

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Навчально-науковий механіко-машинобудівний інститут
Кафедра технології виробництва літальних апаратів

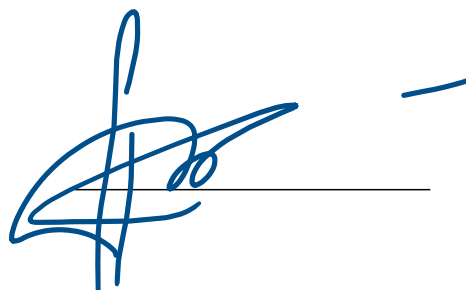
Дипломний проект

освітньо-кваліфікаційного рівня «бакалавр»

Тема: Технологія виготовлення деталі «Рама»

Виконав: студент гр.МД- 91

Хрущельов О.К.



підпис

Керівник: Лаврінєнков А. Д.

підпис

Київ 2023

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Навчально-науковий механіко-машинобудівний інститут

Кафедра технології виробництва літальних апаратів

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о завідувача кафедри

_____ Антон ЛАВРІНЕНКОВ

« ____ » _____ 2023 р.

Дипломний проект

на здобуття ступеня бакалавра

з напрямку підготовки 131 « Прикладна механіка »

на тему: « Технологія виготовлення деталі “Рама” »

Виконав (-ла): студент (-ка) 4 курсу, групи МД-91
(шифр групи)

_____ Хрущельов Олександр Костянтинович

(прізвище, ім'я, по батькові)



(підпис)

Керівник _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище ім'я, по батькові)

_____ (підпис)

Консультант _____
(назва розділу) _____ (посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище ім'я, по батькові) _____ (підпис)

Рецензент _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище ім'я, по батькові) _____ (підпис)

Засвідчую, що у цій дипломній роботі
немає запозичень з праць інших авторів
без відповідних посилань.

Студент _____

(підпис)

Київ – 2023 року

**Пояснювальна записка
до дипломного проекту**

на тему: « Технологія виготовлення деталі «Рама» »

Київ – 2023 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

Інститут Навчально-науковий механіко-машинобудівний

кафедра Технології виробництва літальних апаратів

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 131 «Прикладна механіка»

Освітньо-професійна програма «Прикладна механіка пластичності матеріалів»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о завідувача кафедри

_____ Антон ЛАВРІНЕНКОВ

« ___ » _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проект студенту

Хрущельов Олександр Костянтинович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту Технологія виготовлення деталі “Рама”

керівник проекту _____

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від « ___ » _____ 2023_ р. № _____

2. Термін подання студентом проекту _____

3. Вихідні дані до проекту _____

4. Зміст пояснювальної записки 1. Літогляд; 2. Технологічний розділ;
3. Моделювання; 4. Проектування Вальців; 5. Проектування
штампового оснащення; 6. Висновки; 7. Література

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо) Презентація, креслення складальні вальців, штампу, деталювання, специфікації

6. Консультанти розділів проекту*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Технологічний			
Конструкторський			
Моделювання			

7. Дата видачі завдання 26.03.2023

Календарний план

* Консультантом не може бути зазначено керівника дипломного проекту.

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Технологічний розділ	4 тижні	
2	Моделювання	4 тижні	
3	Літературний огляд	1 тиждень	
4	Проектування штампового оснащення	1 тиждень	

Студент

Олександр, Хрущельов

Керівник

Антон, Лаврінєнков

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4	ДП.МД91.17.	Записка	73	
2	A0	ДП.МД91.17.05.200.00 СК	Штамп КГШП зусиллям 100тс Складальне креслення	1	
3	A3	ДП.МД91.17.05.200.03	Плита підкладна нижня	1	
4	A3	ДП.МД91.17.05.200.04	Плита підкладна верхня	1	
5	A2	ДП.МД91.17.05.200.06	Вставка ручаєва призматична нижня	1	
6	A4	ДП.МД91.17.05.200.13	Виштовхувач	1	
7	A1	ДП.МД91.17.05.100.00 СК	Кувальні вальці	1	

				ДП МД91.17.000		
	ПІБ	Підп	Дата			
Розробн.	Хрущельов		-	Відомість дипломного проекту	Лист	Листів
Керівн.	Лаврінєнков				1	1
Консуьлт.					НТУУ «КПІ»	
Н/контр.					Каф. _____	
Зав.каф.					Гр. _____	

Анотація

Дипломний проект на здобуття ступеня бакалавра

Мета даної роботи – створення технологічного процесу для масового виробництва деталі «Рама», з виконанням ряду технологічних вимог. Головним у виготовленні деталі «Рама» є досягнути неперервної волоконної структури, малих витрат матеріал та високої якості продукції за допомогою обраного технологічного процесу.

