

Центральноукраїнський національний технічний університет
Механіко-технологічний факультет
Кафедра обробки металів тиском та спецтехнологій

«Допущено до захисту»

Зав. кафедри ОМТ та СТ

канд. техн. наук, доцент

_____ Віталій ШМЕЛЬОВ

20 грудня 2021 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

за другим (магістерським) рівнем вищої освіти

на тему:

**«Підвищення ефективності використання твердосплавного інструменту в
умовах тонколистового розділового штампування»**

Виконав здобувач вищої освіти

II курсу, групи ОТ-20М1,4

спеціальності 131

«Прикладна механіка»,

_____ Пух Є. В.

26 листопада 2021 р.

Керівник проекту

канд. техн. наук, доцент

_____ Володимир МІРЗАК

26 листопада 2021 р.

Рецензент

канд. техн. наук, доцент

_____ Віталій МАЖАРА

21 грудня 2021 р.

м. Кропивницький

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет: *Механіко-технологічний*

Кафедра: *«Обробка металів тиском та спецтехнології»*

Рівень вищої освіти: *другий (магістерський)*

Галузь знань: *13 «Механічна інженерія»*

Спеціальність: *131 «Прикладна механіка»*

Освітньо-професійна програма: *«Прикладна механіка»*

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри ОМТ та СТ

канд. техн. наук, доцент

_____ Віталій ШМЕЛЬОВ

1 вересня 2021 р.

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

Пуху Єгору Володимировичу

1. Тема роботи: *«Підвищення ефективності використання твердосплавного інструменту в умовах тонколистового розділового штампування».*
2. Керівник роботи: *Мірзак Володимир Якович, к. т. н., доцент.*
3. Строк подання роботи до захисту: *21 грудня 2021 р.*
4. Мета та завдання випускної кваліфікаційної роботи.

Мета: підвищення відносної висоти ковпачка за рахунок використання способу прямого видавлювання.

Завдання: обґрунтувати напрямок досліджень та актуальність теми; розробити методику експериментальних досліджень; виконати експериментальні дослідження 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.	1.09.2021 р.	24.11.2021 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Опрацювання навчальної та наукової літератури	15.09.2021 р.	
2	Проведення наукових досліджень, обробка фактичного матеріалу	1.10.2021 р.	
3	Написання першого варіанта тексту, подання його на ознайомлення керівникові	15.10.2021 р.	
4	Усунення недоліків, написання останнього варіанта тексту	1.11.2021 р.	
5	Перевірка роботи на плагіат	7.12.2021 р.	
6	Зовнішнє рецензування роботи	21.12.2021 р.	
7	Захист випускної кваліфікаційної роботи на засіданні екзаменаційної комісії	29.12.2021 р.	

Дата видачі завдання
1 вересня 2021 р.

Підпис керівника
_____ Мірзак В. Я.

Завдання прийнято до виконання
1 вересня 2021 р.

Підпис здобувача
_____ Пух Є. В.

ЗМІСТ

ВСТУП	
Розділ 1. ОБГРУНТУВАННЯ ВИБРАНОГО НАПРЯМКУ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	
1.1. Особливості проектування твердосплавного оснащення....	
1.2. Види похибок і фактори, що впливають на металомісткість та жорсткість штампових блоків.....	
1.3. Жорсткість штампових блоків як об’єкт дослідження	
Висновки	
Розділ 2. МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ	
2.1. Загальна методика	
2.2. Експериментальне обладнання та оснащення	
Розділ 3. ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЖОРСТКОСТІ СТАНДАРТНИХ ШТАМПОВИХ БЛОКІВ	
3.1. Методика математичного моделювання жорсткості стандартних штампових блоків.....	
3.2. Побудова матриці планування експерименту	
3.3. Побудова твердотільних моделей стандартних штампових блоків та проведення досліджень їх напружено-деформованого стану методом кінцевих елементів.....	
3.4. Аналіз результатів дослідження напружено-деформованого стану штампових блоків.....	
3.5. Оцінка достовірності результатів проведеного математичного моделювання.....	
3.6. Практичне застосування результатів дослідження.....	
Висновки	
Розділ 4. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	
4.1. Розрахунок витрат на виконання НДР.....	
4.2. Розрахунок договірної ціни та прибутку НДР.....	
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	
ДОДАТКИ	

Додаток А. Приклад звіту щодо моделювання деформаційної картини стандартного штампового блоку з діагональним розташуванням напрямних вузлів якій реалізовувався із застосуванням розрахункового модуля САПР SolidWorks.....

АНОТАЦІЯ

Пух Є. В. «Підвищення ефективності використання твердосплавного інструменту в умовах тонколистового розділового штампування», спеціальність 131 «Прикладна механіка», ОПП – «Прикладна механіка», Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, 2021 рік.

Метою дослідження є зменшення металомісткості твердосплавного штампового оснащення шляхом використання компенсатора похибок системи "прес-штамп". Розроблено методику багатфакторного експериментального дослідження напружено-деформованого стану стандартних штампових блоків під дією горизонтальної складової технологічного зусилля. Встановлено, що тип штампового блоку та габарити робочих деталей штампу суттєво впливають на його жорсткість

Запропонована конструкція штампових блоків меншої металомісткості, при встановленні їх на компенсатор похибок системи «прес-штамп». Очікуване зниження металомісткості для типового твердосплавного штампу в умовах експлуатації його на однокривошипному відкритому пресі номінальним зусиллям 400 кН, при забезпеченні відхилення одностороннього технологічного зазору не більше 25 %, складає в межах 15-20 %. Запропоновано технічне рішення по зменшенню горизонтальної складової технологічного зусилля, яке діє на верхню плиту штампового блоку шляхом вдосконалення конструкції підсистеми «штамповий блок – компенсатор похибок» системи «прес-штамп», де на відміну від існуючих рішень, застосовано комбіновані обмежувачі заходу пуансона в матрицю.

твердосплавний штамп, штамповий блок, технологічний зазор, система «прес-штамп», компенсатор, напружено-деформований стан, жорсткість, металомісткість

ANNOTATION

Pukh E.V. "Improvement of the efficiency of the use of carbide tools in the conditions of sheet-fed separation stamping", specialty 131 "Applied Mechanics", OPP - "Applied Mechanics", Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, 2021.

The aim of the study is to reduce the metal content of carbide stamping equipment by using the error compensator system "press stamp". A method of multifactor experimental study of the stress-strain state of standard stamp blocks under the action of the horizontal component of technological effort has been developed. The technique of multifactor experimental research of the stress-strain state of standard stamp blocks under the action of the horizontal component of technological effort is developed; It is established that the type of stamp block and the dimensions of the working parts of the stamp significantly affect its rigidity

The design of stamp blocks of smaller metal capacity is offered, at their installation on the compensator of errors of system "press stamp". The expected reduction in metal content for a typical carbide stamp in the conditions of its operation on a single-crank open press with a nominal force of 400 kN, while ensuring the deviation of the one-sided technological gap of not more than 25%, is in the range of 15-20%. A technical solution is proposed to reduce the horizontal component of the technological effort acting on the upper plate of the stamp block by improving the design of the subsystem "stamp block - error compensator" system "press stamp", where unlike existing solutions.

carbide stamp, stamp block, technological gap, system "press stamp", compensator, stress-strain state, rigidity, metal content

ВСТУП

Актуальність теми

В електротехнічній промисловості та приладобудуванні є достатньо велика наменклатура деталей (наприклад, пластини магнітопроводів, виготовлення яких можна віднести до великосерійного і масового типу виробництва. Більшість з цих деталей виготовляються методами розділення листового матеріалу (лист, штаба, стрічка). Інструментом для їх виготовлення є різного типу штампи (послідовної або суміщеної дії) з робочими деталями (пуансони і матриці), виготовленими з легованих сталей. Стійкість таких штампів коливається в межах 20 – 40 тисяч деталей [1], що приводить до частих переналагоджувань в процесі виробництва.

Застосування твердих сплавів для виготовлення робочих частин штампів дозволяє підвищити їх стійкість в 20-100 разів [2]. Успішна тривала експлуатація твердосплавних штампів в основному залежить:

- від правильного вибору типу штампа і марки твердого сплаву;
- від надійної працездатності буферних пристроїв, механізмів для знімання відходів і видалення відштампованих деталей;
- від відповідності пресів, на яких експлуатуються штампи, нормам геометричній точності;
- від якості матеріалу, що підлягає штампуванню (рівномірність по товщині, якість поверхні);
- від кваліфікації і уважності наладчиків штампів, слюсарів по ремонту і штампувальників.

Експлуатація твердосплавних штампів показує, що термін служби штампа від одного капітального ремонту до іншого перевершує такий же термін служби пресового устаткування.

При проектуванні твердосплавних штампів слід забезпечити: підвищену жорсткість конструкції штампа; підвищену зносостійкість всіх поверхонь, що

труться (втулок, колонок, напрямних планок, упорів і т. п.); усунення впливу неточності руху повзуна преса на штампи шляхом застосування різних засобів компенсації; надійні способи кріплення твердосплавних елементів з ретельною підгонкою їх до опорних сталевих поверхонь; мінімальний вхід пуансона в матрицю за допомогою застосування обмежуючих упорів; встановлення збільшених зазорів між пуансоном і матрицею, а також підвищеною жорсткістю і міцністю плит штампових блоків.

Відомо, що в конструкції будь-якого штампу для виконання розділових операцій металомісткість штампового блоку, в більшості випадків, переважає металомісткість пакету. При проектуванні штамків конструктор, як правило, вибирає стандартні варіанти блоків та пакетів і, в подальшому, не перевіряє їх поведінку під технологічним навантаженням по таким показникам, як деформація напрямних вузлів штампа, зміщення верхньої плити штампа відносно нижньої, зміну величини оптимального технологічного зазору, деформацію нижньої плити штампа. Вважається, що запас жорсткості у стандартних блоках достатній, щоб забезпечити їх нормальну роботу під технологічним навантаженням. Але, в більшості випадків, стандартні штампові блоки мають завищену жорсткість і, як наслідок, надлишкову металомісткість. Існує також проблема вибору оптимальних розмірів штампового блоку під конкретний прес. У існуючих державних стандартах блоки вибираються по габаритам пакетів та закритій висоті блока, без врахування технологічного зусилля та жорсткості робочих деталей штампа (пуансона і матриці), що може суттєво впливати на його напружено-деформований стан.

Отже для того, щоб зменшити жорсткість штампових блоків без зниження їх експлуатаційної якості потрібно йти шляхом зменшення дії на них зовнішніх навантажень, зокрема горизонтальної складової технологічного зусилля, що особливо важливо для твердосплавних штамків. Тому робота, що спрямована на зменшення металомісткості шампового оснащення є актуальним науково-практичним завданням.

Мета і задачі дослідження

Мета дослідження – зменшення металомісткості твердосплавного штампового оснащення шляхом використання компенсатора похибок системи "прес-штамп".

Для досягнення поставленої мети потрібно вирішити наступні задачі:

- проаналізувати особливості проектування твердосплавного штампового оснащення;
- проаналізувати вплив похибок системи “прес-штамп” на жорсткість 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 стандартних штампових блоків під дією горизонтальної складової технологічного зусилля;
- провести моделювання впливу зовнішніх навантажень на деформацію різних типів штампових блоків.
- запропонувати конструкцію штампових блоків меншої металомісткості.
- розробити принципові технічні рішення по зменшенню навантаження на напрямні вузли штампа, шляхом модернізації підсистеми «штамп – компенсатор похибок» системи "прес-штамп";

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

Предмет дослідження – штампові блоки під дією складових технологічного навантаження із застосуванням пристроїв компенсації похибок системи «прес–штамп».

Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному:

1. Набули подальшого розвитку підходи по застосуванню метода скінчених елементів для рішення задач напружено-деформованого стану стандартних штампових блоків в умовах дії горизонтальної складової технологічного зусилля з врахуванням розташування напрямних вузлів. На відміну від наявних, де в аналітичних розрахунках враховувалися лише

жорсткості напрямних колонок, запропоновано враховувати жорсткість робочих деталей пакету, що дозволило пропонувати зменшення металомісткості штампового блоку в цілому;

2. Стосовно задачі зменшення горизонтальної складової технологічного зусилля, яке діє на верхню плиту штампового блоку, вдосконалено конструкцію підсистеми «штамповий блок – компенсатор похибок» системи «прес-штамп», де на відміну від існуючих рішень, застосовано комбіновані обмежувачі заходу пуансона в матрицю.

Практичне значення отриманих результатів полягає у наступному:

Запропоновано типову конструкцію підсистеми «твердосплавний штамп – компенсатор» з оптимізованою металомісткістю за рахунок зменшення дії на штамповий блок горизонтальної складової технологічного зусилля у 2,5 рази. Це дозволяє скоротити металомісткість блоків для твердосплавних штампів на 15 - 20 %.

Апробація результатів магістерської роботи

Основні результати дослідження доповідалися на науково-технічній конференції студентів ЦНТУ у 2021 році. Тема доповіді: «Підвищення ефективності використання твердосплавного інструменту в умовах тонколистового розділового штампування»

Публікації

За результатами роботи опубліковані тези на міжнародній конференції: Удосконалення компенсатора похибок системи «прес-штамп». The IX International Science Conference «Innovative technologies in science and education», March 04 – 06, 2021, Jerusalem, Israel. 316 – 321 p. ISBN - 978-1-63732-147-8.

Структура та обсяг роботи

Магістерська робота складається із вступу, чотирьох розділів, загальних висновків та списку використаних джерел із 43 найменувань. Повний обсяг роботи становить 100 сторінок, включаючи 39 рисунки та 10 таблиць.

Розділ I

ОБГРУНТУВАННЯ ОБРАНОГО НАПРЯМКУ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Особливості проектування твердосплавного оснащення

1.1.1 Матеріали і технологія виготовлення

Тверді сплави - гетерогенні матеріали, в яких частинки високотвердих тугоплавких сполук (найчастіше карбіди, рідше нітриди або бориди перехідних металів; найбільш широко використовують карбіди вольфраму, титану, танталу, хрому або їх поєднань) зцементувати пластичним металом-зв'язкою (кобальтом, нікелем, залізом і їх сплавами) [3, 4]. Тверді сплави мають високу твердість і зносостійкість і зберігають ці властивості при температурі 900 - 1500 ° С.

За способом виготовлення виділяють два типи твердих сплавів:

- спечені;
- литі.

Спечені сплави отримують методами порошкової металургії. Даний спосіб дає дуже високу точність виготовлення одержуваної продукції і забезпечує високі значення різних властивостей. Вироби, вироблені методами порошкової металургії, вимагають мінімальної механічної обробки, тому вони обробляються шліфуванням або фізико-хімічними методами (лазер, ультразвук, травлення в кислотах і ін.). Спечені тверді сплави іноді називають металокерамічними, так як технологія їх виробництва схожа з технологією виробництва кераміки. Сплави даного типу наносять на інструмент за допомогою пайки або механічним закріпленням. Найбільш поширеними представниками зазначеної групи є сплави ВК (наприклад, ВК6, ВК8), ТК і ТТК - тверді сплави на основі карбіду вольфраму.

Литі тверді сплави отримують методом лиття. До даної групи відносять стелліта (хром, вольфрам, нікель, вуглець; основа - кобальт), сормайт (хром, нікель, вуглець; основа - залізо), стеллітоподібні сплави (основа - нікель). Для наплавлення їх випускають у вигляді литих стержнів або прутків різного хімічного складу.

Відповідно до області застосування виділяють такі групи твердих сплавів:

- інструментальні сплави, що застосовуються при обробці матеріалів різанням, тиском або штампуванням, при бурінні гірських порід і так далі;
- конструкційні сплави для виготовлення зносостійких деталей машин, механізмів і приладів, в тому числі і з особливими властивостями - високою щільністю, великим тимчасовим опором і значним модулем пружності;
- жароміцні і жаростійкі сплави.

Також можна виділити дві великі групи твердих сплавів:

- вольфрамівмісні;
- безвольфрамівмісні.

Основою всіх вольфрамівмісних сплавів є карбід вольфраму. Також в складі обов'язково присутній метал-зв'язка, в якості якого виступає кобальт, нікель або суміш нікелю з молібденом. Крім карбіду вольфраму такі сплави можуть містити карбіди титану і танталу.

У безвольфрамівмісних твердих сплавах карбід вольфраму замінюється або на будь-якій іншій твердий матеріал, наприклад, борид, силіцид, або на карбід іншого тугоплавкого металу, наприклад, цирконію, ніобію, танталу, хрому.

При проектуванні штампового оснащення, призначеного для виконання розділових операцій, найчастіше використовують вольфрамівмісні штампи.

1.1.2 Властивості твердих сплавів

Основними корисними властивостями сплавів даної категорії є висока твердість, зносостійкість і міцність. У деяких випадках важливу роль відіграє жароміцність і жаростійкість, а також тугоплавкість.

Властивості сплавів змінюються в залежності від групи, до якої належить той чи інший твердий сплав. Для сплавів ВК важливий розмір зерна карбіду вольфраму. Зі зменшенням розміру зерна зростає твердість, але зменшується міцність при вигині і в'язкість сплаву (при однаковому процентному співвідношенні карбіду вольфраму і кобальту) і навпаки відповідно. Сплави

групи ТК, леговані карбідом титану, мають кращу стійкість проти окислення, більш високу твердість і жароміцність в порівнянні з групою ВК. Однак, мають більш низьку в'язкість, міцність при вигині, а також тепло- і електропровідність. Одночасне додавання карбідів танталу і титану (група ТТК) збільшує міцність сплавів при вигині в порівнянні з групою ТК.

Таблиця 1.1 – Фізичні властивості деяких твердих сплавів

Марка	Щільність, г/см ³	σ_b , МПа, не менше	HRA, не менше
ВК6	14,6-15,0	1500	88,5
ВК8	14,4-14,8	1600	87,5
ВК10	14,2-14,6	1650	87,0
ТТ7К12	13,0-13,3	1650	87,0

1.1.3 Маркування твердих сплавів

Серед вольфрамистих твердих сплавів найбільш поширеними марками є ВК - сплави на основі карбіду вольфраму з кобальтом як металу-зв'язки, ТК - сплави на основі карбіду вольфраму з кобальтом як металу-зв'язки і додаванням карбіду титану, ТТК - те саме, що і ТК плюс карбід танталу.

У загальному випадку марки вольфрамистих твердих сплавів формуються наступним чином: буква В - карбід вольфраму (WC), Т - карбід титану (TiC), ТТ - карбіди титану і танталу (TaC), КНТ - карбонітриду титану, К - кобальт (Co), Н - нікель (Ni); цифри після букв - зміст цих речовин у відсотках, а для букв ТТ - суму змісту карбідів титану і танталу; зміст карбіду вольфраму не вказується, воно визначається по різниці.

У безвольфрамових сплавах в якості сполучного металу використовують нікель в суміші з 20 - 25% молібдену.

Хімічний склад деяких марок наведено в таблиці 2.

Таблиця 1.2 – Хімічний склад деяких марок твердих сплавів

Марка	Склад, %			
	WC	TiC	TaC	Co
BK6	94	-	-	6
BK8	92	-	-	8
BK10	90	-	-	10
TT7K12	81	4	3	12

1.1.4 Переваги та недоліки використання твердих сплавів

До переваг можна віднести високу твердість і зносостійкість, досить високі механічні характеристики, хороші показники жароміцності і жаростійкості та є тугоплавкими матеріалами.

До недоліків слід віднести:

- високу вартість карбіду вольфраму, меншу в'язкість і чутливість до ударних навантажень.
- карбід вольфраму, що є основою більшості твердих сплавів, має високу вартість;

1.1.5 Особливості використання

Традиційно вважається, що твердосплавні штампи повинні мати підвищену жорсткість конструкції, більш точний і надійний напрям рухомої частини в порівнянні з блоками для сталевих штамів. Зазор в напрямних елементах блоку повинен бути менше половини зазору між ріжучими елементами штампа для запобігання їх ушкодження.

Рекомендується застосовувати блоки наступних типів по розташуванню колонок і втулок: з діагональним розташуванням, з осьовим розташуванням; з чотирма напрямними колонками і втулками.

Напрямні елементи блоків виконують: ковзання – для розділових штамів при товщині штампувального матеріалу понад 1,5 мм, а також для витяжних, згинальних і формувальних штамів; кульковими – для розділових штамів при товщині штампувального матеріалу менше 1,5 мм.

Для зручності ремонту штампа без розбирання колонки в блоках можна встановлювати в нижній плиті або в нижній і верхній (із зустрічним розташуванням).

Блоки з кульковими напрямними виготовляють по нормалям МН 4763-63, МН 4764-63 - з діагональним розташуванням колонок і втулок і по нормалям МН 4765-63, МН 4766-63 - з чотирма колонками. На блоки з кульковими напрямними встановлюють плаваючі хвостовики по нормалі МН 4776-63.

Блоки із заднім розташуванням напрямних колонок застосовувати не рекомендується, так як під час роботи можливий перекис блоку, що може привести до пошкодження різальних крайок і сколу твердого сплаву.

Є ще певні вимоги до проектування та конструкції інших деталей та вузлів твердосплавних штамів (матриці, пуансони, пуансонотримачі, знімачи, але в даній роботі вони не розглядаються.

1.1.6 Величина оптимального зазору

На величину оптимального ріжучого зазору найбільше впливають такі чинники:

- товщина листа і міцність оброблюваного матеріалу;
- склад оброблюваного матеріалу;
- форма робочого контуру.

В роботі [5] звертається увага на те, що літературні дані і дані досвіду підприємств по вибору величини зазору для твердосплавного оснащення вкрай різноманітні і суперечливі. Величині зазору, що пропонуються, коливаються у межах від 3 % до 35 % від товщини матеріалу, що штампується. В деяких рекомендаціях можна зустріти пропозицію встановлювати зазор такий самий як і у сталевих штампах, в інших – вдвічі більший. В цій же роботі для електротехнічної сталі пропонуються зазори в межах 12 – 30 %. Безумовно, вимоги по якості деталей, що штамнуються, можуть змінювати ці показники.

Ріжучий зазор не тільки впливає на якість вирубуваної деталі (точність розмірів відповідно до креслення, величину задирки), але і у великій мірі визначає довговічність штампу.

