибающий момент (N.m)	-3,8578	3,9401	0	5,5143

Данные контакта

Контакт	Изображение контакта	Свойства контакта		
Набор соприкасания-1		Тип: Контактная пара со связанными узлами Объекты: 2 грани		
Набор соприкасания-2		Тип: Контактная пара без проникновения Объекты: 2 грани Дополнительно: Узел с поверхностью		
Сила контакта/трения				
Компоненты	X	Y	Z	Результирующая
Сила контакта(N)	0	0	3,3424E-10	3,3424E-10
Набор соприкасания-3		Тип: Контактная пара без проникновения Объекты: 2 грани Дополнительно: Узел с поверхностью		
Сила контакта/трения				
Компоненты	X	Y	Z	Результирующая
Сила контакта(N)	0	0	5,3575E-12	5,3575E-12
Глобальный контакт		Тип: Связанные Компоненты: 1 Параметры: Совместимая сетка		

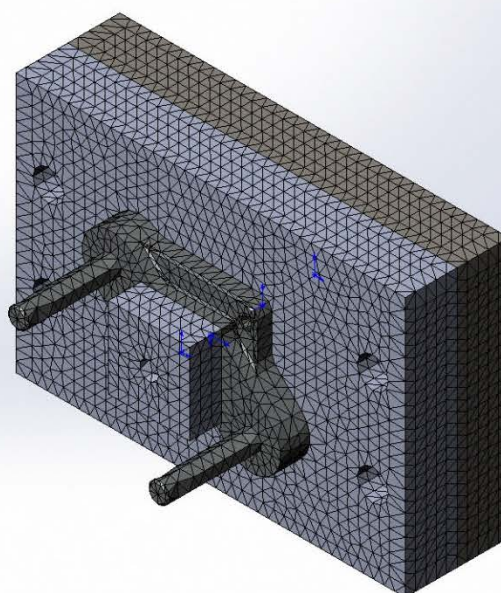
Информация о сетке

Тип сетки	Сетка на твердом теле
Используемое разбиение:	Стандартная сетка
Автоматическое уплотнение сетки:	Выкл
Включить автоциклы сетки:	Выкл
Точки Якобиана	4 Точки
Размер элемента	16,312 mm
Допуск	0,815601 mm
Эпюра качества сетки	Сетка черного качества
Заново создать сетку из неудавшихся деталей с несовместимой сеткой	Выкл

Информация о сетке - Детализация

Всего узлов	14339
Всего элементов	65613
Максимальное соотношение сторон	34,877
% элементов с соотношением сторон < 3	98
% элементов с соотношением сторон > 10	0,0701
Время для завершения сетки (hh:mm:ss):	00:00:03
Имя компьютера:	НОМЕРС

Имя модели: Сборка_E1
 Название исследования: Статический 1 (По умолчанию)
 Тип сетки: Сетка на твердом теле