Об'єктами дослідження є процеси гарячого вальцювання, гарячого п-подібного гнуття та гарячого об'ємного штампування.

Метою дослідження є встановлення можливості використання обраного технологічного процесу для виготовлення деталі «Рама». Дослідження включатиме в себе проведення моделювання кожної операції для встановлення можливості використовувати циліндричну заготовку після вальцювання та гнуття в якості заготовки для штампування.

Отримані результати моделювання мають практичне значення, так як вони можуть підтвердити або ж навпаки, можливість виготовлення деталі обраним технологічним процесом. Крім того, було розроблено обладнання для штампування та вальцювання.

Ключові слова: Гаряче об'ємне штампування, вальцювання, п-подібне гнуття, моделювання методом нескінчених елементів, розробка устаткування для штампування та вальцювання

					ДП.МД91.17.06.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

Abstract

The bachelor's thesis

The purpose of this work is to create a technological process for the mass production of the "Frame" part, with the fulfillment of a number of technological requirements. The main thing in the production of the "Frame" part is to achieve a continuous fiber structure, low material consumption and high product quality using the selected technological process.

The objects of research are the processes of hot rolling, hot u-shaped bending and hot three-dimensional stamping.

The purpose of the study is to establish the possibility of using the selected technological process for the manufacture of the "Frame" part. The study will include simulations of each operation to determine the feasibility of using the cylindrical blank after rolling and bending as a blank for punching.

The simulation results obtained are of practical importance, as they can confirm, or vice versa, the possibility of manufacturing the part by the selected technological process. In addition, stamping and rolling equipment was developed.

Key words: Hot three-dimensional stamping, rolling, u-shaped bending, modeling by the method of infinite elements, development of equipment for stamping and rolling

					<i>ДП.МД91.17.06.000ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Эмн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		8

ЗМІСТ

ЗМІСТ	9
ВСТУП	11
РОЗДІЛ 1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД	13
1.1. Гаряче об'ємне штампування	13
1.2. Вальцювання	15
1.3. Моделювання процесу гарячого штампування, вальцювання методом скінчених елементів	18
РОЗДІЛ 2 РОЗРОБЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ «РАМА» ГАРЯЧИМ ОБ'ЄМНИМ ШТАМПУВАННЯМ	22
2.1. Деталь «Рама»: модель, аналіз технологічності та можливі варіанти виготовлення деталі	22
2.2. Розроблення креслення виводу для штампування деталі «Рама»	24
2.3. Визначення розмірів вихідної циліндричної заготовки	27
2.4. Розробка технологічного процесу вальцювання фасонної заготовки	28
2.5. Встановлення технологічного процесу виготовлення деталі «Рама». ..	41
2.6. Призначення термічного режиму та вибір устаткування для нагріву. ..	41
2.7. Висновки по розділу	44
РОЗДІЛ 3 МОДЕЛЮВАННЯ В ПРОГРАМНОМУ КОМПЛЕКСІ DEFORM-3D	45
3.1. Моделювання гнуття	45
3.2. Моделювання штампування	49
3.3. Моделювання штампування з використанням альтернативної заготовки	52
3.4. Висновки моделювання. Альтернативний технологічний процес	55
3.5. Висновки по розділу	56
РОЗДІЛ 4 ПРОЕКТУВАННЯ ВАЛЬЦІВ	59
4.1. Розрахунок поперечних розмірів ручаїв вальців.	59
4.2. Визначення центральних кутів	59
4.3. Побудова повздовжнього профілю ручая	61
РОЗДІЛ 5 ПРОЕКТУВАННЯ ШТАМПОВОГО ОСНАЩЕННЯ	62
5.1. Зусилля штампування	62
5.2. Конструювання штампу для КГШП	62

									Арк.
									9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДП.МД91.17.06.000ПЗ				