За роботою [4] внаслідок малого зазору можуть відбуватись пошкодження ріжучих крайок робочих частин оснащених твердим сплавом. Рекомендується також приймати зазор дещо більшим, ніж в сталевих штампах, оскільки знос твердого сплаву незначний.

Отже можна констатувати, що збільшення оптимальних зазорів в твердосплавних штампах пов'язано з умовами їх експлуатації. Зменшення силового навантаження на штамп в процесі виконання технологічної операції дозволить, відповідно, зменшити і оптимальні зазори на рівні зазорів для сталевих штамків.

1.2. Види похибок і фактори, що впливають на металомісткість та жорсткість штампових блоків

1.2.1. Вибір об'єкта дослідження

Якість штампованих деталей та стійкість штампового інструменту закладаються ще на стадії проектування. Укрупнено процедура проектування (для розділових штамків) відбувається в наступній послідовності [6, 7, 8, 9]:

- по кресленню деталі формується креслення робочої зони штампу (розраховується по відомим методикам ширина штаби, стрічки або габарити штучної заготовки;
- вибирається стандартний, або проектується, пакет (типовий або оригінальний), в який входять робочі деталі штампа (пуансони і матриці), кріпильні деталі (пуансонотримачі і матрицетримачі), знімачи та виштовхувачи;
- по габаритам пакета вибирається стандартний штамповий блок, або проектується (типовий або оригінальний);

– по розрахованому раніше технологічному зусиллю та габаритам штампового блоку (габарити в плані, закрита висота блоку) вибирається прес (в більшості випадків кривошипний).

Якщо з вибором пакету, в більшості випадків, проблем не виникає, то з вибором блоку все відбувається складніше. 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 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, із за достатньо великих його габаритів, 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 [10] та регламентовані відповідними нормами точності на преси [11]. Крім того відбуваються певні деформаційні процеси, пов'язані з розкриттям станини відкритих кривошипних пресів [12].

Існує достатньо велике різноманіття компоновок штампових блоків. Більшість з них регламентована діючими стандартами [13– 17], (див. рис.1.1.– 1.5.). Але при виборі блока по відповідним стандартам орієнтуються на габарити пакета та його закриту висоту. Жорсткість та технологічне зусилля, яке він може витримувати, ніде не оговорюється. Тому, майже у всіх типів блоків є резерви по зменшенню металомісткості, що і обумовило саме їх вибрати за об'єкт даного дослідження.

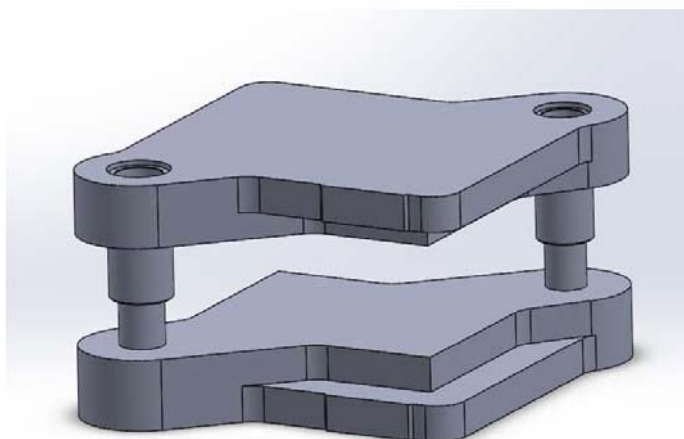


Рисунок 1.1 — Стандартний штамповий блок із діагональним розташуванням напрямних вузлів

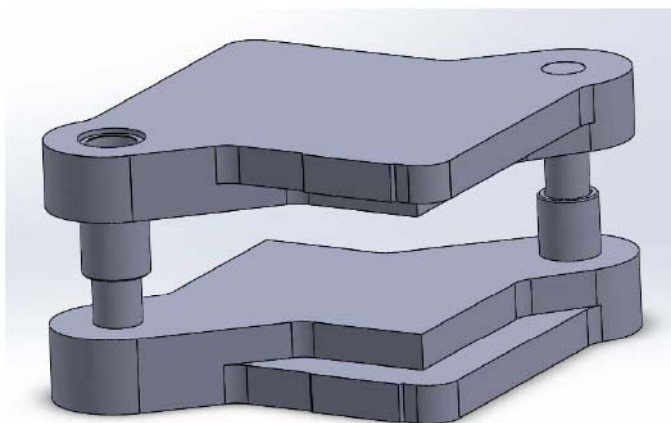


Рисунок 1.2 — Стандартний штамповий блок із діагональним розташуванням напрямних вузлів та їх зустрічним виконанням

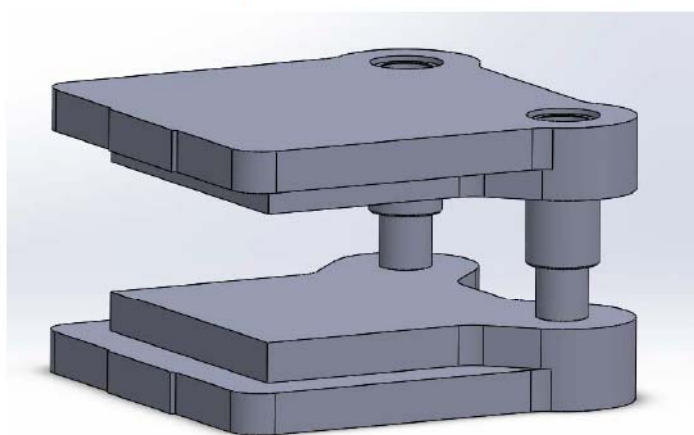


Рисунок 1.3 — Стандартний штамповий блок із заднім розташуванням напрямних вузлів

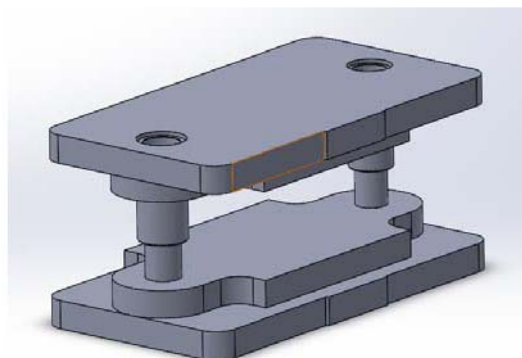


Рисунок 1.4 – Стандартний штамповий блок із осьовим розташуванням напрямних вузлів

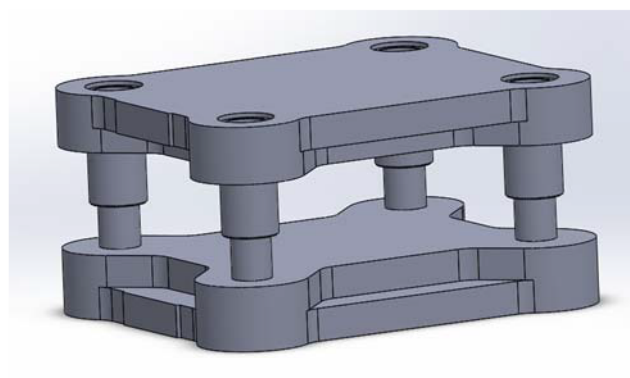


Рисунок 1.5 – Стандартний штамповий блок із чотирма напрямними вузлами

1.2.2. Зовнішні фактори що впливають на жорсткість штампових блоків

В штампувальному виробництві широке застосування отримали кривошипні відкриті преси з С-подібною станиною. Однак поряд з їх перевагами (менша металомісткість, зручність обслуговування) вони мають суттєвий недолік - низьку жорсткість станини. До цього додаються ще й геометричні похибки головного виконавчого механізму (зазори в напрямних повзуна і станини, неперпендикулярність ходу повзуна, непаралельність площини стола і повзка тощо. При наближенні технологічного зусилля до номінального зусилля преса горизонтальне зміщення робочих деталей штампу може бути сумісне з величиною технологічного зазору між пуансоном і

матрицею. Така суттєва зміна зазору, в свою чергу, призводить до підвищеного зносу робочих деталей штампу та зниженню якості відштампованих деталей.

В роботі [18] порівнювались жорсткості різних типів станин: з литою та зварною станинами. Порівняння результатів показало, що деформація зварної станини при навантаженні 180 кН склала 8,4 мкм/кН, литої - 15,1 мкм/кН. Зміщення осі повзуна в площині паралельній поверхні стола при технологічному зусиллі 500 кН складає 0,2 мм для зварної станини і 0,48 мм для литої. Вказується, на прямий зв'язок між величиною горизонтального зміщення повзуна від технологічного зусилля та жорсткості штампа.

За роботою [19] встановлена невідповідність геометричних норм точності пресів по ГОСТ без технологічного навантаження і з технологічним навантаженням. Порівняння допусків по нормам точності наведено в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Порівняння допусків по нормам точності

Площина заміру	Відхилення, мм	
	що допускаються нормами точності	Фактичні
1. Паралельно фронту преса:		
а) по паралельності поверхні повзуна поверхні стола	0,018/180	0,10/180
б) по перпендикулярності ходу повзуна поверхні стола (на довжині ходу повзуна)	0,01	0,12
2. Перпендикулярно фронту преса:		
а) по паралельності поверхні повзуна поверхні стола	0,025/165	0,17/165
б) по перпендикулярності ходу повзуна поверхні стола (на довжині ходу повзуна)	0,01	0,012

Очевидно, що різні на порядок фактичні відхилення допусків не можуть не відбитися на деформаційній картині штампового блоку.

Модернізація кривошипних пресів в напрямку підвищення їх жорсткості є малоефективною. Збільшення жорсткості відкритого пресу до нульового розкриття станини, в момент максимального технологічного зусилля,

практично неможливе, внаслідок різкого зростання його металомісткості, що підтверджується результатами роботи [15], де таке зростання металомісткості оцінюється приблизно в 10 разів.

W. Tomselt [20] висуває в якості умови нормального зносу штампів при вирубуванні пружне пружинення станини не більш 0,025 мм на 100 мм довжини напрямної станини при максимальному зусиллі.

У Японії Watake Sendsaburo і ін. [21] досліджували 55-тонний прес із С-образною зварною станиною. Експерименти проводилися по визначенню жорсткості станини при статичних і динамічних навантаженнях, коливань у стійках і приводних шестернях. Величина жорсткості при статичних і динамічних навантаженнях не відрізнялася. При вимірюваннях динамічних навантажень визначалися коливання станини. Автори встановили, що горизонтальні коливання, що мають меншу частоту (16 Гц) більш небезпечні, чим коливання у вертикальній площині (90 Гц). Е.Н. Ланской [22] також відзначає, що поряд із великими перевагами пресів відкритого типу вони мають значну хибу – велику деформованість станини преса. На теж саме звертає увагу і Кокоулін В.П.. У роботі [23] він обґрунтовує можливість обмеження зсувів крайок інструмента шляхом призначення оптимальної кутової жорсткості станини з урахуванням переміщень повзуна в напрямних.

Є ще багато робіт у цьому напрямку, але навіть по наведеним матеріалам видно, що різноманітні похибки пресового обладнання суттєво впливають на на експлуатаційні показники штампового оснащення.

1.2.3 Способи підвищення експлуатаційних показників штампового оснащення

З метою стабілізації технологічного зазору під час виконання розділових операції розроблено досить різноманітну номенклатуру засобів та пристроїв, які відрізняються схемами комбінацій елементів, з яких складаються, і їх розташуванням в системі «прес-штамп».

1.2.3.1 Плаваючі хвостовики

Плаваючі хвостовики, як правило, застосовують при підвищених вимогах до якості деталей, що штампуються. Найбільш поширена конструкція плаваючого хвостовика наведена в [24]. Хвостовик має можливість підстроюватись під горизонтальні та кутові переміщення повзуна пресу у всіх можливих напрямках під технологічним навантаженням. Основні недоліки цієї конструкції – достатньо великі сили тертя між підп'ятником та поверхнею верхньої плити штампного блоку та неспівпадання осі блоку з віссю повзуна пресу, що практично зводить нанівець його компенсуючу здатність. В конструкціях плаваючих хвостовиків які наведені в роботах [25-27] зроблена спроба усунути ці недоліки, але як правило за рахунок обмеження їх технологічних можливостей.

1.2.3.2 Компенсатори похибок обладнання

Ця група пристроїв виконує теж саме 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 розташування компенсаторів більш різноманітне:

- над верхньою плитою або в верхній плиті;
- у нижній плиті штампу (вбудовані компенсатори);
- під нижньою плитою (встановлюються замість підштампової плити).

По принципу дії їх можна поділити на важільно- механічні, механіко-гідравлічні та механіко- пневматичні. Конструкції компенсаторів наведені в роботах [4, 28-30]. 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 [31-34]. Підтверджено, що їх застосування в умовах виробництва підвищує стійкість як сталевих, так і твердосплавних штамсів на розділових операціях, в 2.5 – 3 рази та якість штампованих деталей. та зменшує навантаження на напрямні елементи штампних блоків. Крім того є суттєві

резерви поліпшення експлуатаційних показників існуючих конструкцій.

1.3 Жорсткість штампових блоків як об'єкт дослідження

Жорсткість штампового блоку залежить від типу, розташування та розмірів напрямних елементів і товщини нижньої та верхньої плит [6].

Напрямок робочих деталей штампів у процесі штампування може здійснюватися такими засобами:

- за допомогою напрямних елементів ковзання;
- за допомогою напрямних елементів кочення;
- за допомогою напрямних циліндрів;
- за допомогою додаткових напрямних плит;
- по жорсткому знімачу.

Кількість напрямних елементів по Держстандартам обмежується чотирма, хоча при проектуванні спеціальних штампів використовують до 16 напрямних елементів. Найбільш поширене розташування напрямних елементів – діагональне, заднє та осьове. В прецизійних штампах часто використовують зустрічний тип напрямних елементів.

При проектуванні виконують розрахунки окремих елементів блоків та блоків в цілому на міцність і жорсткість.

Наприклад нижню плиту штампу перевіряють по одній із формул:

$$H_{nl} \geq 3 \sqrt{\frac{24h_{\min}}{zEB} P_3 \left\{ \frac{(A-d)^2}{4} - \frac{(A-L)^2}{2} + \frac{(A-L)^3}{3(A-d)} \left[1 - \frac{A-L}{4(A-d)} \right] \right\}}, \quad (1.1)$$

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, в межах якого може відбуватися перекіс пуансона відносно матриці, 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 методики розрахунку діаметрів напрямник колонок.

Напрямні елементи (колонки) перевіряють на прогин під радіальним навантаженням [35] по формулі 1.2;

$$Y = (PL^3 / 3EI) + \Theta l, \quad (1.2)$$

де P – сила, що навантажує;

L – довжина колонки від торця до втулки;

E – модуль подовжної 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:

$$C = \frac{P}{Y}, H / мм \quad (1.3)$$

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

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

Є методики розрахунку діаметрів напрямних колонок в залежності від дії горизонтальної складової технологічного зусилля [36].

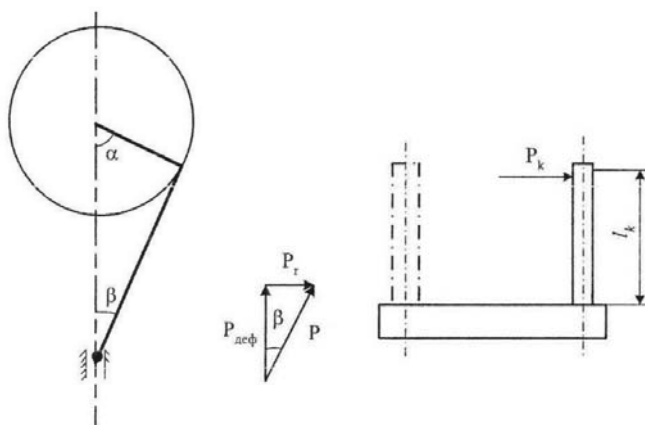


Рисунок 1.6 – До розрахунку напрямних колонок

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

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.

$$P_k = \frac{P_z}{n}, \quad (1.7)$$

де n – число напрямних колонок

$$d_k = \sqrt[3]{\frac{M_z}{0,1[\sigma_z]}} = \sqrt[3]{\frac{P_k \cdot l_k}{0,1[\sigma_z]}}, \quad (1.8)$$

де M_z – максимальний згинаючий момент для консольної балки, навантаженою силою P_k ;

l_k – довжина колонки;

$[\sigma_z]$ – напруження згину, що допускається для матеріалу прямої колонки.

Зміщення верхньої частини штампу відносно його осі, викликану силою P_z при діаметрі d_k можна знайти із виразу:

$$f = \frac{P_z \cdot l_k^3}{3EI} = \frac{64 \cdot P_z \cdot l_k^3}{3 \cdot n \cdot E \cdot d_k^4} . \quad (1.9)$$

В роботі [37] 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_k не повинен бути менше переміщення в результаті вигину колонки, b_k тобто $a_k \geq b_k$.

$$d_k = 0,126 \sqrt{\frac{P_g \cdot H^3 \cdot K}{n \cdot z}} \quad (1.10)$$

де P_g – 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, в більшості випадків, по відомим методикам опору матеріалів як статично невизначені рами [38], але точність їх невисока із-за різного роду припущень і спрощень.

Висновки і постановка задач

Отже проведений аналіз дозволяє зробити наступні висновки:

– експлуатація твердосплавного штампного оснащення вимагає особливі вимоги до його конструкції, а саме: підвищенні вимоги до жорсткості штампних блоків, конструкції напрямних елементів, вибору оптимального технологічного зазору;

- на штампові блоки 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;

- штампові блоки, згідно діючих стандартів, вибирають по габаритам пакетів, без врахування їх горизонтальній жорсткості, що може бути причиною більшої їх металомісткості, особливо для твердосплавного оснащення;

- існуючі методики розрахунку блоків на жорсткість потребують подальшого вдосконалення. Крім того, в них не враховується жорсткість робочих деталей штамп.

На підставі викладеного вище, головним напрямком дослідження є зменшення металомісткості твердосплавного штампового оснащення при використанні компенсатора похибок системи "прес-штамп".

З цією метою необхідно вирішити наступні задачі:

- проаналізувати особливості проектування твердосплавного штампового оснащення;

- проаналізувати вплив похибок системи "прес-штамп" на жорсткість 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 стандартних штампових блоків під дією горизонтальної складової технологічного зусилля;

- провести моделювання впливу зовнішніх навантажень на деформацію різних типів штампових блоків;

- запропонувати конструкцію штампових блоків меншої металомісткості

– розробити принципові технічні рішення по зменшенню навантаження на напрямні вузли штампа, шляхом модернізації підсистеми «штамп – компенсатор похибок» системи "прес-штамп".

Розділ 2

МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Загальна методика

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

Для моделювання деформаційної картини стандартних штампових блоків під дією горизонтальної складової технологічного зусилля використовувався метод скінчених елементів [39], який реалізовувався з застосуванням розрахункового модулю САПР SolidWorks [40].

Методика моделювання передбачає:

- створення тривимірних твердотільних параметричних моделей стандартних штампових блоків з діагональним та заднім розташування напрямних вузлів з різним виконанням розташування напрямних втулок;
- визначення умов закріплення блоків;
- призначення умов навантаження штампових блоків;
- нанесення сітки скінчених елементів на тримірні моделі зібраних моделей блоків;
- розрахунок напруження текучості по Мізесу та горизонтального переміщення верхньої плити штампових блоків;
- створення звіту дослідження деформаційної картини блоків. Приклад звіту наведено в додатку А.

Для визначення реальної картини деформації штампових блоків під дією горизонтальної складової технологічного навантаження передбачається використання прямого методу вимірювання на основі звичайних вимірювальних приладів (індикатори годинникового типу, мікрометри, штангенциркулі та лінійки).

2.2. Експериментальне обладнання та оснащення

Експерименти проводилися в лабораторії прецизійного штампування кафедри обробки металів тиском та спецтехнологій ЦНТУ. У якості обладнання використовувався однокривошипний двохстояковий відкритий прес КД2126Е, основні технічні параметри якого наступні:

Номінальне зусилля преса, кН	400
Хід повзуна, мм.....	0-80
Частота ходів повзуна, хвил^{-1}	140
Закрита висота преса, мм.....	280
Розміри стола пресу, мм.....	400×600
Товщина підштампової плити, мм.....	80
Габаритні розміри, мм	6200 × 2000 × 2600
Маса, кг	5350

Для проведення експериментів був підготовлений штамп (рис. 2.2.) для вирубування круглої деталі на провал діаметром 20 мм з прецизійними напрямними кочення, розташованими по осі штампа Основні параметри штампа наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Основні параметри штампа для вирубування деталі

Тип штампа	Діаметр колонок, мм	Товщина верхньої плити, мм	Товщина нижньої плити, мм	Габарити в плані, мм	Закрита висота, мм
Вирубний	36	40	56	220 × 355	185

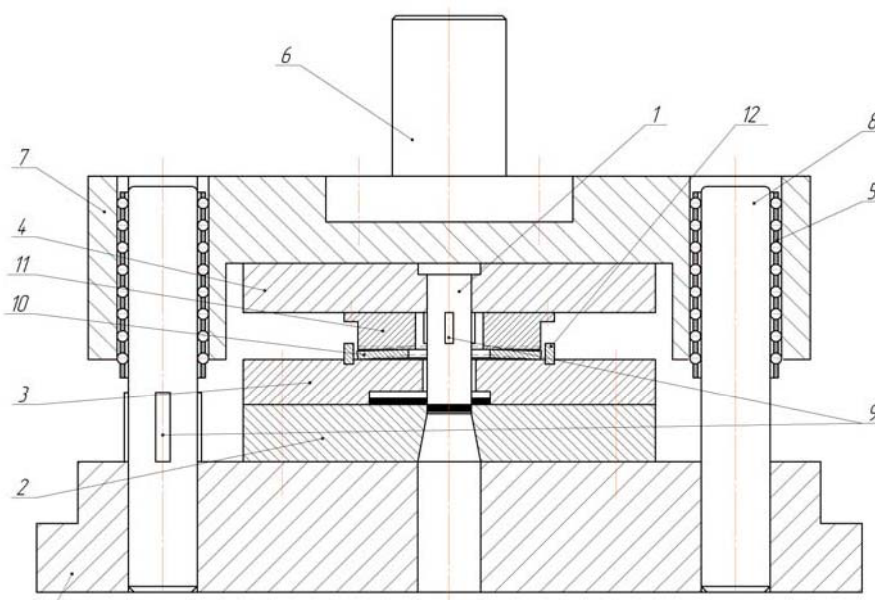


Рисунок 2.1. – Експериментальне оснащення: 1 – пуансон; 2– матриця; 3 – жорсткий знімач; 4 – пуансонотримач; 5 – сепаратор з кульками; 6 – хвостовик; 7 – плита верхня; 8 – колонка напрямна; 9 – тензодатчики; 10 – пружина тарільчата; 11 – плитка натискна; 12 – кільце фіксуюче; 13 – плита нижня

Штамп складається з верхньої 7 та нижньої 8 плит, пуансона 1 з пуансонотримачем 4, матриці 2 з жорстким знімачем 3, напрямних колонок 8 з сепараторами і кульками 5, хвостовика 6 та пристосування для попереднього навантаження, яке складається з фіксуючого кільця 12, зйомних плиток натискних різної налагодочної висоти 11, та тарільчатої пружини або набору пружин 10.