Результирующие силы

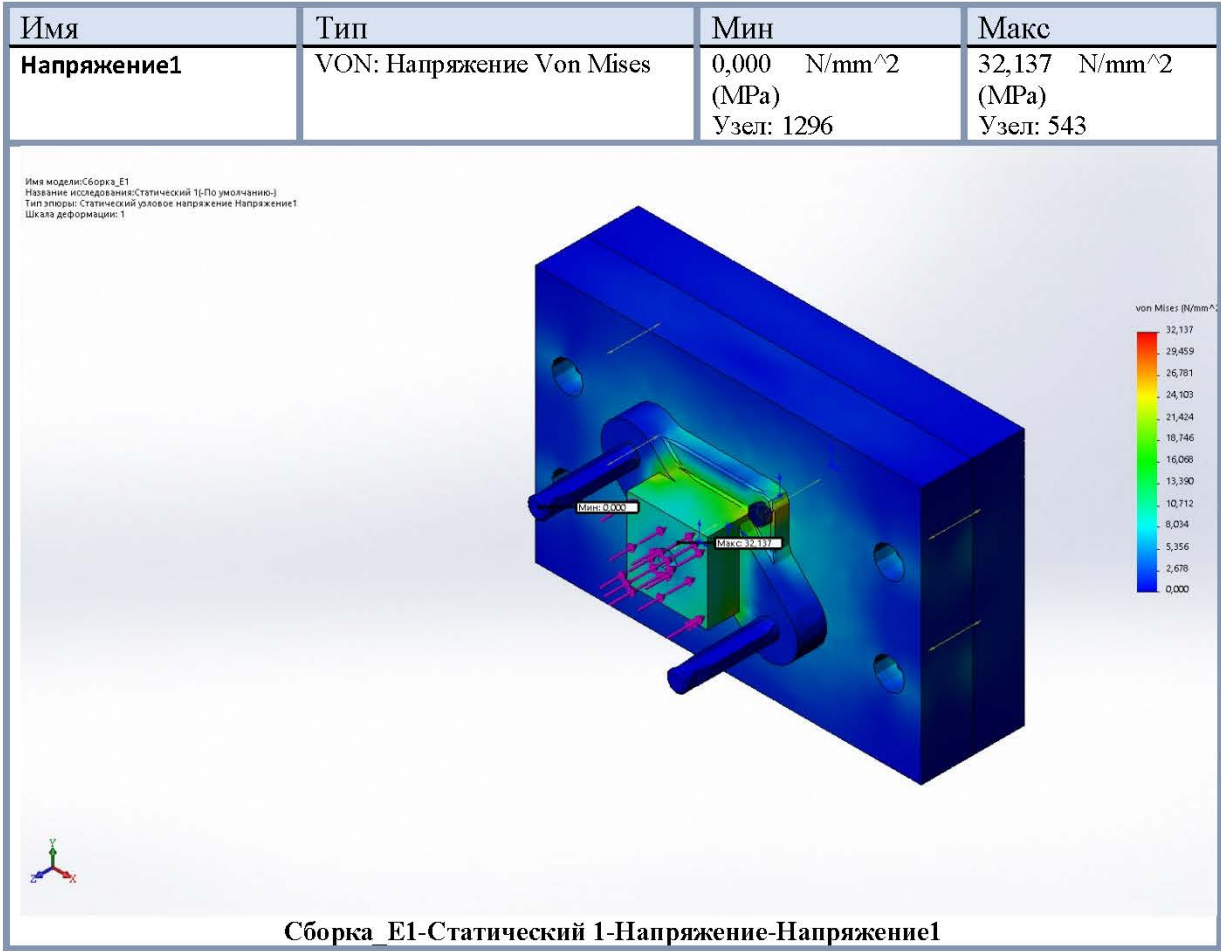
Силы реакции

Выбранный набор	Единицы	Сумма X	Сумма Y	Сумма Z	Результирующая
всей модели	N	-0,000520706	0,000448227	150 000	150 000

Моменты реакции

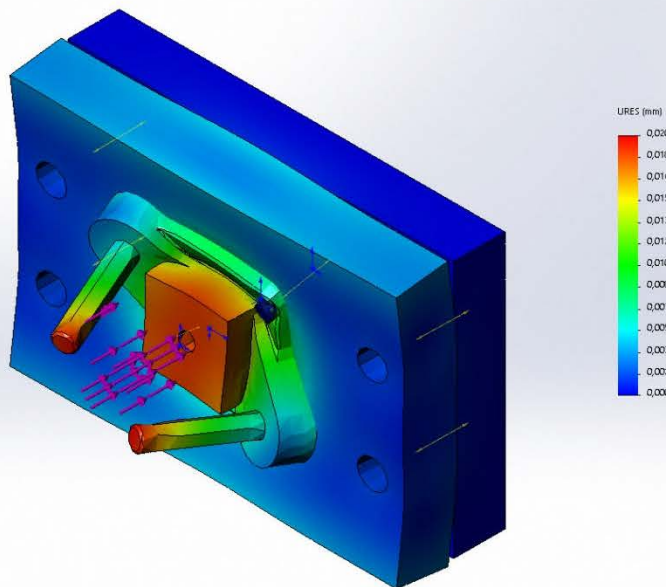
Выбранный набор	Единицы	Сумма X	Сумма Y	Сумма Z	Результирующая
всей модели	N.m	0	0	0	0

Результаты исследования



Имя	Тип	Мин	Макс
Перемещение1	URES: Результирующее перемещение	0,000 mm Узел: 9660	0,020 mm Узел: 811

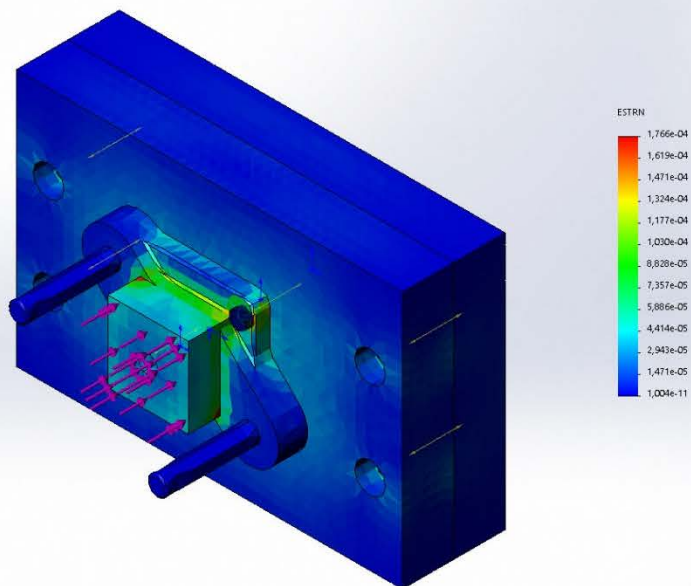
Имя модели: Сборка_E1
 Название исследования: Статический 1-(По умолчанию)
 Тип эпоры: Статическое перемещение Перемещение1
 Шкала деформации: 3 226,99



Сборка_E1-Статический 1-Перемещение-Перемещение1

Имя	Тип	Мин	Макс
Деформация1	ESTRN: Эквивалентная деформация	1,004e-11 Элемент: 3997	1,766e-04 Элемент: 1405

Имя модели: Сборка_E1
 Название исследования: Статический 1-(По умолчанию)
 Тип эпоры: Статическая деформация Деформация1
 Шкала деформации: 1



Сборка_E1-Статический 1-Деформация-Деформация1

Додаток Б

Довідка про публікацію тез доповіді



Довідка №25 від 07.11.2022р.

Видана студенту групи ПМ(ОТ)-21М1,4 О. Пуху про те, що він брав участь у LVI науково-технічній конференції здобувачів вищої освіти приуроченій Дню науки – 2022 з доповіддю на тему «Деформаційний стан нижніх плит штампових блоків під технологічним навантаженням» (секція обробки металів тиском та спецтехнологій). За цією темою опубліковані тези доповідей у збірнику «Наука виробництву, 2022», С. 44-46.

Керівник МОВ

Олексій СМІРНОВ