ВИСНОВКИ.....	68
ЛІТЕРАТУРА.....	70

					<i>ДП.МД91.17.06.000ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		10

ВСТУП

Актуальність теми. Заготовки, що отримуються на кувальних вальцях, все частіше застосовуються в процесах обробки гарячим штампуванням під час виготовлення видовжених виковів із значними різницями площ поперечних перерізів. Заготовки після вальцювання мають дві основні переваги. По-перше, це дозволяє зменшити навантаження на штампувальні молоти шляхом усунення складних етапів обробки заготовок, таких як протягування та підкатування. По-друге, це сприяє впровадженню штампування видовжених виковів на кривошипних гарячештампувальних пресах (КГШП), що значно спрощує конструкцію молотових штампів, зниження використання металу, зниження вартості виготовлення виковів та значного підвищення продуктивності праці. Кувальні вальці є простими та високопродуктивними машинами, які дозволяють механізувати та автоматизувати процес штампування на молотах і кривошипних пресах, а також суттєво знижують витрати на виготовлення виковів. Більш того, використання кувальних вальців не потребує високого рівня кваліфікації робітника. Таким чином, розробка технології та оснащення для виготовлення деталі «Рама» з використанням кувальних вальців є **актуальною** темою.

Мета роботи. Розробити технологічний процес для виготовлення деталі «Рама». Використати методи ГОШ (гарячого об'ємного штампування), п-подібного гнуття та гарячого вальцювання на кувальних вальцях. Провести комп'ютерне моделювання процесів вальцювання, гнуття та штампування, а також спроектувати усе необхідне штампове оснащення для виготовлення деталі «Рама».

Задачі дослідження:

- Зробити літературний огляд по вальцюванню, гнуттю та ГОШ (гарячому об'ємному штампуванню), оглянути проведені дослідження та роботи, спрямовані на удосконалення та комп'ютерне моделювання відповідних технологій.

					ДП.МД91.17.06.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

- Розробити методи виготовлення деталі «Рама», використовуючи методи гарячого об'ємного штампування, гнуття та вальцювання.

- Виконати комп'ютерне моделювання процесів вальцювання заготовки, гарячого об'ємного штампування, гнуття та вальцювання в програмному середовищі DEFORM. Проаналізувати отримані результати досліджень.

- Сконструювати оснащення для штампування, яке буде використовуватись для виготовлення деталі «Рама».

Об'єкт дослідження: Процеси гарячого вальцювання, гарячого гнуття та ГОШ (гарячого об'ємного штампування).

Предмет дослідження: Деталь «Рама».

Методи дослідження: Моделювання усіх технологічних операцій виготовлення деталі «Рама» за допомогою програмного комплексу DEFORM.

					<i>ДП.МД91.17.06.000ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

РОЗДІЛ 1

ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

1.1. Гаряче об'ємне штампування

Основною метою кування та об'ємного штампування, так само як і інших способів обробки металів тиском (ОМТ), є надання заготовці необхідної форми шляхом пластичної деформації. У процесі пластичної деформації структура металу зазнає змін, тому при правильній розробці технологічного процесу обробки тиском та належному використанні термомеханічного режиму можна досягти бажаної структури та механічних властивостей в оброблювальному металі, що найбільш повно задовольнятимуть вимоги, які ставляться до виготовлених деталей. У випадку, коли вимоги до міцності машин високі (особливо, коли необхідно поєднати міцність з легкістю, наприклад, у випадку автомобілів, літаків і т. д.), зростає кількість деталей, які отримують шляхом обробки тиском [1].

Одержання металу необхідної форми за допомогою ОМТ є ефективною альтернативою ливарному виробництву. Хоча складність конфігурації отримуваних деталей та вартість виробництва можуть бути недоліками ОМТ порівняно з ливарним виробництвом, якість металу у штампованих та кованих деталей перевершує якість вилитих деталей. Після відповідної термічної обробки механічні властивості кованих та штампованих деталей є вищими, ніж у вилитих деталей. Ефективність процесу ОМТ проявляється в менших втратах металу, оскільки багато процесів обробки тиском здійснюються без втрати матеріалу. Крім того, обробка тиском є більш продуктивною та економічно вигідною, порівняно з різанням. Тому обробка заготовок, отриманих шляхом ОМТ, часто обмежується вирівнюванням розмірів та поліпшенням якості поверхні деталей. Проте, підвищення точності розмірів та якості поверхонь, отриманих за

					<i>ДП.МД91.17.06.000ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		13

допомогою ОМТ, призводить до того, що в багатьох випадках цей спосіб обробки повністю витісняє різання [1].