Пуансон 1 і матриця 2 зроблені зі сталі У10А. Твердість матриці 58...62 HRC_э а робочої частини пуансона 56...60 HRC_э. Діаметр робочого отвору матриці дорівнює 20.050 мм, а пуансона 19.687 мм. Двосторонній технологічний зазор складає 0.363 мм. У конструкції штампа передбачено наявність вільних поверхонь на колонках та пуансоні для наклеюванні тензодатчиків.

Для навантаження штампа статичним зусиллям при тарируванні використовувався гідронавантажувач із ручним приводом із максимальним зусиллям навантаження 20 кН.

Реєстрація параметрів проводилася наступними засобами вимірювання:

- перевірочні лінійки типів ШМ і ШД класів точності 0, 1, 2 по ГОСТ 8026-76;
- рівень з мікрометричною подачею ампули, ціна ділення 0,01/1000 мм по ГОСТ 11196-74;
- набір щупів в діапазоні 0,01-0,5 мм;
- індикатор цифровий з ціною ділення 0,001 мм;
- стійки індикаторні з магнітною основою;
- трикутник перевірочний 90 з широкою основою класу точності 0 по ГОСТ 3749-77;

Більш докладно методика описана у розділі 3.

Результати вимірювань оброблялись по методиці, наведеній нижче.

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

де

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

$\overline{E}_k, \overline{E}_n$ – 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 Стьюдента, для чого необхідно:

- а) обчислити середнє квадратичне відхилення S за формулами:

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

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:

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

де

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

t – критерій Стюдента.

Оброблені дані переносилися у електронну таблицю MS EXCEL і по ним були підібрані лінійні моделі з високою ступінню достовірності. По результатам показань будувались тарирувальні графіки (див. розділ 3).

2.3. Техніка безпеки при проведенні експериментальних робіт

2.3.1 Робота на пресі

Категорично забороняється:

- чищення, регулювання, встановлення штампів, виправлення положення заготовок, дрібний ремонт преса при маховику, що обертається;
- змащення індивідуальних точок при поданій напрузі;
- перебувати на майданчику обслуговування при не загальмованому маховику;
- доведення або ремонт штампів на пресі без застосування блоку безпеки;
- роботи на пресі включенням від педалі при знятій огорожі штампового простору.
- будь-які роботи, пов'язані з частковим розбиранням, підтяжкою деталей кріплення муфти, гальма врівноважувачів, гальма маховика, пневмоподушки та елементів пневмосистеми, повинні проводитися при

відключених від цехової мережі, магістралях повітрепроводу та відкритих вентилях спуску повітря (конденсату) у повітря;

- при регулюванні муфти та гальма слідкувати за забезпеченням рівномірної роботи кріпильних елементів.

- для захисту органів слуху від шуму слід застосовувати засоби індивідуального захисту згідно з ГОСТ 12.4.051-87;

- для захисту органів використовувати захисні окуляри.

2.3.1 Робота з компенсатором

При роботі з компенсатором похибок системи «прес-штамп» необхідно додержуватись наступних правил:

- перш ніж встановити компенсатор та штамп на прес, наладчик повинен вивчити пристрій компенсатора та правила його експлуатації та повинен бути ознайомлений із правилами техніки безпеки та промислової санітарії, що діють на підприємствах та в організаціях, у тому числі:

- із загальними вимогами безпеки за ГОСТ 12.2.017-76;

- з вимогами безпеки згідно з ГОСТ 12.3.026-81.

Перед початком роботи необхідно:

- оглянути компенсатор, переконатися у відсутності сторонніх предметів у зазорах між рухомими та нерухомими частинами компенсатора;

- переконатися у відсутності зовнішніх пошкоджень на компенсаторі та перевірити надійність кріплення компенсатора до столу преса та штампа до компенсатора та до повзуна;

- налагоджувальні роботи здійснювати лише при повній зупинці повзуна преса та відключеному електроживленні;

- вихід колонок із втулок штампу у крайньому верхньому положенні повзуна під час роботи з компенсатором не допускається.

- забороняється при складанні компенсатора перевертати його для загвинчування гайки, щоб уникнути випадання кульок у зазор між корпусом і верхньою плитою або попадання туди сторонніх предметів.

Розділ 3

ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЖОРСТКОСТІ СТАНДАРТНИХ ШТАМПОВИХ БЛОКІВ

3.1 Методика математичного моделювання жорсткості стандартних штампових блоків

З метою зменшення металомісткості стандартних штампових блоків, які встановлюють на відкритий кривошипний прес КД2126Е при технологічному зусиллі, близькому до номінального (400 кН) на основі апріорної інформації були прийняті відповідні їх типи, комбінації елементів та умови навантаження. Власне, це можна звести до чотирьох основних факторів:

- блоки з діагональним та заднім розташуванням напрямних вузлів, (X_1);
- з верхнім та зустрічним розташуванням колонок та втулок, (X_2);
- з різною площею поперечного перерізу пуансона, (X_3);
- з горизонтальною складовою від технологічного навантаження, яка коливалась від максимальної до її половини, (X_4).

Усі вибрані фактори задовольняють умовам керованості, операціональності та однозначності.

Інші параметри процесу були зафіксовані на таких постійних рівнях:

- закрита висота блоку, $H = 190$ мм;
- діаметр напрямних колонок, $d = 32, 28$ мм;
- робочий розмір пакету, $A \times B = 125 \times 125$ мм.

За залежні змінні (функції відгуку) були прийняті: максимальне переміщення верхньої плити блоку, мкм – y_1 та максимальне напруження по Мізесу, МПа – y_2 .

3.2 Побудова матриці планування експерименту

Повний факторний експеримент для чотирьох факторів (k) і двох рівнів повинний включати в себе таку кількість дослідів:

$$N = 2^k = 2^4 = 16 \quad (3.1)$$

Тобто для проведення дослідів потрібно приготувати або фізичних 16 варіантів штампових блоків з пакетами, або (у випадку комп'ютерного віртуального моделювання) 16 тривимірних твердотільних моделей, що значно збільшить часові та матеріальні ресурси дослідження.

Тому було прийняте рішення обмежитись побудовою дробового факторного плану виду 2^{k-p} :

$$N = 2^{k-p} = 2^{4-1} = 8 \quad (3.2)$$

де $p = 1$

Для побудови дробового факторного плану з множини факторів k (в нашому випадку $k = 4$) відбирають $k - p$ основних факторів для яких будується повний факторний план. Цей план потім заповнюють p стовпцями (в нашому випадку один стовпець), який відповідає фактору, що залишився. Цей стовпець утворюється як результат поелементного перемноження не менше двох і не більше $k - p$ певних стовпців, які відповідають основним факторам. Спосіб утворення кожного з p стовпців дробного факторного плану задається генератором плану.

Значення факторів на верхньому і нижньому рівнях та функції відгуку наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Значення факторів на верхньому і нижньому рівнях та функції відгуку

Фактори	Тип блоку X_1	Площа перерізу пуансона мм^2 X_2	Горизонтальна складова навантаження, Н X_3	Розташування втулок X_4	Залежна змінна	
Верхній рівень ($x_i = +1$)	Заднє	4416	10000	Зустрічне	Максимальне переміщення верхньої плити блока, δ_n мкм y_1	Максимальні напруження в блоці по Мізесу σ_{max} , МПа y_2
Нижній рівень ($x_i = -1$)	Діагональне	2208	5000	Вгорі		

Надалі побудова плану експерименту та його аналіз виконувався у пакеті прикладних програм STATISTICA [41].

У меню «Планування експерименту» вибираємо команду «Стандартні плани (Бокса, Хантера)» і далі «Стандартні дворівневі плани». Задаємо число факторів – 4. Програма виведе можливі варіанти як повних планів, так і з дробною реплікою. Вибираємо варіант 4/1/8. Тут перша цифра позначає кількість факторів, друга – кількість блоків (серій дослідів), третя – число дослідів. Після фіксації вибору з'являється діалог *План експеримента з дворівневими факторами*. Задаємо порядок проведення дослідів *Стандартний*. Після активації кнопки *Відобразити план* з'явиться дробовий факторний план експерименту (рис. 3.1.)

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

Рисунок 3.1 – Дробовий факторний план експерименту (фрагмент робочого вікна ПП STATISTICA)

Для зручності задаємо імена факторів та імена верхнього і нижнього рівней у текстовому форматі. Додаємо до плану стовпці для введення результатів дослідів (функції відгуку). Для отримання результатів створюємо твердотільні моделі стандартних штампових блоків в САПР SolidWorks.

Вводимо результати експерименту, які отримані після моделювання напружено-деформованого стану стандартних штампових блоків методом кінцевих елементів у САПР SolidWorks (див. п.п. 3.3). Після редагування таблиці плану експерименту план прийме вигляд, наведений на рисунку 3.2.

Планир. план	План: 2**(4-1) план (Таблица данных1)					
	Тип блоку	Площа перерізу пуансона, мм2	Горизонтальна складова зусилля, Н	Розташування напрямних втулок	Максима льне переміщ	Максим альне напруж
1	Діагональне	2208	5000	Вгорі	57	47,4
2	Задне	2208	5000	Зустрічне	11	25,6
3	Діагональне	4216	5000	Зустрічне	25	38,7
4	Задне	4216	5000	Вгорі	8	19,8
5	Діагональне	2208	10000	Зустрічне	120	99,3
6	Задне	2208	10000	Вгорі	22	37,9
7	Діагональне	4216	10000	Вгорі	50	77,6
8	Задне	4216	10000	Зустрічне	18	40,2

Рисунок 3.2 – Дробовий факторний план експерименту у текстовому форматі (фрагмент робочого вікна ПП STATISTICA)

3.3. Побудова твердотільних моделей стандартних штампових блоків та проведення досліджень їх напружено-деформованого стану методом кінцевих елементів

В першому розділі роботи було встановлено, що жорсткість штампових блоків, а отже і їх металомісткість, в значній мірі залежить від їх типу, конструкції, розмірів та розташуванню напрямних вузлів, горизонтальної складової технологічного зусилля. Дещо невизначеним залишається вплив жорсткості пуансона пакету штампа. Але інформації про те, як саме комбінація перерахованих факторів для найбільш поширених типів стандартних штампових блоків впливає на їх жорсткість, вкрай недостатньо. 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 скінчених елементів.

Метод скінчених елементів (МСЕ) є одним із найбільш поширених чисельних методів розрахунку конструкцій» [42]. Популярність його пояснюється успішним поєднанням порівняно простого алгоритму з можливістю застосування його до розрахунку систем довільної складності. Суттєвою перевагою методу є ефективність програмного забезпечення,

створеного на алгоритмах МСЕ. Ідея методу скінченних елементів полягає в тому, що область, в якій шукається рішення диференціальних рівнянь, розбивається на кінцеву кількість підобластей (елементів). Вибирається вид апроксимуючої функції. У найпростішому випадку це поліном першого ступеня. Поза своїм елементом апроксимуюча функція дорівнює нулю. Коефіцієнти апроксимуючих функцій зазвичай шукаються з умов рівності значення сусідніх функцій на кордонах між елементами і виражаються через значення функцій у вузлах. Складається система лінійних алгебраїчних рівнянь, кількість яких дорівнює кількості вузлів.

В даній роботі в якості інструменту реалізації метода кінцевих елементів використовувалася САПР SolidWorks [40].

Основною задачею моделювання в даній роботі було встановлення впливу конструктивних особливостей стандартних штампових блоків, робочих деталей пакету та зовнішніх складових технологічного навантаження, на максимальне переміщення верхньої плити та максимальні напруження по Мізесу в умовах наближених до номінального зусилля відкритого кривошипного пресу КД2126Е.

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

- згідно попередньо розробленого плану експерименту (див. рис. 3.2) були розроблені тривимірні моделі складових стандартних пакетів штампових блоків двох типів та експериментального пакету спрощеної конструкції в САПР SolidWorks (рис. 3.3), з яких відповідними інструментами складалася збірка (рис. 3.4);

- з створених деталей були зібрані 8 варіантів твердотільних параметричних зборок штампових блоків, які підлягали аналізу МСЕ в модулі Simulator з призначенням матеріалів елементам штампа з бібліотеки матеріалів SolidWorks. Були зроблені деякі спрощення, а саме: з конструкції напрямних вузлів були вилучені різні проточки та канавки для змащення та всі кріпильні елементи (болти, гвинти); горизонтальна складова зусилля прикладалася до

поверхні перетину хвостовика, яка майже співпадала з поверхньою верхньої плити, яка контактує з повзуном преса (з метою виключення деформації самого хвостовика).

- для кожної зборки був вибраний статичний вид досліджень. Обчислення запасу міцності базується на критерії руйнування. Програма пропонує 4 критерії руйнування. Статичні дослідження дозволяють уникнути руйнування, викликаного високою напругою. Критерії руйнування оцінюються коефіцієнтом запасу міцності. Якщо його величина менше одиниці, це означає руйнування матеріалу і, навпаки, якщо він більше, то є резерви по оптимізації конструкції.

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 накладаються в умови квазистатики. Таке припущення дозволяє знехтувати внутрішніми силами і силами демпфірування через малі прискорення і швидкості. Також було прийнято допущення лінійності, якщо всі матеріали в моделі підкоряються закону Гука, відповідно до якого напруга прямо пропорційно деформації; 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 блока з пакетом (фіксація нижньої поверхні нижньої плити блока) (рис. 3.5.);

- до верхньої плити стандартного штампового блоку прикладалось зовнішнє навантаження (горизонтальна складова технологічного зусилля) перпендикулярно фронту преса у напрямку спереду-назад (рис. 3.6.);

- створювалася сітка для моделі зборки. Програма автоматично створює такі сітки;

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

– надалі відбувався запуск обчислювального процесу з наступним формуванням результатів.

Для даного статичного дослідження доцільним було формування двох результатів: епюри максимальних напружень по Мізесу та епюри максимальних переміщень верхньої плити блока.

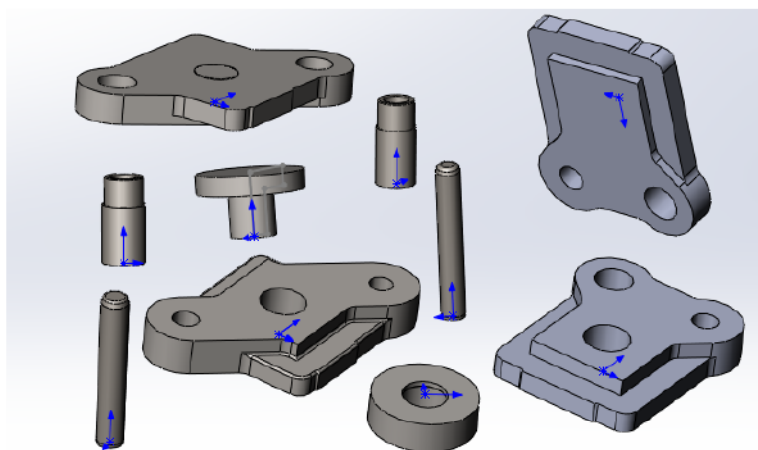


Рисунок 3.3 – Твердотільні параметричні моделі деталей штампових блоків та пакетів

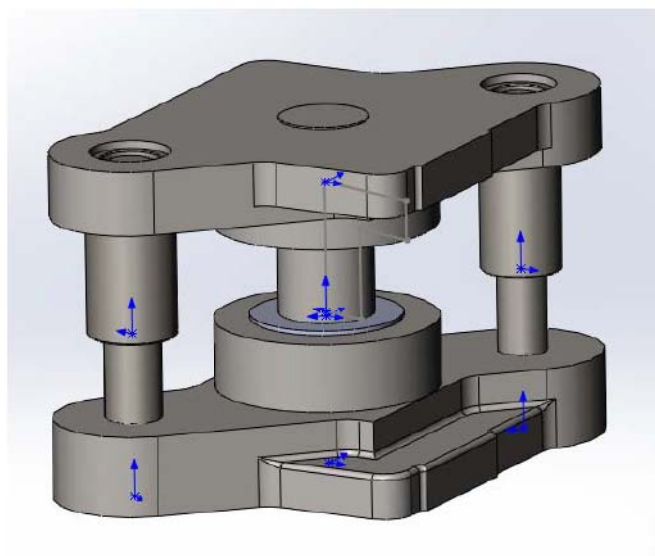
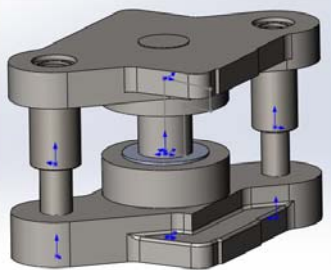
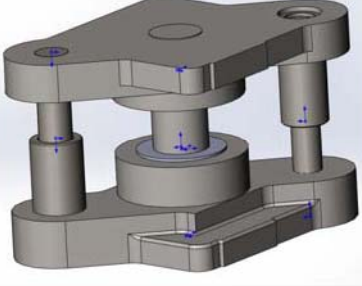
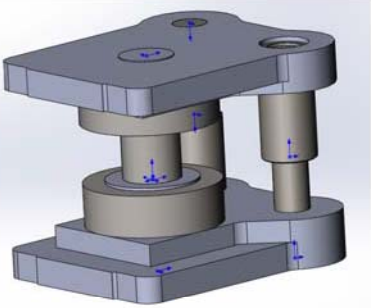
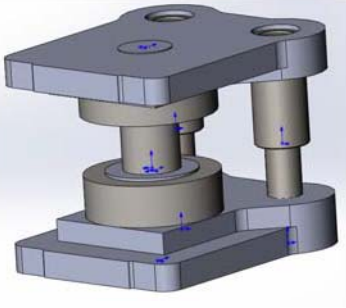
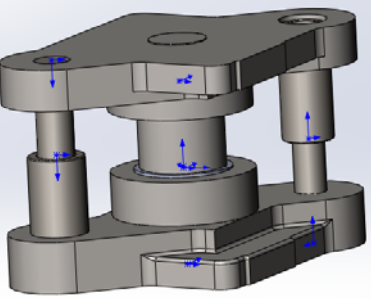
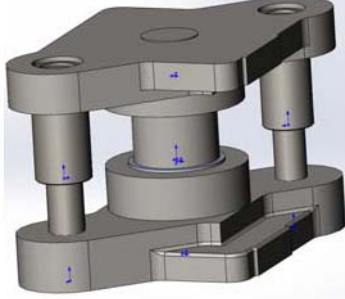
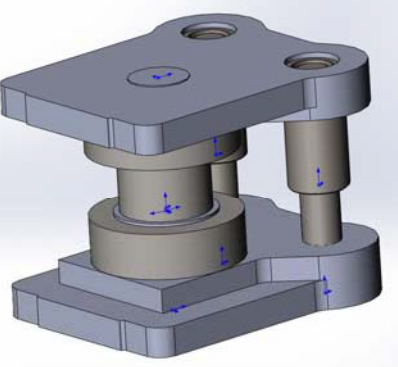
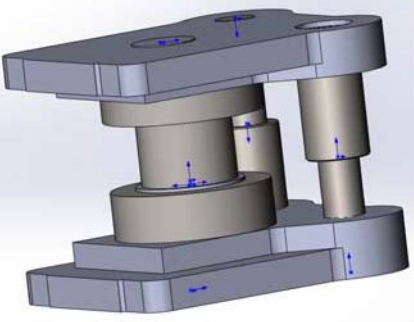


Рисунок 3.4 –Тривимірна модель збірки штампового блоку з діагональним розташуванням напрямних вузлів

Таблиця 3.2 – Варіанти збірки штампового блоку згідно номеру досліду

№ досліду по плану	Варіант зборки блока	№ досліду по плану	Варіант зборки блока
1.		5.	
2.		6.	
3.		7.	
4.		8.	

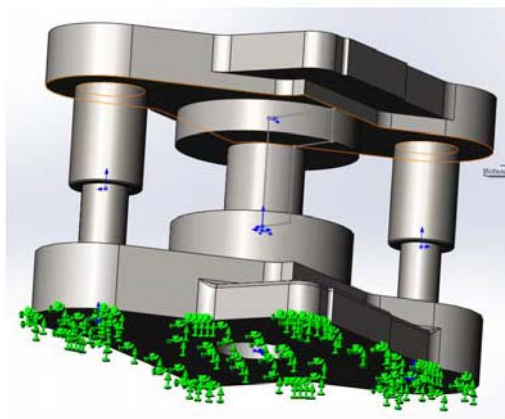


Рисунок 3.5 – Кріплення нижньої плити стандартного штампового блоку в розрахунковому модулі Simulator CAEP SolidWorks

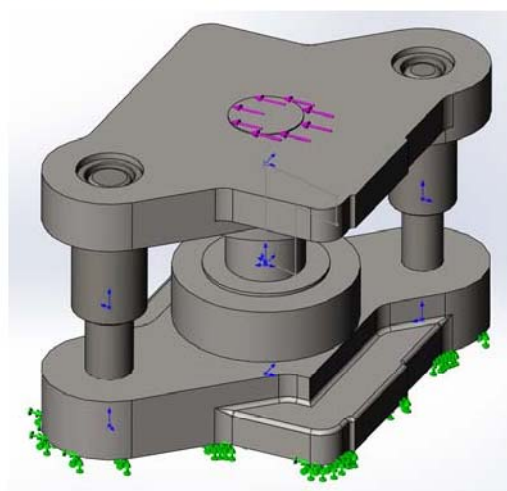


Рисунок 3.6 – Накладення навантаження на модель збірки штампового блоку

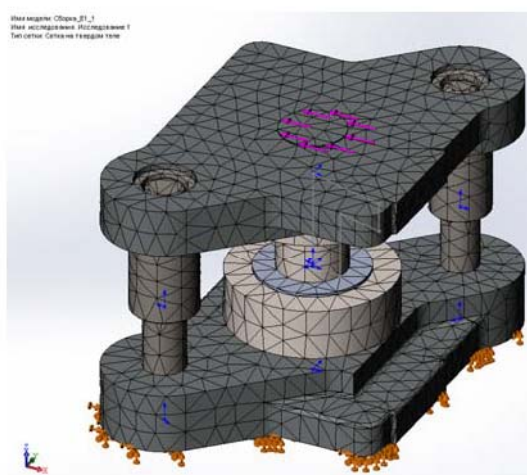


Рисунок 3.7 – Нанесення сітки на модель збірки штампового блоку в розрахунковому модулі Simulator CAEP SolidWorks

Крім отримання візуальної картини розподілу напружень та переміщень виконувалося перевіряюче зондування блоку в найбільш проблемних місцях. Зондування дозволяє отримати числові значення поля в певному місці розташування. За допомогою зонда можна переглянути числові 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 досліду 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.

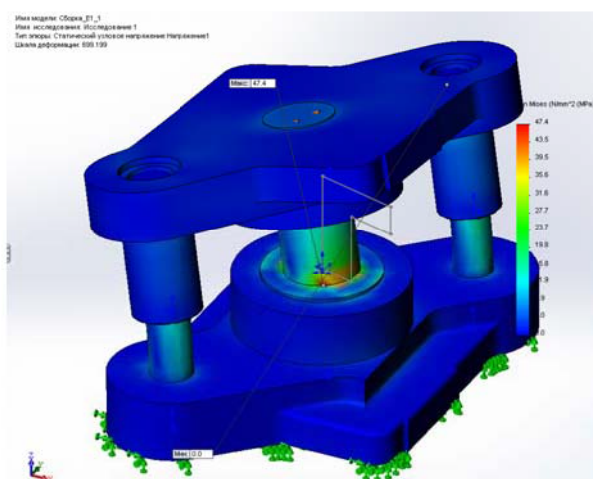


Рисунок 3.8 – Візуалізація епюри напружень стандартного штампового блоку

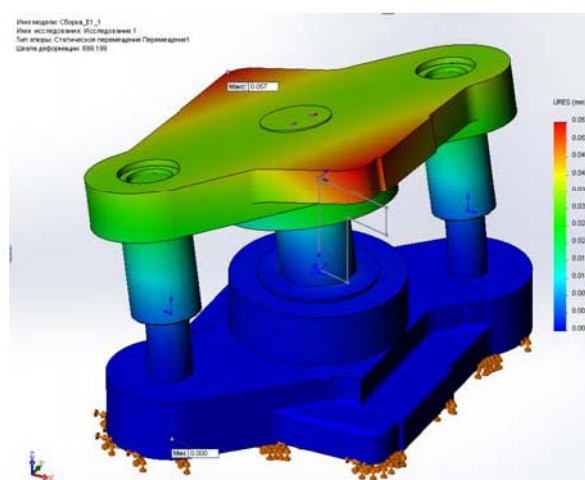
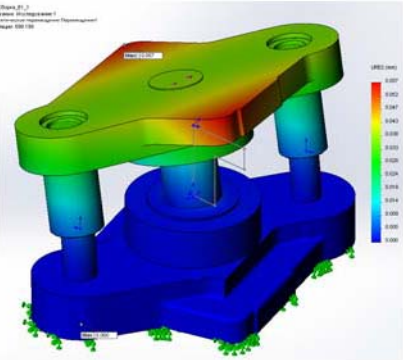
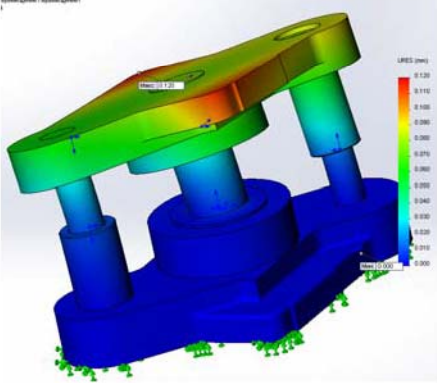
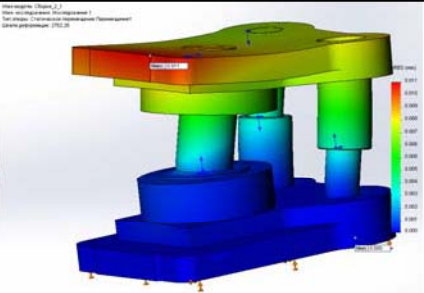
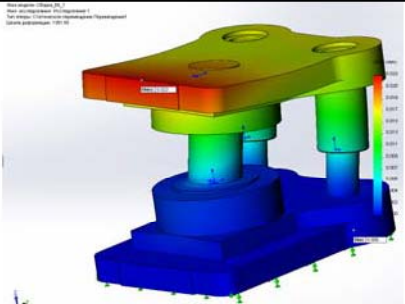
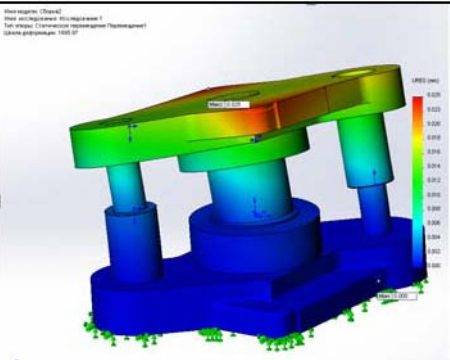
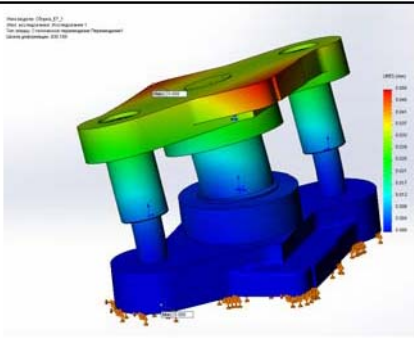
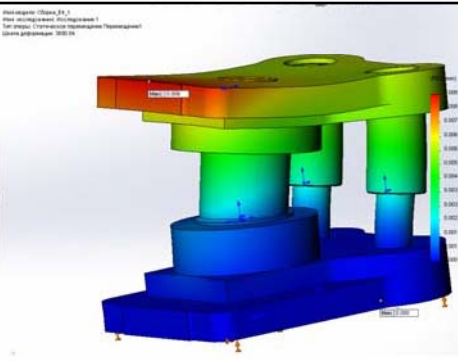
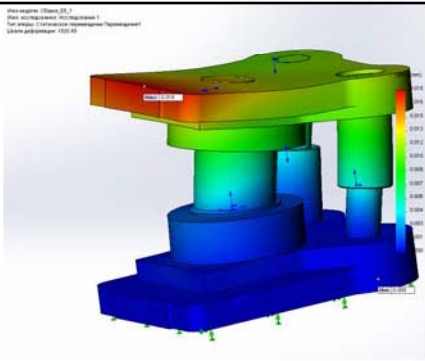
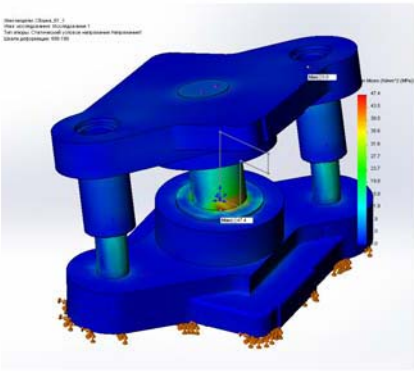
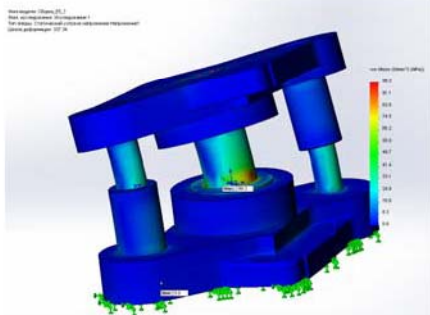
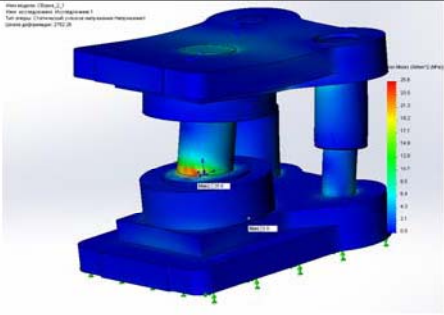
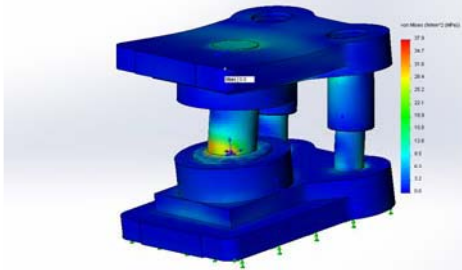
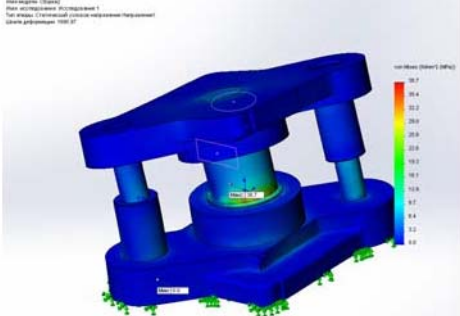
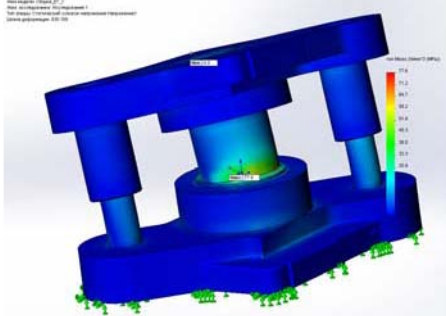
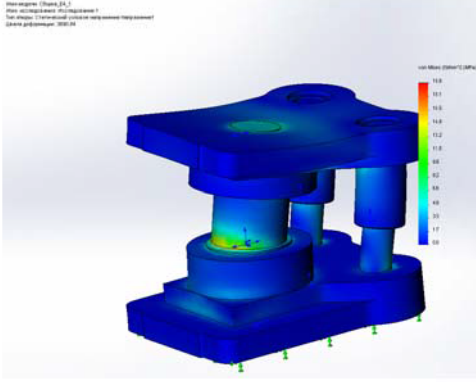
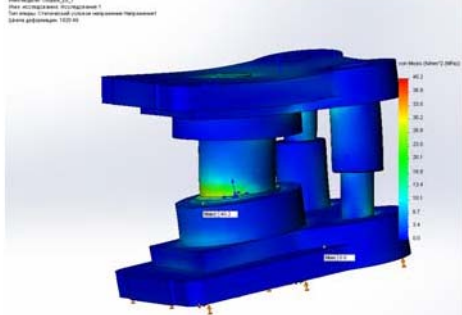


Рисунок 3.9 – Візуалізація епюри переміщень верхньої плити штампового блоку під дією горизонтальної складової технологічного зусилля

Таблиця 3.3 – Візуалізація максимального переміщення верхньої плити стандартного штампового блоку згідно номеру дослідів

№ дослідів по плану	Варіант зборки блоку	№ дослідів по плану	Варіант зборки блоку
1.		5.	
2.		6.	
3.		7.	
4.		8.	

Таблиця 3.4 – Візуалізація максимального напруження по Мізесу стандартного штампового блоку згідно номеру дослідів

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

3.4. Аналіз результатів дослідження напружено-деформованого стану штампових блоків

Для аналізу плану в ППП STATISTICA через діалог *Стандартні двухрівневі плани* переходимо на вкладення *Аналіз плану*. Вибираємо залежну і незалежні змінні. Після фіксації результатів вибору переходимо у вікно Аналізу експеримента з двохрівневими факторами.

На вкладці *Модель* задаємо вид математичної моделі з врахуванням взаємодії другого порядку, виду:

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_4x_4 + a_{12}x_1x_2 + a_{13}x_1x_3 + a_{14}x_1x_4 + a_{23}x_2x_3 + a_{24}x_2x_4 + a_{34}x_3x_4 \quad (3.5)$$

Переходимо на вкладку *План* і вмикаємо *Кореляцію факторів*. З'являється таблиця зі значеннями коефіцієнтів кореляції факторів і залежної змінної. (рис.3.10).

Кореляції факторів і перемінних (План: 2 ⁴ (4-1) план (Таблиця даних1) в Робочий_13_31_2010.stw) 2 ⁴ (4-1) план															
Фактор	(1) Тип блоку	(2) Площа перерізу пуансона, мм2	(3) Горизонтальна складова зусилля, Н	(4) Розташування напрямних втулок	1 на 2	1 на 3	1 на 4	2 на 3	2 на 4	3 на 4	Максимально переміщення верхньої плити, мкм				
(1)Тип блоку	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,69				
(2)Площа перерізу пуансона, мм2	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,39				
(3)Горизонтальна складова зусилля, Н	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,39				
(4)Розташування напрямних втулок	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,13				
1 на 2	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,34				
1 на 3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	-0,24				
1 на 4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	-0,14				
2 на 3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00	-0,14				
2 на 4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,00	-0,24				
3 на 4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,34				
Максимальне переміщення верхньої плити, мкм	-0,69	-0,39	0,39	0,13	0,34	-0,24	-0,14	-0,14	-0,24	0,34	1,00				

Рисунок 3.10 — Коефіцієнти кореляції факторів і залежної змінної
(фрагмент робочого вікна ППП STATISTICA)

З останнього стовпчика таблиці видно, що найбільша кореляція у залежної змінної *Максимальне переміщення верхньої плити* з фактором *Тип блоку*, залежність помірна, але близька до сильної [4]. З факторами *Площа перерізу пуансона*, *Горизонтальна складова зусилля* та взаємодії факторів *1 на 2* та *3 на 4* залежність помірна, з взаємодіями факторів *1 на 3* та *2 на 4* залежність помірна, але близька до слабкої, а з фактором *Розташування напрямних втулок* залежність слабка. З даних таблиці можна зробити висновок, що найбільш сильний вплив на *Максимальне переміщення верхньої плити* надає фактор *Тип*

блоку, далі – фактори *Площа перерізу пуансона* і *Горизонтальна складова зусилля* з однаковою по силі дією. Фактор *Розташування напрямних втулок* незначно впливає на переміщення плити. Слабкими по впливу також можна вважати взаємодії факторів *1 на 3* та *2 на 4*. Знак (–) перед коефіцієнтами кореляції з факторами *Тип блоку*, та *Площа перерізу пуансона* означає, що при переході у факторів від нижнього рівня до верхнього переміщення верхньої плити зменшується, а отже і жорсткість блоку зростає. Знак (+) перед коефіцієнтом кореляції фактора *Горизонтальна складова зусилля* означає, що при переході у фактора від нижнього до верхнього рівня переміщення верхньої плити збільшується. Отримані висновки збігаються з логікою поведінки штампового блоку в умовах дії горизонтальної складової технологічного зусилля.

З метою перевірки достовірності отриманих висновків звернемося до результатів дисперсійного аналізу. Для цього переходимо на вкладку *Дисперсійний аналіз/Ефекти*. При першій спробі виконати аналіз програма запропонувала зменшити кількість взаємодій факторів, які є несуттєві. На основі результатів кореляційного аналізу було прийнято рішення вилючити з обрахунку фактор *Розташування напрямних втулок* та залишити лише дві взаємодії *1 на 2* та *1 на 3*.

При повторному запуску дисперсійного аналізу була отримана таблиця результатів, яка наведена на рисунку 3.11.

Дисперсионный анализ; Прм.:Максимальное 2**(4-1) план; Остаточн.SS=180,625 ЗП Максимальное перемещение верхньої пл					
Фактор	SS	сс	MS	F	p
(1)Тип блоку	4656,125	1	4656,125	25,77785	0,036672
(2)Площа перерізу пуансона, мм2	1485,125	1	1485,125	8,22215	0,103146
(3)Горизонтальна складова зусилля, Н	1485,125	1	1485,125	8,22215	0,103146
1 на 2	1128,125	1	1128,125	6,24567	0,129685
1 на 3	561,125	1	561,125	3,10657	0,220033
Ошибка	361,250	2	180,625		
Общая SS	9676,875	7			

Рисунок 3.11 – Таблица результатів дисперсійного аналізу
максимального переміщення верхньої плити: R-кв.=0,96267; (фрагмент
робочого вікна ПП STATISTICA)

З таблиці випливає, що найбільшу мінливість (близько 50%) залежної змінної *Максимальне переміщення верхньої плити*, яка характеризується статистикою SS, пояснює фактор *Тип блоку*, потім йдуть фактори *Площа перерізу пуансона* і *Горизонтальна складова зусилля*, кожний з яких характеризує приблизно 15% мінливості, та трохи менше взаємодія факторів *1 на 2* – близько 12%. Мінливість, яка пояснюється взаємодією факторів *1 на 3* наближається до 6%. Якщо звернемо увагу на рівень значущості (p) Фішера (F) менше 0,05 для першого фактора *Тип блоку*, то можна зробити висновок, що перший фактор абсолютно достовірно впливає на залежну змінну, другий та третій фактор майже достовірно, а взаємодія факторів *1 на 3* менш достовірно. Як бачимо, дисперсійний аналіз підтвердив результати кореляційного аналізу.

Подивимось на те, як фактори кількісно впливають на залежну змінну *Максимальне переміщення верхньої плити*. Для цього скористуємося опцією *Оцінка ефектів*.

Більш повну інформацію про регресійні коефіцієнти можна отримати через опцію *Регресійні коефіцієнти*.

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

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_{12}x_1x_2 + a_{13}x_1x_3, \quad (3.6)$$

де a_i ($i = 1, 2, 3$) – коефіцієнти рівняння регресії;

x_1, x_2, x_3 – це відповідно фактори *Тип блоку*, *Площа перерізу пуансона*, *Горизонтальна складова зусилля*. Таблиця регресійних коефіцієнтів наведена на рисунку 3.12.

Фактор	Регрессия; R-кв.=,96267; Скор.,86934 (План: 2**(4-1) план (Табл 2**(4-1) план; Остаточн.SS=180,625 ЗП Максимальне переміщення верхньої плити, мкм					
	Регрес. Коэф.	Ст.Ош.	t(2)	p	-95,% Дов.Пред	+95,% Дов.Пред
Сред/Св.член	38,8750	4,751644	8,18138	0,014613	18,4303	59,31968
(1)Тип блоку	-24,1250	4,751644	-5,07719	0,036672	-44,5697	-3,68032
(2)Площа перерізу пуансона, мм2	-13,6250	4,751644	-2,86743	0,103146	-34,0697	6,81968
(3)Горизонтальна складова зусилля, Н	13,6250	4,751644	2,86743	0,103146	-6,8197	34,06968
1 на 2	11,8750	4,751644	2,49913	0,129685	-8,5697	32,31968
1 на 3	-8,3750	4,751644	-1,76255	0,220033	-28,8197	12,06968

Рисунок 3.12 – Таблиця регресійних коефіцієнтів до рівняння максимального переміщення верхньої плити: R-кв.=0,96267; (фрагмент робочого вікна ПП STATISTICA)

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 ($\approx 0,96$).

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

Переміщення верхньої плити = 38,875 – 24,125*Тип блоку* – 13,625*Площа перерізу пуансона* + 13,625*Горизонтальна складова зусилля* + 11,875*Тип блоку* × *Площа перерізу пуансона* – 8,375 *Тип блоку* × *Горизонтальна складова зусилля*

Для перевірки підставимо значення факторів для другої строчки плану:

Переміщення верхньої плити = 38,875 – 24,125 × (1) – 13,625 × (–1) + 13,625 (–1) + 11,875 × (1) × (–1) – 8,375 × (1) × (–1) = 11,25 мм.

Результати перевірки співпали.

Отже, по даному регресійному рівнянню можна обчислювати значення переміщення верхньої плити 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.3.12) з вихідними значеннями залежної змінної і порахованими програмою по рівнянню регресії для усіх експериментів з плану.

Наблюд. план	Наблюдаемые, предсказанные значения 2**(4-1) план; Остаточн. SS=180, 3П Максимальне переміщення		
	Наблюдае	Предск.	Остатки
1	57,0000	66,5000	-9,50000
2	11,0000	11,2500	-0,25000
3	25,0000	15,5000	9,50000
4	8,0000	7,7500	0,25000
5	120,0000	110,5000	9,50000
6	22,0000	21,7500	0,25000
7	50,0000	59,5000	-9,50000
8	18,0000	18,2500	-0,25000

Рисунок 3.12 — Таблиця даних, що передбачені та спостерігаються по максимальному переміщенню верхньої плити (фрагмент робочого вікна ПП STATISTICA)

З таблиці видно, що передбачувані програмою значення достатньо близькі 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. 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. 3.13) 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.

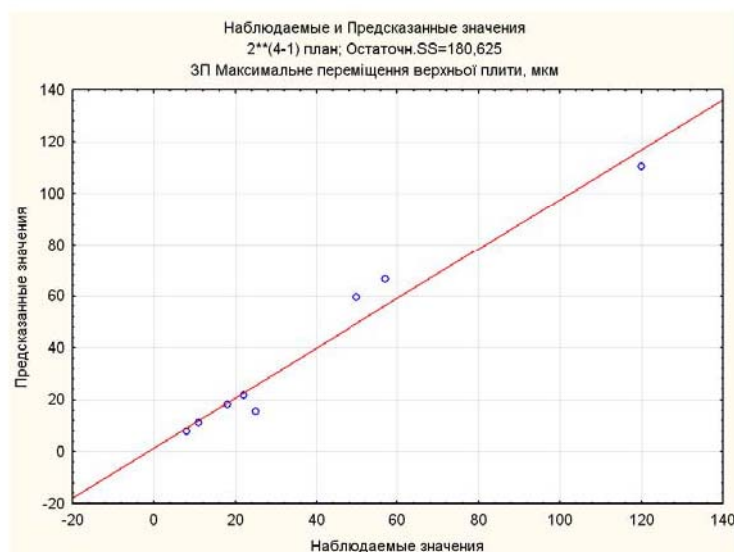


Рисунок 3.13 – Імовірнісний графік залишків (фрагмент робочого вікна ППП STATISTICA)

На завершення аналізу побудуємо діаграму Парето (рис. 3.14). 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 судити про ступінь впливу факторів на залежну змінну.



Рисунок 3.14 – Діаграма Парето (фрагмент робочого вікна ППП STATISTICA)

Аналогічним чином проведемо аналіз іншої залежної змінної – максимальне напруження по Мізесу, дані по якій також були внесені в план експерименту (див. рис. 3.2).

Переходимо на вкладку *План* і вмикаємо *Кореляцію факторів*. З'являється таблиця зі значеннями коефіцієнтів кореляції факторів і залежної змінної (рис.3.15).

Корреляции факторов и переменных (План 2**(4-1) план (Таблица данных1) в Рабочей_13_21_2019.stw)											
Фактор	(1) Тип блоку	(2) Площа перерізу пуансона, мм2	(3) Горизонтальна складова зусилля, Н	(4) Розташування напрямних втулок	1 на 2	1 на 3	1 на 4	2 на 3	2 на 4	3 на 4	Максимально напруження по Мізесу, МПа
(1)Тип блоку	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,69
(2)Площа перерізу пуансона, мм2	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,17
(3)Горизонтальна складова зусилля, Н	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,61
(4)Розташування напрямних втулок	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10
1 на 2	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,13
1 на 3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	-0,29
1 на 4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	-0,02
2 на 3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	-0,02
2 на 4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,00	-0,29
3 на 4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,13
Максимальне напруження по Мізесу, МПа	-0,69	0,17	0,61	0,10	0,13	-0,29	-0,02	-0,02	-0,29	0,13	1,00

Рисунок 3.15 – Коефіцієнти кореляції факторів і залежної змінної максимальне напруження по Мізесу (фрагмент робочого вікна ПП STATISTICA)

З останнього стовпчика таблиці видно, що найбільша кореляція у залежної змінної *Максимальне напруження по Мізесу* з факторами *Тип блоку* та *Горизонтальна складова зусилля*, залежність помірна, але близька до сильної [4]. З факторами *Площа перерізу пуансона*, *Розташування напрямних втулок* та взаємодії факторів *1 на 2*, *1 на 3*, *2 на 4*, *3 на 4* залежність помірна, але близька до слабкої, а з взаємодіями *1 на 4* та *2 на 3*, залежність слабка. З даних таблиці можна зробити висновок, що найбільш сильний вплив на *Максимальне переміщення верхньої плити* надає фактор *Тип блоку*, далі – фактор *Горизонтальна складова зусилля* майже з однаковою по силі дією. Фактори *Площа перерізу пуансона* та *Розташування напрямних втулок* незначно впливають на максимальне напруження. Слабкими по впливу також можна вважати взаємодії факторів *1 на 2*, *1 на 3*, *2 на 4* та *3 на 4*. Взаємодії факторів *1 на 4* та *2 на 3* дуже слабкі. Знак (–) перед коефіцієнтами кореляції з факторами *Тип блоку*, та *Площа перерізу пуансона* означає, що при переході у факторів від

нижнього рівня до верхнього максимальне напруження зменшується, а отже і жорсткість блоку зростає. Знак (+) перед коефіцієнтом кореляції фактора *Горизонтальна складова зусилля* означає, що при переході у фактора від нижнього до верхнього рівня максимальні напруження по Мізесу збільшується. Отримані висновки також збігаються з логікою поведінки штампового блока в умовах дії горизонтальної складової технологічного зусилля.

З метою перевірки достовірності отриманих висновків звернемося до результатів дисперсійного аналізу. Для цього переходимо на вкладку *Дисперсійний аналіз/Ефекти*. При першій спробі виконати аналіз програма запропонувала зменшити кількість взаємодій факторів, які є несуттєві. На основі результатів кореляційного аналізу було прийнято рішення вилучити з обрахунку фактор *Розташування напрямних втулок* та залишити лише дві взаємодії *1 на 2* та *2 на 4*.

При повторному запуску дисперсійного аналізу була отримана таблиця результатів, яка наведена на рисунку 3.16.

Фактор	Дисперсионный анализ; Прм.:Максимальне 2**(4-1) план; Остаточн.SS=29,32625 ЗП Максимальне напруження по Мізесу, М				
	SS	сс	MS	F	p
(1)Тип блоку	2432,531	1	2432,531	82,94723	0,011842
(2)Площа перерізу пуансона, мм2	143,651	1	143,651	4,89838	0,157339
(3)Горизонтальна складова зусилля, Н	1906,531	1	1906,531	65,01108	0,015036
1 на 2	90,451	1	90,451	3,08431	0,221134
2 на 4	421,951	1	421,951	14,38818	0,063004
Ошибка	58,652	2	29,326		
Общая SS	5053,769	7			

Рисунок 3.16 – Таблиця результатів дисперсійного аналізу максимального напруження по Мізесу: R-кв.=0,988; (фрагмент робочого вікна ПП STATISTICA)

З таблиці випливає, що найбільшу мінливість (близько 50%) залежної змінної *Максимальні напруження по Мізесу*, яка характеризується статистикою SS, пояснює фактор *Тип блоку*, потім йдуть фактори *Горизонтальна складова зусилля*, приблизно 38% мінливості, взаємодія факторів *2 на 4* близько 8%,

Площа перерізу пуансона приблизно 3%. Мінливість, яка пояснюється взаємодією факторів 1 на 2 наближається до 2%. Якщо звернемо увагу на рівень значущості (p) Фішера (F) менше 0,05 для першого фактора *Тип блоку* та третього фактору *Горизонтальна складова зусилля*, то можна зробити висновок, що перший і третій фактор абсолютно достовірно впливає на залежну змінну, другий фактор *Площа перерізу пуансона* та взаємодія факторів 2 на 4 майже достовірно.. Як бачимо, дисперсійний аналіз підтвердив результати кореляційного аналізу.

Можна також подивитися на те як фактори кількісно впливають на *Максимальні напруження по Мізесу*. Для цього скористуємося опцією *Оцінка ефектів*. Отримаємо нову таблицю наведену на рисунку 3.17.

Оценки эффектов; R-кв.=,98839;Скор.,95938 (План: 2**(4-1) план (Таблица данных1) в Рабочая_13_21_2013; 2**(4-1) план; Остаточн.SS=29,32625 3П Максимальное напруження по Мізесу, МПа										
Фактор	Эффект	Ст.Ош.	t(2)	p	-95,% Дов.Пред	+95,% Дов.Пред	Коеф.	Ст.Ош. Коеф.	-95,% Дов.Пред	+95,% Дов.Пред
Сред/Св.член	48,3125	1,914623	25,23343	0,001567	40,0745	56,5505	48,3125	1,914623	40,0745	56,55046
(1)Тип блоку	-34,8750	3,829246	-9,10754	0,011842	-51,3509	-18,3991	-17,4375	1,914623	-25,6755	-9,19954
(2)Площа перерізу пуансона, мм2	-8,4750	3,829246	-2,21323	0,157339	-24,9509	8,0009	-4,2375	1,914623	-12,4755	4,00046
(3)Горизонтальна складова зусилля, Н	30,8750	3,829246	8,06295	0,015036	14,3991	47,3509	15,4375	1,914623	7,1995	23,67546
1 на 2	6,7250	3,829246	1,75622	0,221134	-9,7509	23,2009	3,3625	1,914623	-4,8755	11,60046
2 на 4	-14,5250	3,829246	-3,79317	0,063004	-31,0009	1,9509	-7,2625	1,914623	-15,5005	0,97546

Рисунок 3.17 — Таблица оцінки ефектів максимального напруження по Мізесу: R-кв.=0,988; (фрагмент робочого вікна ПП STATISTICA)

Числа наведені у першому стовпці таблиці є ефектами, які за виключенням *Середнього вільного члена* є відхиленнями середнього залежної змінної відсередніх установок від середнього залежної змінної позитивних для кожного відповідного фактора.. Це означає, що якщо при фіксованих значеннях інших факторів, змінимо значення фактору *Тип блоку* з (–) на (+) то можна очікувати зменшення максимального напруження по Мізесу на 34 одиниці і т.д. Ефекти для першого та третього факторів статистично значущі так як рівень значущості p критерія Стюдента менше ніж 0,05, а для взаємодії факторів 2 на 4 дуже близьки до нього. В таблиці також наведені стандартні похибки ефектів (Ст.Ош), 95% довірчі інтервали для ефектів і коефіцієнти рівняння регресії (Коеф.) зі стандартними помилками (Ст.Ош.Коеф.).

Порівнюючи результати таблиць на рис. 3.16 і 3.17 легко побачити, що ті ж самі фактори які були статистично значущі, або майже статистично значущі показують найвищі оцінки ефектів, так що значення цих факторів достатньою мірою впливають на максимальне напруження по Мізесу.

Більш повну інформацію про регресійні коефіцієнти можна отримати через опцію *Регресійні коефіцієнти*.

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

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_{12}x_1x_2 + a_{24}x_2x_4 \quad (3.7)$$

де a_i ($i = 1, 2, 3$) – коефіцієнти рівняння регресії;

x_1, x_2, x_3 – це відповідно фактори *Тип блоку*, *Площа перерізу пуансона*, *Горизонтальна складова зусилля*. Таблиця регресійних коефіцієнтів наведена на рисунку 3.18.

		Регресия; R-кв.=,98839; Скор. ,95938 (План: 2**(4-1) план (Табл. 2**(4-1) план; Остаточн. SS=29,32625 ЗП Максимальне напруження по Мізесу, МПа				
Фактор	Регрес. Козф.	Ст. Ош.	t(2)	p	-95, % Дов.Пред	+95, % Дов.Пред
Сред/Св.член	48,3125	1,914623	25,23343	0,001567	40,0745	56,55046
(1)Тип блоку	-17,4375	1,914623	-9,10754	0,011842	-25,6755	-9,19954
(2)Площа перерізу пуансона, мм2	-4,2375	1,914623	-2,21323	0,157339	-12,4755	4,00046
(3)Горизонтальна складова зусилля, Н	15,4375	1,914623	8,06295	0,015036	7,1995	23,67546
1 на 2	3,3625	1,914623	1,75622	0,221134	-4,8755	11,60046
2 на 4	-7,2625	1,914623	-3,79317	0,063004	-15,5005	0,97546

Рисунок 3.18 – Таблиця регресійних коефіцієнтів до рівняння максимального напруження по Мізесу R-кв.=0,988; (фрагмент робочого вікна ППП STATISTICA)

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^2 , близький до одиниці ($\approx 0,988$).

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

$$\begin{aligned} \text{Максимальне напруження по Мізесу} = & 48,3 - 17,4 \text{Тип блоку} - 4,3 \text{Площа} \\ & \text{перерізу пуансона} + 15,4 \text{Горизонтальна складова зусилля} + 3,4 \text{Тип блоку} \times \\ & \text{Площа перерізу пуансона} - 7,3 \text{Площа перерізу пуансона} \times \text{Розташування} \\ & \text{напрямних втулок} \end{aligned}$$

Для перевірки підставимо значення факторів для другої строчки плану:

$$\begin{aligned} \text{Максимальне напруження по Мізесу} = & 48,3 - 17,4 \times (1) - 4,3 \times (-1) + 15,4 (- \\ & 1) + 3,4 \times (1) \times (-1) - 7,3 \times (1) \times (-1) = 24,7 \text{ мм.} \end{aligned}$$

Результати перевірки співпали.

Отже, по даному регресійному рівнянню можна обчислювати значення максимальних напружень по Мізесу 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.3.19) з вихідними значеннями залежної змінної і порахованими програмою по рівнянню регресії для усіх експериментів з плану.

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

Наблюд. план	Наблюдаемые, предсказанные значения 2**(4-1) план; Остаточн. SS=29,31 3П Максимальне напруження по		
	Наблюдае	Предск.	Остатки
1	47,40000	50,65000	-3,25000
2	25,60000	23,57500	2,02500
3	38,70000	35,45000	3,25000
4	19,80000	21,82500	-2,02500
5	99,30000	96,05000	3,25000
6	37,90000	39,92500	-2,02500
7	77,60000	80,85000	-3,25000
8	40,20000	38,17500	2,02500

Рисунок 3.19 – Таблица данных, що передбачені та спостерігаються по максимальному напруженню по Мізесу (фрагмент робочого вікна ІІІ STATISTICA)

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. Для адекватної моделі залишки – це випадкові величини з нормальним розподілом і математичним очікуванням, яке дорівнює нулю (білий шум).

Перевіримо адекватність моделі по *Імовірнісному графіку* (рис. 3.20), 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.

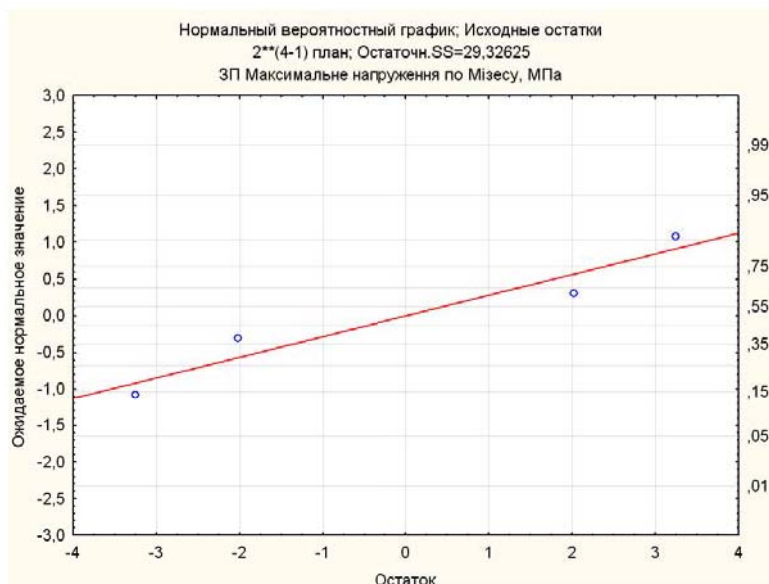


Рисунок 3.20 — Імовірнісний графік залишків (фрагмент робочого вікна ПП STATISTICA)

На завершення аналізу побудуємо діаграму Парето (рис. 3.21). 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 судити про ступінь впливу факторів на залежну змінну.



Рисунок 3.21 — Діаграма Парето (фрагмент робочого вікна ПП STATISTICA)

По результатах аналізу рівнянь регресії були побудовані графіки залежності максимального переміщення верхньої плити стандартних штампових блоків та максимальних напружень по Мізесу в залежності від дії найбільш суттєвих факторів (рис. 3.22, 3.23, 3.24, 3.25).

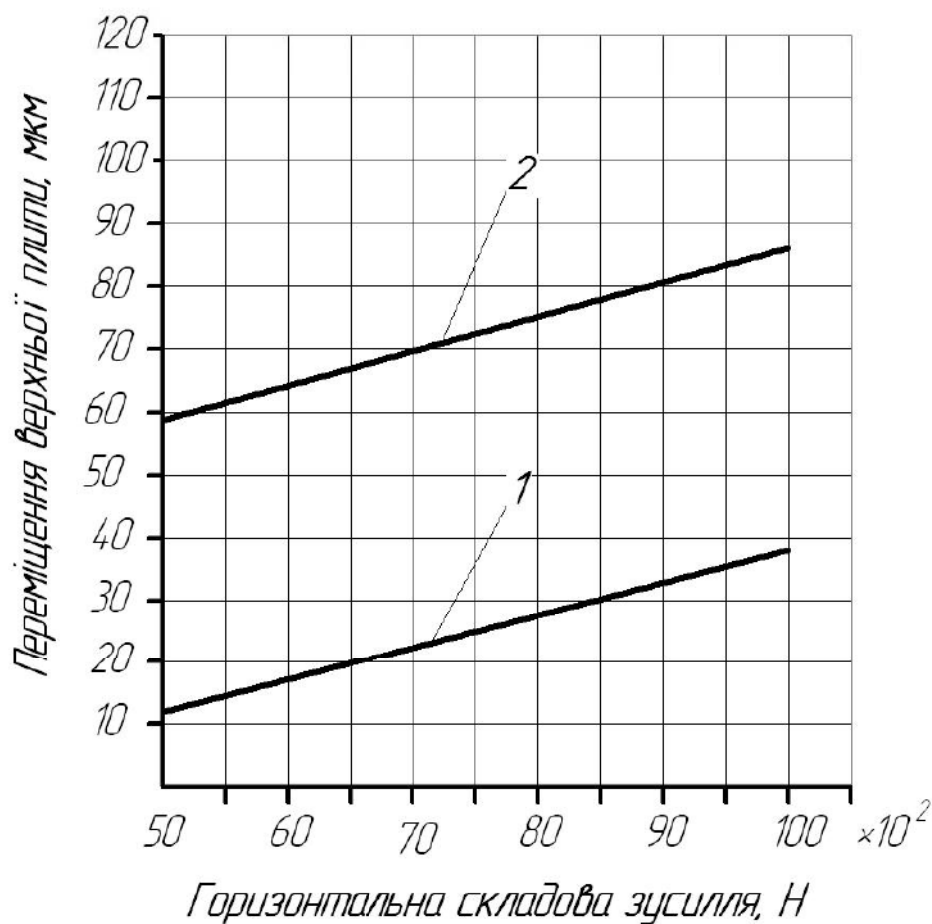


Рисунок 3.22 – Залежність переміщення верхньої плити від горизонтальної складової зусилля та типу блока:

- 1 - блок з заднім розташуванням напрямних елементів;
- 2 - блок з діагональним розташуванням напрямних елементів

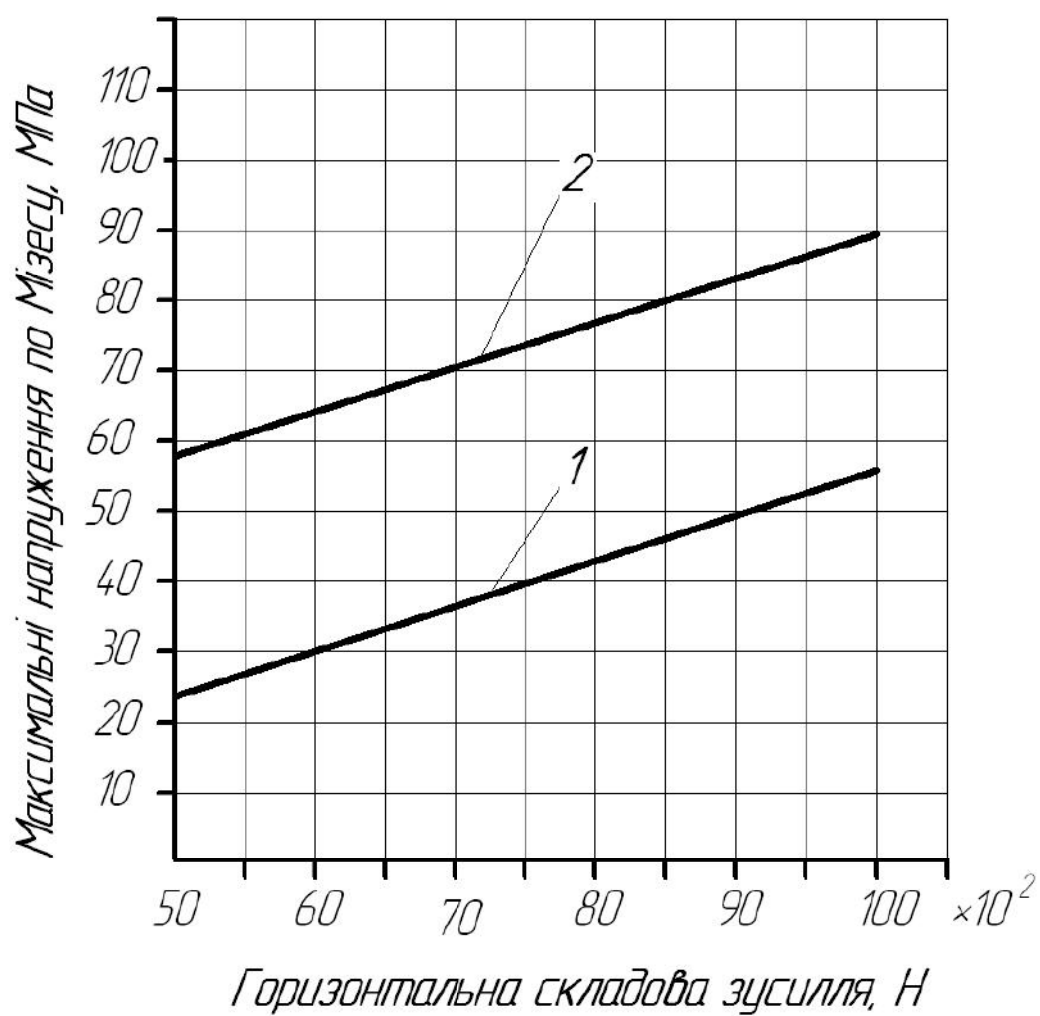


Рисунок 3.23 – Залежність максимального напруження по Мізесу:

1 – блок з заднім розташуванням напрямних елементів; 2 - блок з діагональним розташуванням напрямних елементів

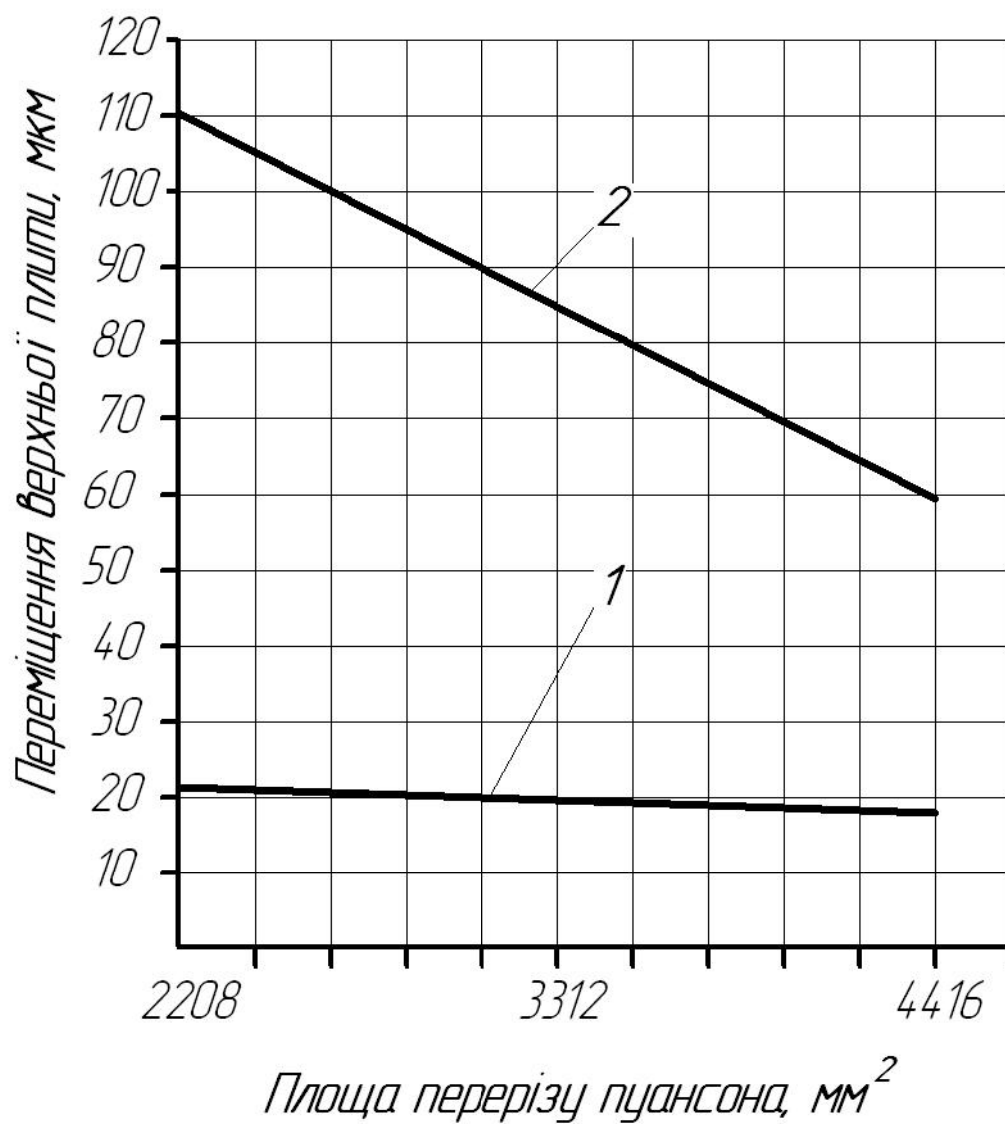


Рисунок 3.24 – Залежність переміщення верхньої плити від площі перетину пуансона та типу блока: 1 – блок з заднім розташуванням напрямних елементів; 2 – блок з діагональним розташуванням напрямних елементів

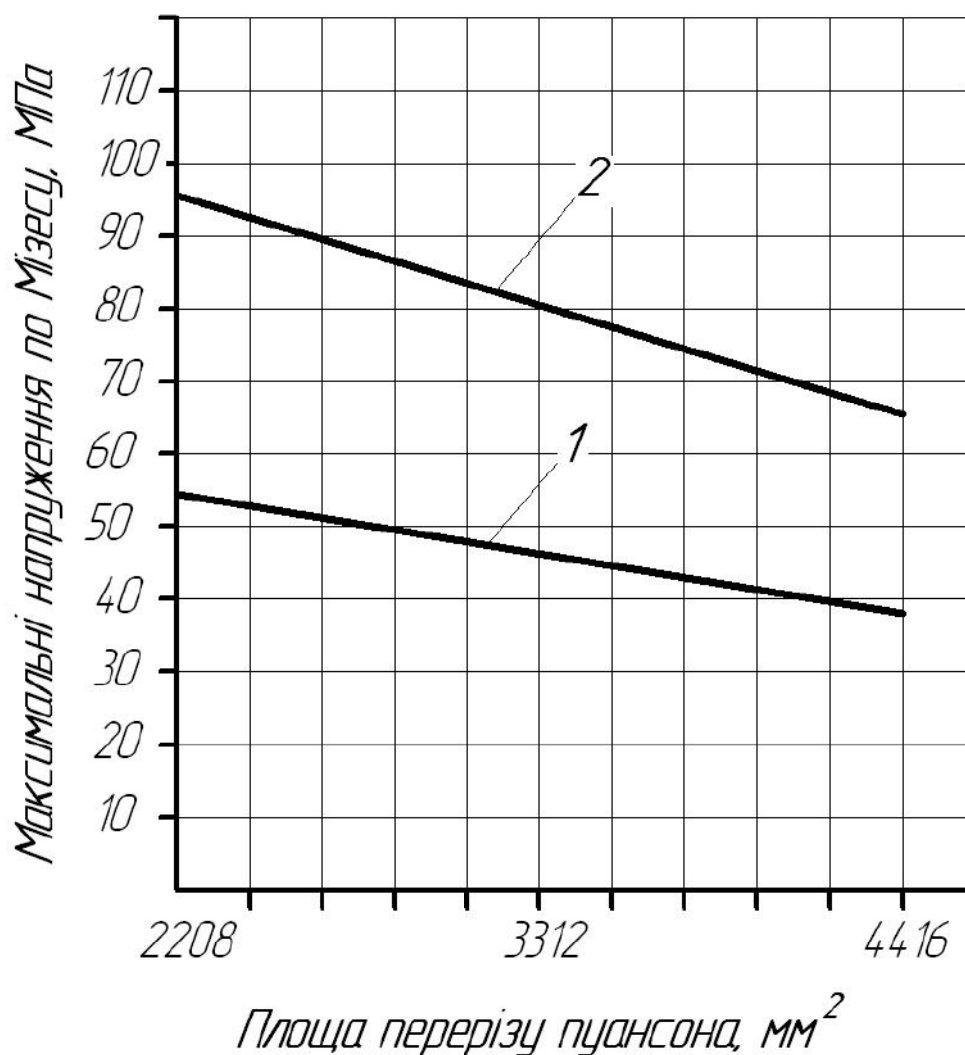


Рисунок 3.25 – Залежність максимального напруження по Мізесу від площі перетину пуансона та типу блока: 1 - блок з заднім розташуванням напрямних елементів; 2 - блок з діагональним розташуванням напрямних елементів

По результатах проведеного статистичного аналізу можна зробити наступні висновки:

– тип штампового блоку суттєво впливає на його жорсткість. Штамповий блок з заднім розташуванням напрямних вузлів не очікувано показав значно вищу жорсткість (з врахуванням жорсткості пуансона) у порівнянні з блоком з діагональним розташування напрямних вузлів. Так максимальне переміщення верхньої плити під дією горизонтальної складової технологічного зусилля (при

стабілізації інших факторів) зменшилося майже у п'ять разів в діапазоні вимірювань (див. рис. 3.22);

- на жорсткість штампового блока також достатньо суттєво впливає жорсткість пуансона. Збільшення площі поперечного перерізу пуансона вдвічі (при стабілізації інших факторів) привело до зменшення переміщення верхньої плити блока з діагональним розташуванням напрямних вузлів майже у два рази і, приблизно на 20%, для блока з заднім розташуванням напрямних вузлів (див. рис. 3.24);

- розташування напрямних втулок у штамповому блоці по схемам вгорі та зустрічне, в досліджених діапазонах змін факторів, практично не впливає на його жорсткість для обох типів (див. рис. 3.10);

- схожа картина спостерігається при аналізі максимального напруження по Мізесу. У блока з заднім розташуванням напрямних вузлів максимальні напруження по Мізесу, при зміні горизонтальної складової технологічного зусилля для нижнього та верхнього рівнів значень, зменшуються у приблизно 2,5 рази (див. рис. 3.23);

- збільшення площі перетину пуансона при стабілізації інших факторів приводить до помірного зменшення максимального напруження по Мізесу для обох типів блоків, близько до 32% (див. рис. 3.25);

- при оцінці жорсткості штампових блоків потрібно обов'язково враховувати жорсткість пуансона пакету блока.

3.5. 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.

Схема закріплення та навантаження штампового блоку наведена на рис. 3.26.

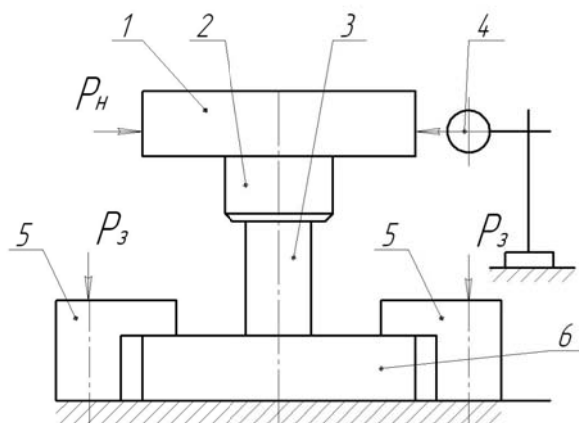


Рисунок 3.26 – Схема закріплення та навантаження блоку: 1 – верхня плита штампа; 2 – напрямна втулка; 3 – напрямна колонка; 4 – індикатор годинникового типу; 5 – прихоплювачі; 6 – нижня плита штампа; P_H – зусилля навантаження; P_3 – зусилля закріплення

Навантаження здійснювалося гідроциліндром від ручного гідронавантажувача за показаннями манометра з ціною поділки 1 атмосфера. Переміщення верхньої плити блоку фіксувалося цифровим індикатором годинникового типу з ціною поділки 1 мкм. Навантаження проводилося поступово до 20 кг/см^2 з кроком через 2 кг/см^2 . Зусилля штока гідроциліндра розраховувалося добутком показань манометра та площі поршня гідроциліндру з переводом у міжнародну систему одиниць СИ (Н). Навантаження по такій схемі проводилося п'ять разів з розрахунком середніх значень показань індикатора годинникового типу. Загальний вид експериментальної установки наведений на рис. 3.27.

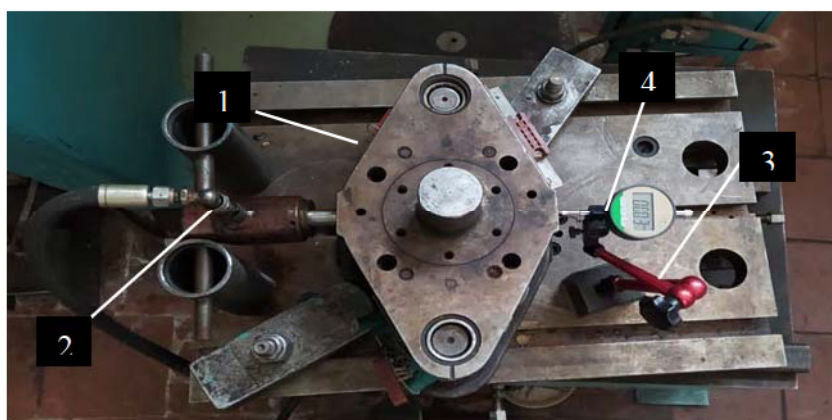


Рисунок 3.27 – Загальний вид експериментальної установки: 1 – штамповий блок; 2 – гідроциліндр; 3 – індикаторна стійка; цифровий індикатор годинникового типу

Результати вимірювань переміщення верхньої плити штампного блоку були зведені у табл. 3.6.

Таблиця 3.6 – 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.	2	25,12	0,001
3.	4	50,24	0,005
4.	6	75,36	0,012
5.	8	100,48	0,021
6.	10	125,6	0,028
7.	12	150,72	0,038
8.	14	175,84	0,047
9.	16	200,96	0,057
10.	18	226,08	0,066
11.	20	251,2	0,077

Для оцінювання похибки вимірювань були зроблені 3 навантаження та розвантаження при показанні манометра 10 кг/см^2 , (показання індикатора – 26 мкм, 28 мкм, 29 мкм). Розрахунок похибки був здійснений за методикою, наведеною у розділі 2.

Обробка результатів вимірювань та побудова графіків виконувались за допомогою офісної програми Microsoft Excel. Побудований графік наведений на рис. 3.28.

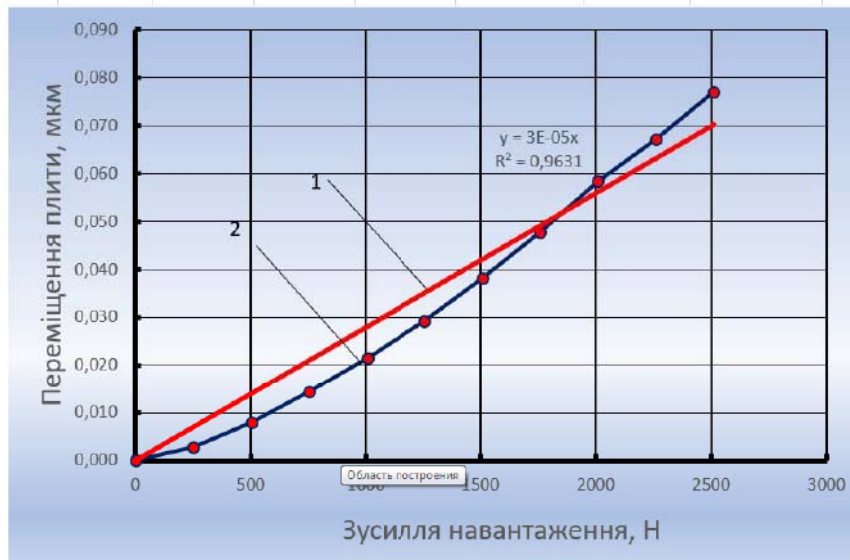
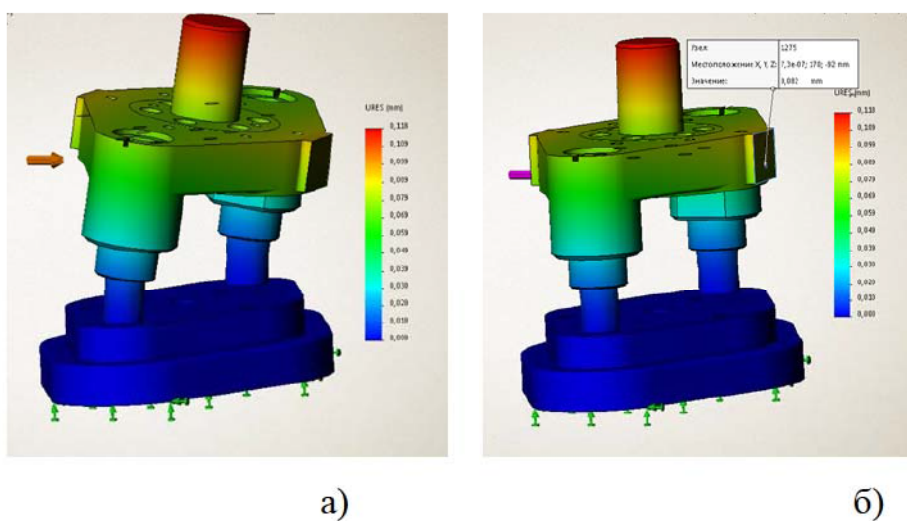


Рисунок 3.28 – Переміщення верхньої плити блоку під навантаженням:

1 – теоретична крива; 2 – експериментальна крива

Для оціночного співставлення результатів моделювання в САПР SolidWorks на модель штампового блоку було накладене по величині таке ж саме зусилля, як і на реальному штампі, без контакту пуансона з заготовкою. Методом зондування на моделі (див. рис. 3.29) у точці контакту щупа індикатора годинникового типу з верхньою плитою реального штампу при навантаженні 2500 Н, величина переміщення склала 82 мкм у порівнянні з 77 мкм на реальному штампі (розходження склало 6 %). Такий результат можна вважати прийнятним.



а)

б)

Рисунок 3.29 – Переміщення верхньої плити моделі штампового блоку під дією горизонтальної складової технологічного зусилля (2500 Н):

а) – деформований результат; б) – процес зондування

Отже підсумовуючи вище викладене, можна зробити висновок, що поведінка моделі штампового блоку під навантаженням адекватна реальним деформаційним процесам в штампах.

3.6 Практичне застосування результатів дослідження

3.6.1 Зменшення металомісткості штампового оснащення

Підсумовуючи вище наведену інформацію за даними першого та третього розділів даної роботи можна констатувати, що зменшення металомісткості стандартних штампових блоків, з врахуванням жорсткості робочих деталей пакету у сукупності з компенсатором похибок системи "прес-штамп", достатньо реальна і обґрунтована конструкторська задача. Як резерв у цьому напрямку може бути подальше вдосконалення засобів компенсації похибок системи "прес-штамп" шляхом зменшення горизонтальної складової технологічного зусилля на верхню плиту штампового блоку.

З метою оцінки зменшення металомісткості твердосплавного штампового оснащення з збереженням необхідних норм зміни технологічного зазору було проведено моделювання деформаційного стану типового штампового блоку з чотирма напрямними елементами. Порівнювались моделі блоків з різними діаметрами напрямник колонок: – блок реального типового штампу з діаметром колонок 40 мм та такий самий блок з діаметром колонок 20 мм. За критерій достатньої жорсткості було обрано допустиму нерівномірність одностороннього зазору 25 %.

Для типового твердосплавного штампу при товщині матеріалу 0,5 мм (електротехнічна сталь) такий двосторонній зазор складає 0,040 мм з плюсовим допуском 0,010 мм. Тобто допустиме зміщення одностороннього зазору повинне скласти 0,005 мм.

Величина горизонтальної складової від технологічного зусилля була порахована виходячи з величини технологічного зусилля – 120000 Н, по формулі наведеної в розділі 1 (формула 1.6). Це зусилля дорівнює 1500 Н.

На рис.3.30 представлена деформаційна картина досліджуваних штампових блоків.

По результатам зондування переміщення верхньої плити блока з напрямними колонками діаметром 40 мм склало 2 мкм а для блока з напрямними колонками 20 мм – 5 мкм, при умові зменшення навантаження вдвічі, оскільки такий блок передбачається застосовувати з компенсатором похибок «прес-«штамп». Тобто у блока з діаметром колонок 40 мм жорсткість завищена і її можна зменшити без втрати експлуатаційних показників, але при умові використання компенсатора похибок.

Тепер можна порахувати економію матеріалу за рахунок зменшення діаметрів напрямних колонок і втулок.

Аналіз масоцентровочних характеристик моделей колонок показує наступне: маса колонки діаметром 40 мм дорівнює 1,950 кг., а маса колонки діаметром 20 мм – 0,487 кг. Різниця складає 1,463 кг. Для чотирьох колонок це складе 5,852 кг.

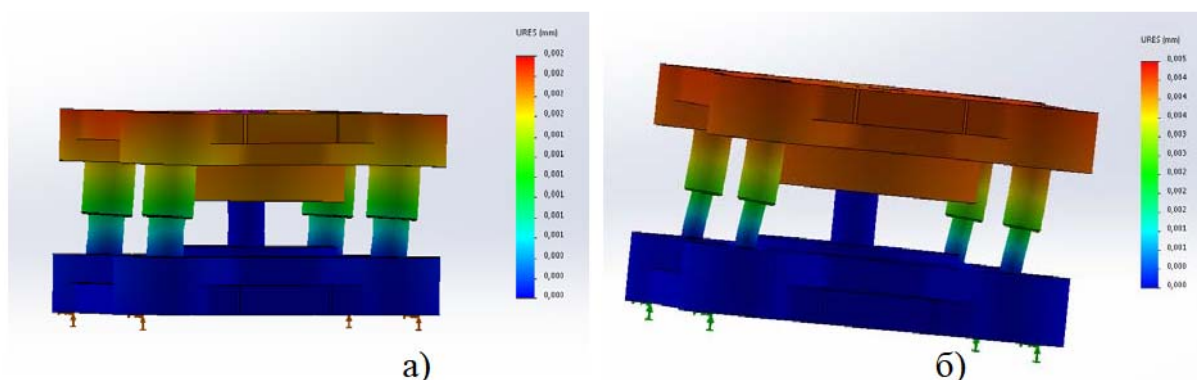


Рисунок 3.30 – Переміщення верхньої плити моделі штампових блоків під дією горизонтальної складової технологічного зусилля (1500 Н): а) – блок з діаметрами колонок 40 мм; б) – блок з діаметрами колонок 20 мм

Аналіз масоцентровочних характеристик моделей втулок також дає позитивну різницю: маса втулки з внутрішнім діаметром 40 мм складає 1,006 кг., а маса втулки з внутрішнім діаметром 20 мм – 0,389 кг. Різниця складає 0,417 кг. Для чотирьох втулок це складе 1,668 кг. У підсумку для одного штампу з такими габаритами економія матеріалу буде 7,520 кг..

Крім того, якщо зменшується діаметр напрямних колонок, то зменшується також і довжина частини колонки під запресовку, що дає можливість зменшувати товщину плити штампу, в межах його конструктивних особливостей, що може дати ще 10 + 15 % економії матеріалу.

Отже можна зробити висновок, що експлуатація твердосплавних штамсів разом з компенсаторами похибок системи «прес-штамп», крім підвищення їх стійкості, дає можливість і суттєвого зниження металомісткості.

3.6.2 Модернізація підсистеми «штамп-компенсатор»

При роботі підсистеми «штамп-компенсатор» виникають проблеми наступного характеру. Система компенсації починає ефективно працювати тоді, коли починається контакт робочих деталей штампа з заготівкою. Але оскільки цей процес дуже швидкоплинний в часі, сили інерції рухомих деталей системи заважають якісно здійснювати підстроєння осі штампа під вісь повзуна. Тому в даній роботі запропоновано виконати наступну модернізацію: здійснити попереднє навантаження системи ще на стадії холостого ходу преса, щоб рухомі деталі системи встигли зайняти стає положення. Оскільки в твердосплавних штампах використовують обмежувачі заходу пуансона у матрицю, запропоновано комбіновану конструкцію таких обмежувачів, які виконують як функцію попереднього навантаження системи, так і функцію обмежувача.

Конструктивна схема такої системи наведена на рис.3.31

Підсистема працює наступним чином: при ході верхньої плити твердосплавного штампа вниз шток 1 починає контактувати своєю сферичною поверхнею з верхньою плитою штампа, стискаючи тарільчаті пружини і, тим самим, навантажуючи нижню плиту штампа та верхню плиту компенсатора. Відбувається попередня підстройка системи ще до контакту робочих деталей штампа з матеріалом. Потім починається контакт пуансонів та матриці з матеріалом і процес підстройки продовжується, але вже зі значно меншими переміщеннями і динамікою. Після закінчення процесу розділення шток 1

своєю плоскою частиною головки опирається на торець обмежувача 3 і не дає пуансону заходити в матрицю.

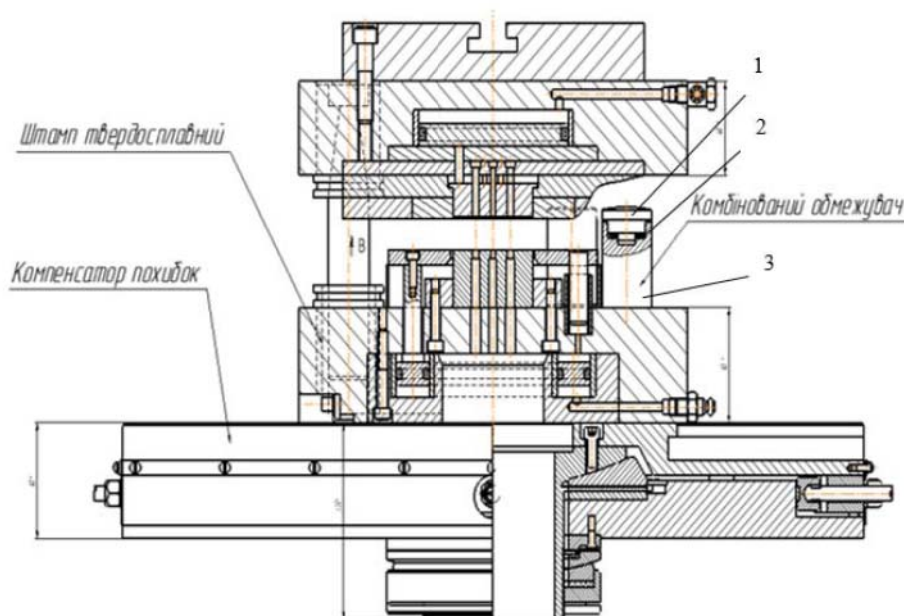


Рисунок 3.31 – Підсистема «штамп-компенсатор»; 1 – шток; 2 – тарільчаті пружини; 3 – обмежувач

Така модернізація покращує ефективність роботи компенсатора похибок системи «прес-штамп», підвищує стійкість твердосплавного штампового оснащення та якість штампованих деталей.

Тривимірна модель «Штамп – компенсатор» наведена на рис. 3.32.

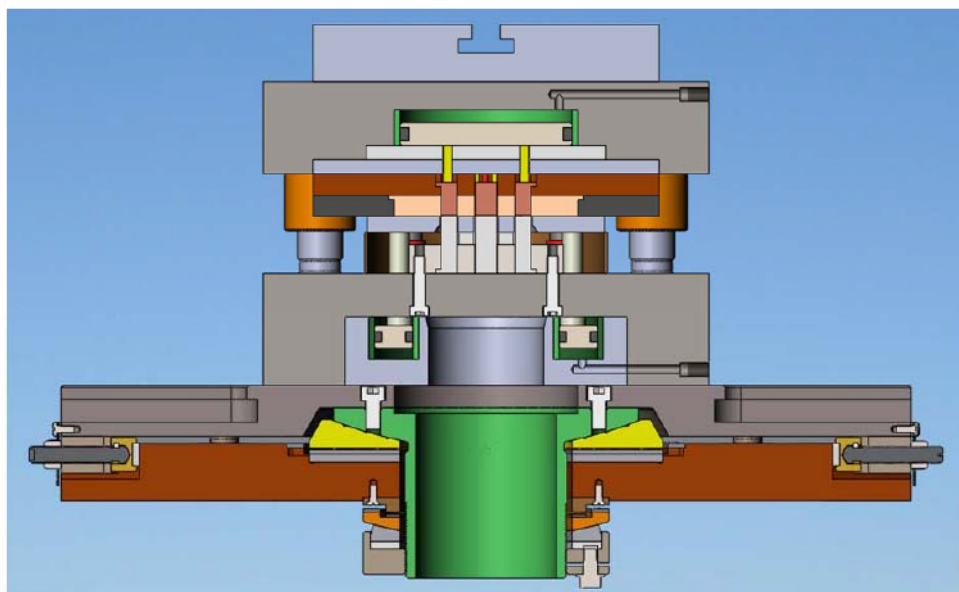


Рисунок 3.32 – Підсистема «штамп-компенсатор»

Розділ 4

ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Завданням магістерської роботи є дослідження зменшення металомісткості штампового оснащення при використанні компенсатора похибок системи "прес-штамп" з метою встановлення можливого взаємозв'язку між типами стандартних штампових блоків, горизонтальною складовою технологічного зусилля, жорсткістю робочих деталей штампу та розташуванням напрямних втулок в блоці.. Віднаходження такого зв'язку дасть змогу заощадити певну кількість металу, що є непоганою перспективою з огляду на сучасні тенденції по економії енергоресурсів.

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 [49]:

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, старший науковий співробітник	9287	309,57
2	Науковий співробітник, 0,5 ставки	6567	218,90
3	Фахівець, I кат. 0,5 ставки	6567	218,90
4	Технік I кат. 0,5 ставки	5005	166,83

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	90	309,57	27861,3
2	Науковий співробітник, 0,5 ставки	90	109,45	9850,5
3	Фахівець, I кат. 0,5 ставки	90	109,45	9850,5
4	Технік I кат. 0,5 ставки	90	83,42	7507,8
Разом				55070,1

4.1.2. Відрахування у єдиний соціальний внесок

Відрахування у єдиний соціальний внесок складають 22 % від суми заробітної плати.

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	140	5	700,00	70,0	770,0
2	Ручка кулькова	шт	4,26	10	42,60	4,26	46,86
3	Олівець простий	шт	16,27	10	160,27	16,03	176,30
4	Флеш-пам'ять	шт	4	205	820,00	82,0	902,00
5	Зошит, 120 арк	шт	79	4	316,00	31,6	347,6
6	Тонер для принтера	уп	284	2	568,00	56,8	624,80
Разом							2867,56

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 25%.

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	60	240	2880
2	Розробка проекту	10	40	480
3	Оформлення технічної документації	5	20	240
4	Підготовка презентації	5	20	240
Разом		80	320	3840

4.1.7 Інші витрати

Приймаємо в розмірі 4000 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	55070,1
2	Відрахування у спеціальні державні фонди	12115,42
3	Витрати на куповані вироби	2867,56
4	Витрати на використання комп'ютерної техніки	3840
5	Накладні витрати	13767,525
6	Інші витрати	4000
Разом		91660,605

4.2. Розрахунок договірної ціни та прибутку НДР

Договірна ціна НДР попередньо розраховується за формулою:

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

де Ц – договірна ціна, грн.;

С – собівартість проведення НДР, грн.;

р – рівень рентабельності витрат у виконавця НДР.

Очікуваний прибуток від реалізації НДР складає:

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

де П – очікуваний прибуток від виконання НДР.

Для даної НДР ціна визначена як: 119158,80 грн. (закладено 30 % рентабельності)

Тоді прибуток буде рівним: $П = Ц - C = 119158,80 - 91660,61 = 27498,18$ грн.

Висновки

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

Дослідження, які проведені у роботі, спрямовані на зменшення металомісткості штампового оснащення при використанні компенсатора похибок системи "прес-штамп". 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:

В електротехнічній промисловості та приладобудуванні є достатньо велика наменклатура деталей (наприклад, пластини магнітопроводів, виготовлення яких можна віднести до великосерійного і масового типу виробництва. Більшість з цих деталей виготовляються методами розділення листового матеріалу (лист, штаба, стрічка). Інструментом для їх виготовлення є різного типу штампи (послідовної або суміщеної дії) з робочими деталями (пуансони і матриці), виготовленими з легованих сталей. Стійкість таких штампів коливається в межах 20 – 40 тисяч деталей, що приводить до частих переналагоджувань в процесі виробництва.

Застосування твердих сплавів для виготовлення робочих частин штампів дозволяє підвищити їх стійкість в 20-100 разів. При проектуванні твердосплавних штампів слід забезпечити: підвищену жорсткість конструкції штампа; підвищену зносостійкість всіх поверхонь, що труться (втулок, колонок, напрямних планок, упорів і т. п.); усунення впливу неточності руху повзуна преса на штампи шляхом застосування різних засобів компенсації; надійні способи кріплення твердосплавних елементів з ретельною підгонкою їх до опорних сталевих поверхонь; мінімальний вхід пуансона в матрицю за допомогою застосування обмежуючих упорів; встановлення збільшених зазорів між пуансоном і матрицею, а також підвищеною жорсткістю і міцністю плит штампових блоків.

Відомо, що в конструкції будь-якого штампу для виконання розділових операцій металомісткість штампового блоку, в більшості випадків, переважає металомісткість пакету. При проектуванні штампів конструктор, як правило, вибирає стандартні варіанти блоків та пакетів і, в подальшому, не перевіряє їх поведінку під технологічним навантаженням по таким показникам, як деформація напрямних вузлів штампа, зміщення верхньої плити штампа відносно нижньої, зміну величини оптимального технологічного зазору, деформацію нижньої плити штампа. Вважається, що запас жорсткості у

стандартних блоках достатній, щоб забезпечити їх нормальну роботу під технологічним навантаженням. Але, в більшості випадків, стандартні штампові блоки мають завищену жорсткість і, як наслідок, надлишкову металомісткість. Існує також проблема вибору оптимальних розмірів штампового блоку під конкретний прес. У існуючих державних стандартах блоки вибираються по габаритам пакетів та закритій висоті блока, без врахування технологічного зусилля та жорсткості робочих деталей штампа (пуансона і матриці), що може суттєво впливати на його напружено-деформований стан.

Отже для того, щоб зменшити жорсткість штампових блоків без зниження їх експлуатаційної якості потрібно йти шляхом зменшення дії на них зовнішніх навантажень, зокрема горизонтальної складової технологічного зусилля, що особливо важливо для твердосплавних штамів. Тому робота, що спрямована на зменшення металомісткості шампового оснащення є актуальним науково-практичним завданням.

2. Виконаний аналіз особливостей проектування твердосплавного штампового оснащення. Встановлено, що штампові блоки для твердосплавних штамів рекомендується проектувати з надлишковою жорсткістю, як по товщинам плит так і по напрямним елементам і збільшувати величину технологічного зазору, в порівнянні з звичайними сталевими штампами.

3. Проаналізовано вплив похибок системи «прес-штамп» на жорсткість штампових блоків і визначено ті, які є суттєвими. Це, як правило, похибки пов'язані з експлуатацією відповідного пресового обладнання.

4. Проаналізовано способи та пристрої компенсації похибок системи «прес-штамп». Встановлено, що більшість з них частково виконують свої функції, але ще є резерви по їх удосконаленню та оптимізації. Найбільш ефективним способом є «спосіб покращення напружено-деформованого стану штампових блоків за рахунок динамічного підстроювання системи «прес-штамп» в напрямку збігання осі прикладання технологічного зусилля від пресу з віссю, що проходить через центр тиску штампа, який реалізується шляхом

експлуатації штампа на механічному компенсаторі» [34]. й є високоефективною альтернативою традиційним способам штампування.

5. Розроблена методика багатофакторного експериментального дослідження напружено-деформованого стану стандартних штампових блоків під дією горизонтальної складової технологічного зусилля;

6. Проведено комп'ютерне моделювання впливу зовнішніх навантажень на деформацію різних типів штампових блоків. Встановлено, що тип штампового блоку суттєво впливає на його жорсткість. Штамповий блок з заднім розташуванням напрямних вузлів не очікувано показав значно вищу жорсткість (з врахуванням жорсткості пуансона) у порівнянні з блоком з діагональним розташуванням напрямних вузлів. Так максимальне переміщення верхньої плити під дією горизонтальної складової технологічного зусилля (при стабілізації інших факторів) зменшилося майже у п'ять разів в діапазоні вимірювань.. На жорсткість штампового блока також достатньо суттєво впливає жорсткість пуансона. Збільшення площі поперечного перерізу пуансона вдвічі (при стабілізації інших факторів) привело до зменшення переміщення верхньої плити блока з діагональним розташуванням напрямних вузлів майже у два рази і, приблизно на 20%, для блока з заднім розташуванням напрямних вузлів. Також було виявлено, що розташування напрямних втулок у штамповому блоці по схемам вгорі та зустрічне, в досліджених діапазонах змін факторів, практично не впливає на його жорсткість для обох типів. Схожа картина спостерігається при аналізі максимального напруження по Мізесу. У блока з заднім розташуванням напрямних вузлів максимальні напруження по Мізесу, при зміні горизонтальної складової технологічного зусилля для нижнього та верхнього рівнів значень, зменшуються у приблизно 2,5 рази. Збільшення площі перетину пуансона при стабілізації інших факторів приводить до помірного зменшення максимального напруження по Мізесу для обох типів блоків, близько до 32%.

7. Запропонована конструкція штампових блоків меншої металомісткості, при встановленні їх на компенсатор похибок системи «прес-

штамп». Очікуване зниження металомісткості для типового твердосплавного штампу в умовах експлуатації його на однокривошипному відкритому пресі номінальним зусиллям 400 кН, при забезпеченні відхилення одностороннього технологічного зазору не більше 25 %, складає в межах 15-20 %.

8. Запропоновано технічне рішення по зменшенню горизонтальної складової технологічного зусилля, яке діє на верхню плиту штампового блоку шляхом вдосконалення конструкції підсистеми «штамповий блок – компенсатор похибок» системи «прес-штамп», де на відміну від існуючих рішень, застосовано комбіновані обмежувачі заходу пуансона в матрицю.

10. Основні результати дослідження доповідалися на міжнародній конференції: Удосконалення компенсатора похибок системи «прес-штамп». The IX International Science Conference «Innovative technologies in science and education», March 04 – 06, 2021, Jerusalem, Israel. 316 – 321 p. ISBN - 978-1-63732-147-8.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Стойкость штампов. Зубцов М. Е., Корсаков В. Д., Л., «Машиностроение», 1971г., 200 стр. Табл. 43. Илл. 120. Библ. 64 назв.
2. Фальковский В. Л., Клячко Л. И. Твердые сплавы — М. : Издательский дом «Руда и металлы», 2005.
3. Твердые сплавы. URL: <https://www.metotech.ru/tvsplavy-opisanie.htm> (дата звернення: 15.11.2021 р.)
4. Штампы для листовой штамповки: справочник / под ред. В.В. Белова, Г.И. Хесина. - Москва: Машиностроение, 1992. - 292 с.
5. Н. К. Фотеев. Высокостойкие штампы. М., Машиностроение, 1965 г. 259 стр.
6. Романовский В. П. Справочник по холодной штамповке / Романовский В. П. — [6-е изд.]. — Л.: Машиностроение, Ленингр. отделение, 1979. — 530 с.
7. Зубцов М. Е. Листовая штамповка [Текст]: учеб. / М. Е. Зубцов. — 3-е изд., перераб. и доп. — Л.: Машиностроение, 1980. — 432 с.
8. Смирнов-Аляев Г. А. Холодная штамповка в приборостроении / Смирнов-Аляев Г. А., Вайнтрауб Д. А. — М. — Л.: Машгиз, 1963. — 436 с.
9. Справочник конструктора штампов. Листовая штамповка / под общ. ред. Л. И. Рудмана. — М. : Машиностроение, 1988. — 496 с.
10. Титаренко, Н. И. Точность системы пресс-штамповый блок / Н. И. Титаренко. — Киев : Наукова думка, 1980. — 135 с.
11. ГОСТ 15475-89. Прессы однокривошипные простого действия закрытые. Нормы точности: — Введ. 1990-07-01. — М. : Изд. стандартов 1996. — 14 с.
- 12.. 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.

13. 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.

14. 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.

15. 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.

16. 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.

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

18 Bruin N.de, Krempen M. Van, Remmerswaal Ir.II. Use and behaviour of eccentric type power presses. "Proc.Int. Conf.Prod.Eng. New.Deher, 1977, vol.2, Calcutta, IV/60-IV/6

19. Батура А. И. К методике измерения рабочей точности прессов. / А. И. Батура, А. П. Рудницкий. – Воронеж: ЭНИКМАШ, 1976. – 170 с.

20. Tomselt W. Now to ineredse press and press to liefе factorg and Plaut, 1963, 51, N5, 307-312.

21. V. Sendsceburo. J. Japan Soc. Technol Plast, 1967, 8, N82, 639064515.

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. Кокоулин В. П. Исследование жесткости станин открытых кривошипных прессов: автореф. дис. на соиск. уч. степени канд. техн. наук: спец. 05.03.05 «Процессы и машины обработки давлением» / В. П. Кокоулин. – 05.03.05 «Процессы и машины обработки давлением». – 1967. – 20 с.

24. ГОСТ 16719-71. Хвостовики плавающие для штампов листовой штамповки. Конструкция и размеры: – Введ. 1972-01-01. – М.: Стандартиформ, 2006. – 10 с.

25. А. с. 997919 СССР, М. Кл³. В 21 D 37/00, В 30 В 15/00. Узел Сучатова крепления штампа к ползуну прессы / Н. М. Сучатов (СССР). – № 3282089/25-27; заявл. 29.04.81; опубл. 23.02.83, Бюл. № 7.

26. А. с. 1013032 А СССР, М. Кл. В 21 D 37/00, В 30 В 15/02. Узел крепления штампа к ползуну прессы / В. М. Островерх (СССР). – № 3365735/25-27; заявл. 22.12.81; опубл. 23.04.83, Бюл. № 15.

27. 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.

28. А. с. 757347 СССР, М. Кл³. В 30 В 15/02, В 21 D 37/00. Устройство для крепления частей штампа / А. Л. Манушина и В. Н. Новиков (СССР). – № 2583444/25-27; заявл. 24.02.78; опубл. 23.08.80, Бюл. № 31.

29. А. с. 899207 СССР, М. Кл³. В 21 D 28/14. Штамп для точной вырубки деталей / Д. А. Вайнтрауб (СССР). – № 2927478/25-27; заявл. 20.05.80; опубл. 23.01.82, Бюл. № 3.

30. А. с. 914143 СССР, М. Кл³. В 21 D 28/14, В 21 D 37/00. Устройство для соединения штампа с ползуном прессы / М. З. Альтман и О. Л. Фукс (СССР). – № 2962449/25-27; заявл. 24.07.80; опубл. 23.03.82, Бюл. № 11.

31. А. с. 616159 СССР, М. Кл². В 21 В 15/02, В 21 J 13/02. Узел для установки штампа / Н. М. Золотухин и А. П. Качанов (СССР). – № 2354440/25-27; заявл. 26.04.76; опубл. 25.07.78, Бюл. № 27.

32. А. с. 1076299 А СССР, М. Кл. В 30 В 15/02. Компенсатор неравномерности нагружения элементов штамповой оснастки вертикального прессы / Е. Ф. Гридзин (СССР). – № 3503146/25-27; заявл. 26.10.82; опубл. 28.02.84, Бюл. № 8.

33. А. с. 1440740 А1 СССР, М. Кл. В 30 В 15/28. Компенсатор неравномерности нагружения элементов штамповой оснастки открытого вертикального прессы / Н. М. Золотухин и А. В. Котенко (СССР). – № 4242427/31-27; заявл. 11.05.87; опубл. 30.11.88, Бюл. № 44.

34. Спосіб тонколистового розділового штампування в системі «прес-штамп» з беззazorним напрямком рухомої частини штампа відносно нерухомої. Патент 70346 Україна, МПК В26F1/40 / Мірзак В. Я., Боков В. М.; власник Кіровоградський національний технічний університет. – № u201113040; заявл. 07.11.2011; опубл. 11.06.2012, Бюл. № 11.

35. Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни «Конструювання та виготовлення штампів». 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.

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

37. Жолткевич Н.Д. Обратимая технологическая оснастка для ГПС / Н.Д. Жолткевич, А.Я. Мовшович, В.П. Горбулин. – Киев; Техника, 1992. – 216 стр.

38. Расчет статически неопределимых стержневых систем методом сил URL: https://study.urfu.ru/Aid/Publication/433/1/Polyakov_Koltsov.pdf (дата звернення: 15.11.2019).

39. Зинкевич О., Морган К. Конечные элементы и аппроксимация / Зинкевич О. – М.: Мир, 1986. – 318 с.

40. Алямовский А. А. SolidWorks/COSMOSWorks. Инженерный анализ методом конечных элементов / Алямовский А. А. – М.: ДМК Пресс, 2004. – 432 с., ил.

41. 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.

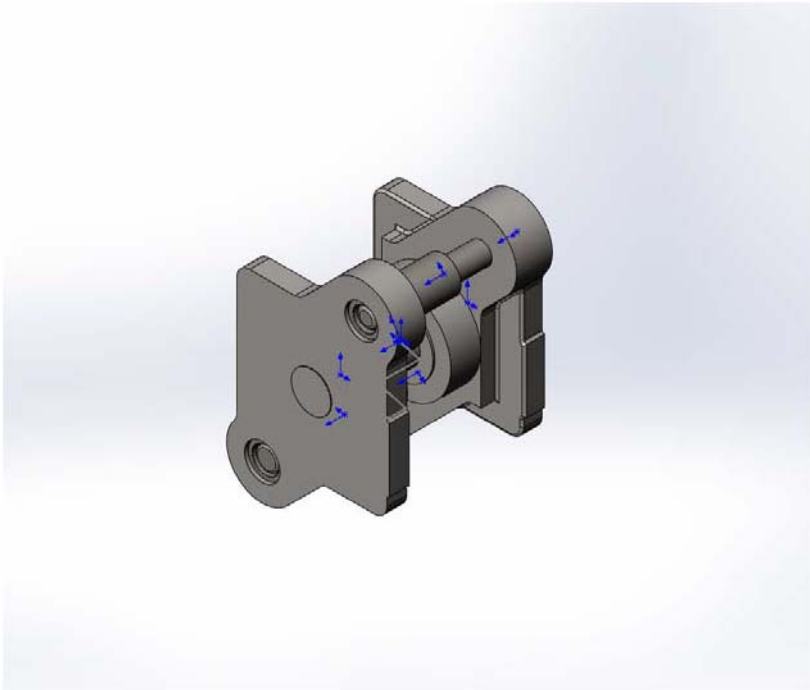
42. В. Мірзак. Визначення оптимальних геометричних параметрів елементів штампового оснащення під технологічним навантаженням. *Наука – виробництву*, 2020: Збірник тез доповідей викладачів, аспірантів та співробітників ЛІ науково-технічної online конференції «Наука в ЦНТУ: основні досягнення та перспективи розвитку» за підсумками проведення «Дня науки – 2020» 13 травня 2020 року. Кропивницький: ЦНТУ, 2020. С. 67-70.

43. Методичні вказівки до виконання економічної частини дипломних робіт з предмету Менеджмент організацій, НУ ЛПІ URL: <https://ua.kursoviks.com.ua/metodychki/81-metodichni-vkazivki-do-vikonannya-yekonomichnoi-chastini-diplomnikh-robit-menedzhment-organizatsiy-nu-lp-lvivska-politekhnik> (дата звернення: 15.11.2019).

Додатки

Додаток А

Приклад звіту щодо моделювання деформаційної картини стандартного штампового блоку з діагональним розташуванням напрямних вузлів якій реалізовувався із застосуванням розрахункового модуля САПР SolidWorks



Описание

Данные отсутствуют

Симуляция
Сборка_E1_1

Дата: 21 декабря 2021 г.
Создатель:: Solidworks
Имя исследования: Исследование 1
Тип анализа: Статическое

Table of Contents

Описание.....

Допущения.....

Информация о модели

Свойства исследования

Единицы измерения

Свойства материала

Нагрузки и крепления.....

Определения соединителейОшибка! Зак

Данные контакта

Информация о сетке.....

Данные датчиков.....

Результирующие силы

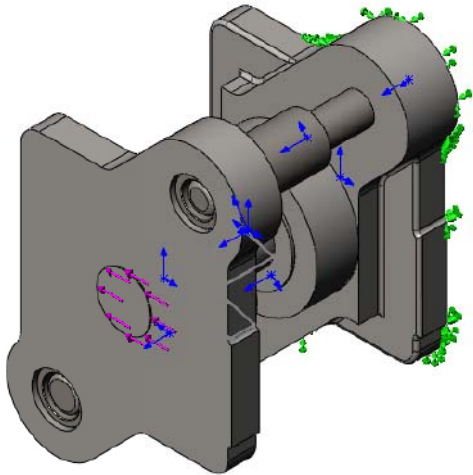
Балки Ошибка! Закладка не опреде

Результаты исследования

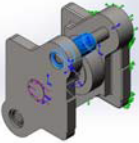
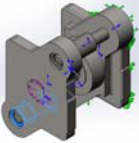
Вывод Ошибка! Закладка не опреде

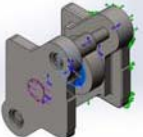
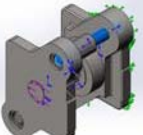
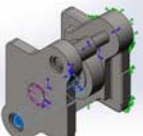
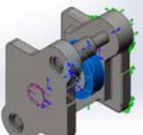
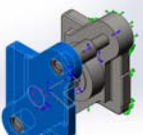
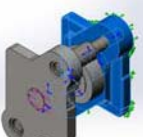
Допущения

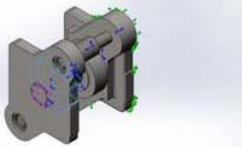
Информация о модели



Имя модели: Сборка_E1_1
Активная конфигурация: По умолчанию

Твердые тела			
Имя и ссылки документа	Рассматривается как	Объемные свойства	Путь документа/Дата изменения
Повернуть1 	Твердое тело	Масса:0.698021 kg Объем:8.89198e-005 m^3 Плотность:7850 kg/m^3 Масса:6.8406 N	
Повернуть1 	Твердое тело	Масса:0.79855 kg Объем:0.000101726 m^3 Плотность:7850 kg/m^3 Масса:7.82579 N	

Бобышка-Вытянуть1 	Твердое тело	Масса:0.110653 kg Объем:1.41863e-005 m ³ Плотность:7800 kg/m ³ Масса:1.0844 N	
Повернуть3 	Твердое тело	Масса:0.910972 kg Объем:0.000116047 m ³ Плотность:7850 kg/m ³ Масса:8.92753 N	
Повернуть1 	Твердое тело	Масса:1.192 kg Объем:0.000151847 m ³ Плотность:7850 kg/m ³ Масса:11.6816 N	
Вырез-Повернуть1 	Твердое тело	Масса:2.90407 kg Объем:0.000377152 m ³ Плотность:7700 kg/m ³ Масса:28.4599 N	
Бобышка-Вытянуть4 	Твердое тело	Масса:11.0758 kg Объем:0.00141997 m ³ Плотность:7800 kg/m ³ Масса:108.543 N	
Скрутление3 	Твердое тело	Масса:12.9482 kg Объем:0.00166002 m ³ Плотность:7800 kg/m ³ Масса:126.892 N	

Повернуть1 	Твердое тело	Масса:2.96221 kg Объем:0.000384702 m ³ Плотность:7700 kg/m ³ Масса:29.0296 N	
---	--------------	---	--

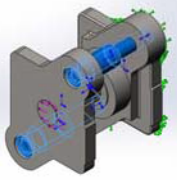
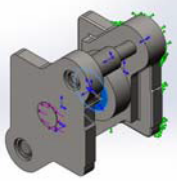
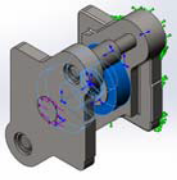
Свойства исследования

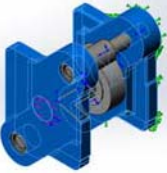
Имя исследования	Исследование 1
Тип анализа	Статическое
Тип сетки	Сетка на твердом теле
Тепловой эффект:	Вкл
Термический параметр	Включить тепловые нагрузки
Температура при нулевом напряжении	298 Kelvin
Включают эффекты давления жидкости из SolidWorks Flow Simulation	Выкл
Тип решающей программы	FFEPlus
Влияние нагрузок на собственные частоты:	Выкл
Мягкая пружина:	Выкл
Инерционная разгрузка:	Выкл
Несовместимые параметры связи	Автоматические
Большие перемещения	Выкл
Вычислить силы свободных тел	Вкл
Трение	Выкл
Использовать адаптивный метод:	Выкл
Папка результатов	Документ SolidWorks (c:\docume~1\9335~1\locals~1\temp)

Единицы измерения

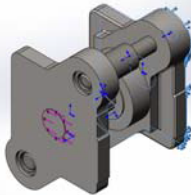
Система единиц измерения:	СИ (MKS)
Длина/Перемещение	mm
Температура	Kelvin
Угловая скорость	Рад/сек
Давление/Напряжение	N/m ²

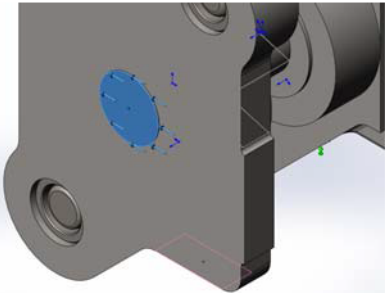
Свойства материала

Ссылка на модель	Свойства	Компоненты
	Имя: AISI 4130 Сталь, нормализованная при 870С Тип модели: Линейный Упругий Изотропный Критерий прочности по умолчанию: Неизвестно Предел текучести: $4.6e+008 \text{ N/m}^2$ Предел прочности при растяжении: $7.31e+008 \text{ N/m}^2$ Модуль упругости: $2.05e+011 \text{ N/m}^2$ Коэффициент Пуассона: 0.285 Массовая плотность: 7850 kg/m^3 Модуль сдвига: $8e+010 \text{ N/m}^2$	Твердое тело 1(Повернуть1)(Втулка_28_1-1), Твердое тело 1(Повернуть1)(Втулка_32_1-1), Твердое тело 1(Повернуть3)(Колонка_28_1-1), Твердое тело 1(Повернуть1)(Колонка_32_1, SLDPRT-1)
Данные кривой:N/A		
	Имя: Простая углеродистая сталь Тип модели: Линейный Упругий Изотропный Критерий прочности по умолчанию: Максимальное напряжение von Mises Предел текучести: $2.20594e+008 \text{ N/m}^2$ Предел прочности при растяжении: $3.99826e+008 \text{ N/m}^2$ Модуль упругости: $2.1e+011 \text{ N/m}^2$ Коэффициент Пуассона: 0.28 Массовая плотность: 7800 kg/m^3 Модуль сдвига: $7.9e+010 \text{ N/m}^2$ Коэффициент теплового расширения: $1.3e-005 / \text{Kelvin}$	Твердое тело 1(Бобышка-Вытянуть1)(Заготовка_1-1)
Данные кривой:N/A		
	Имя: Легированная сталь Тип модели: Линейный Упругий Изотропный Критерий прочности по умолчанию: Неизвестно Предел текучести: $6.20422e+008 \text{ N/m}^2$ Предел прочности при растяжении: $7.23826e+008 \text{ N/m}^2$ Модуль упругости: $2.1e+011 \text{ N/m}^2$ Коэффициент Пуассона: 0.28 Массовая плотность: 7700 kg/m^3 Модуль сдвига: $7.9e+010 \text{ N/m}^2$ Коэффициент теплового расширения: $1.3e-005 / \text{Kelvin}$	Твердое тело 1(Вырез-Повернуть1)(Матрица_1SLDP RT-1), Твердое тело 1(Повернуть1)(Пуансон_2208-1)
Данные кривой:N/A		

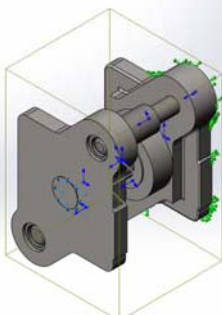
	Имя: Литая углеродистая сталь Тип модели: Линейный Упругий Изотропный Критерий прочности по умолчанию: Неизвестно Предел текучести: 2.48168e+008 N/m² Предел прочности при растяжении: 4.82549e+008 N/m² Модуль упругости: 2e+011 N/m² Коэффициент Пуассона: 0.32 Массовая плотность: 7800 kg/m³ Модуль сдвига: 7.6e+010 N/m² Коэффициент теплового расширения: 1.2e-005 /Kelvin	Твердое тело 1(Бобышка-Вытянуть4)(Плита верхняя блока блока_1-1), Твердое тело 1(Скругление3)(Плита нижняя блока_1SLDPRT-1)
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)	2771.23	0.0358831	-0.203802	2771.23
Реактивный момент(N-m)	0	0	0	0

Имя нагрузки	Загрузить изображение	Загрузить данные
Сила-1		Объекты: 1 грани Справочный: Грань< 1 > Тип: Приложить силу Значения: -2771, ---, --- N

Данные контакта

Контакт	Изображение контакта	Свойства контакта
Глобальный контакт		Тип: Связанные Компоненты: 1 компоненты Параметры: Совместимая сетка

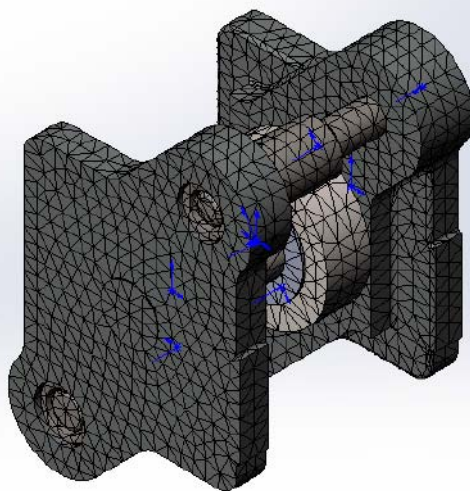
Информация о сетке

Тип сетки	Сетка на твердом теле
Используемое разбиение:	Стандартная сетка
Автоматическое уплотнение сетки:	Выкл
Включить автоциклы сетки:	Вкл
Точки Якобиана	4 Точки
Размер элемента	12.0084 mm
Допуск	0.600422 mm
Качество сетки	Высокая
Заново создать сетку из неудавшихся деталей с несовместимой сеткой	Выкл

Информация о сетке - Подробности

Всего узлов	36345
Всего элементов	22837
Максимальное соотношение сторон	19.824
% элементов с соотношением сторон < 3	93.1
% элементов с соотношением сторон > 10	0.534
% искаженных элементов (Якобиан)	0
Время для завершения сетки (hh:mm:ss):	00:00:05
Имя компьютера:	DF-7DB1007DC611

Имя модели: Сборка_E1_1
 Имя исследования: Исследование 1
 Тип сетки: Сетка на твердом теле



Данные датчиков

Данные отсутствуют

Результирующие силы

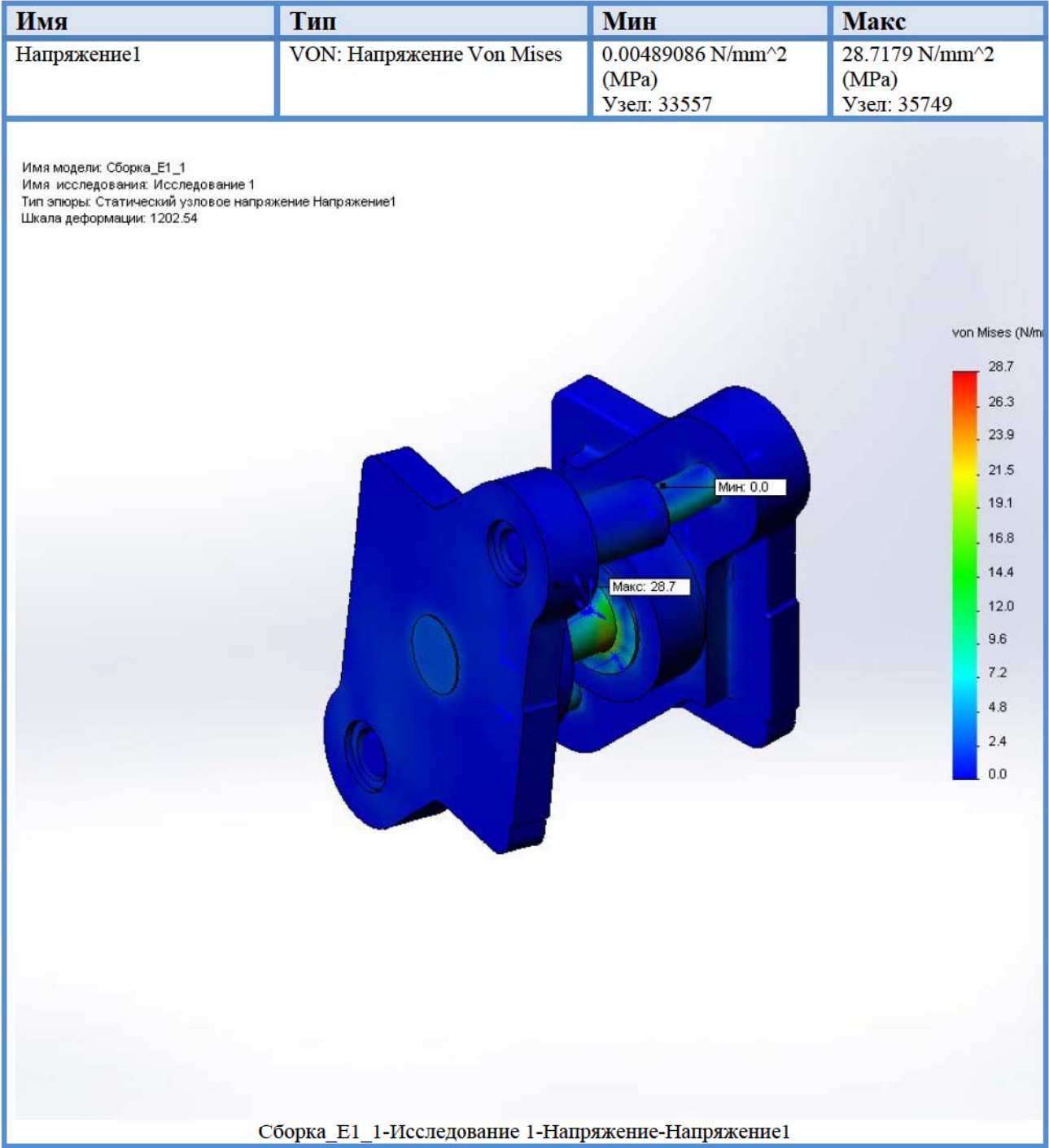
Силы реакции

Выбранный набор	Единицы измерения	Сумма по X	Сумма по Y	Сумма по Z	Результирующая
всей модели	N	2771.23	0.0358831	-0.203802	2771.23

Моменты реакции

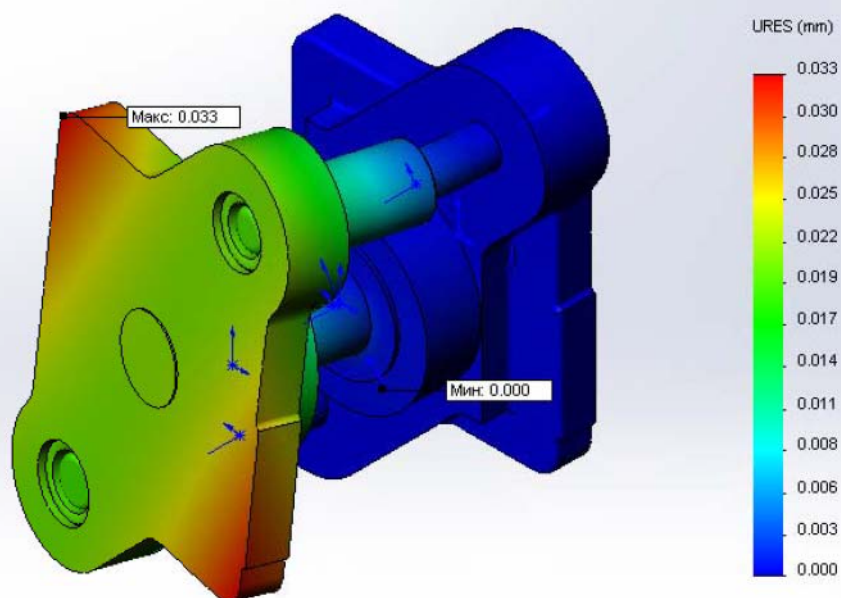
всей модели Выбранный набор	Единицы измерения	Сумма по X	Сумма по Y	Сумма по Z	Результирующая
	N-m	0	0	0	0

Результаты исследования



Имя	Тип	Мин	Макс
Перемещение1	URES: Результирующее перемещение	0 mm Узел: 20619	0.0331593 mm Узел: 9654

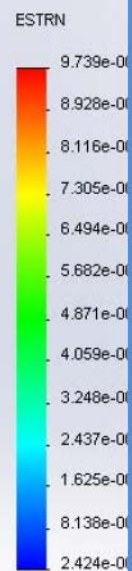
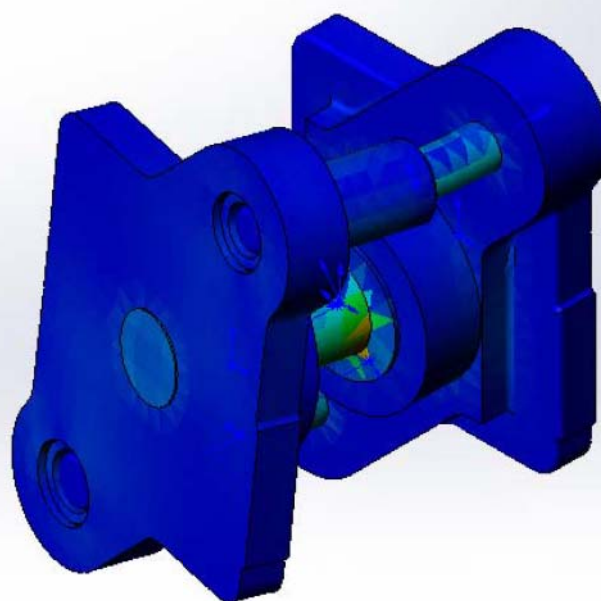
Имя модели: Сборка_E1_1
 Имя исследования: Исследование 1
 Тип эпюры: Статическое перемещение Перемещение1
 Шкала деформации: 1202.54



Сборка_E1_1-Исследование 1-Перемещение-Перемещение1

Имя	Тип	Мин	Макс
Деформация1	ESTRN: Эквивалентная деформация	2.42388e-008 Элемент: 2575	9.73907e-005 Элемент: 22499

Имя модели: Сборка_E1_1
Имя исследования: Исследование 1
Тип эйры: Статическая деформация Деформация1
Шкала деформации: 1202.54



Сборка_E1_1-Исследование 1-Деформация-Деформация1

CERTIFICATE

OF PUBLICATION

THIS CERTIFICATE IS AWARDED TO

Пух Єгор Володимирович

For active participation
in the IX International Scientific and Practical Conference "Innovative technologies in
science and education"

Organizing committee

18 Hours of Participation
(0,6 ECTS credits)



Ekaterina Zvereva



INTERNATIONAL
SCIENCE GROUP

MARCH 04-06, 2021
JERUSALEM, ISRAEL