Штамування є методом обробки металів за допомогою тиску, при якому метал тече між порожнинами та виступами штампа. Верхня та нижня частини штампа утворюють замкнуту порожнину, що відповідає формі деталі, що штампується. Існує два типи штампування – об’ємне та листове, які можуть здійснюватися як з нагрівом, так і без нього. Штамування почало набувати популярності в кінці XVIII – на початку XIX століття з появою промислового виробництва. Використання парових машин на штамувальних пресах дозволило здійснювати різноманітні пробивні та вирубні операції. У XX столітті штампування отримало розширене застосування в приладобудуванні, машинобудуванні, радіоелектронній промисловості та інших галузях, оскільки воно є набагато більш продуктивним за кування. Штамовані деталі мають менші припуски на обробку, ніж ковани, що забезпечує вищий коефіцієнт використання металу [2].

Гаряче штампування, яке включає деформацію нагрітої металевої заготовки, застосовується для зміни конфігурації та розмірів деталі. Зазвичай цей процес використовується для зміни геометричних параметрів в декількох площинах і називається «гарячим об’ємним штампуванням» (ГОШ). Штамування виконується на різних пресах, таких як молоти з падаючими частинами вагою від 0,5 до 30 тонн, кривошипні гарячештамувальні преси зі зусиллям від 6000 до 10000 тонн, горизонтально-кувальні машини, ковальсько-штамувальні автомати та гідروгвинтові прес-молоти.

Для подальшого розвитку гарячого об’ємного штампування прогноуються застосування штампів для маловідходного штампування та розробка потужного обладнання для холодного штампування. Також розглядаються нові методи деформації металів, включаючи надпластичність та гідростатичні методи [3-6].

					<i>ДП.МД91.17.06.000ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

Обробка металу за допомогою гарячого штампування може здійснюватися різними технологіями, залежно від типу обладнання, геометричних параметрів та матеріалу заготовки. Гарячим об'ємним штампуванням можна виготовляти видовжені деталі, такі як вали, шатуни, важелі, застосовуючи штампувальний прес та операцію протягування або фасонування у кувальних вальцях. Дискові деталі, наприклад, шестерні, фланці, ступиці та кришки, що мають невелику довжину, можуть бути виготовлені за допомогою технології осадження в торець оброблюваної заготовки [1].

1.2. Вальцювання

Для підготовки заготовки перед наступною обробкою та штампуванням застосовується операція вальцювання. Цей процес полягає у перерозподілі металу по довжині заготовки з метою наступного виготовлення деталей штампуванням на іншому обладнанні. Використання профілювання заготовок на кувальних вальцях є корисним для виготовлення виковів спеціальної форми. Це дозволяє зберегти до 20% металу, підвищити продуктивність праці на 150% та знизити собівартість виковів на 25% [7].

Вальцювання є формою повздовжнього прокатування, де вихідна заготовка зменшується в поперечних розмірах та збільшується в довжині за допомогою валків. Процес вальцювання вимагає використання калібрів для обтиснення заготовки на певних ділянках, аналогічно до повздовжнього прокатування сортових профілів [7].

У відмінність від повздовжнього прокатування, вальцювання відбувається під час руху заготовки зі зміною напрямку, наприклад, на одноклітєвих одно- та багаторучаєвих кувальних вальцях. Обтискання заготовки відбувається лише на певній частині окружності валка, що створює перехідні ділянки зі змінним рівнем обтискання. Цей підхід дозволяє збільшити ступінь обтискання заготовки під час кожного проходу.

					ДП.МД91.17.06.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

Під час процесу вальцювання калібр нарізується не на всій довжині валка, а лише на певній частині його окружності. Решта довжини окружності обробляється з використанням калібру більшого перерізу або з меншим радіусом, що дозволяє заготовці повернутись у початкове положення до упору 2 (див. рис. 1.1, а). Вальцюючий інструмент (сектори, вставки) також не установлюється на всій окружності валків, і коли передній край інструменту наближається до заготовки, що знаходиться в зазорі між валками в початковому положенні, починається обтискання заготовки з одночасним поворотом її на передню сторону вальців – сторону подачі (див. рис. 1.1, б-г).

Найчастіше вальцювання використовується для отримання фасонних заготовок, які потім піддаються штампуванню на молотах або КГШП. Фасонні заготовки, що формуються за допомогою одно- або багаторучаєвого вальцювання, можуть мати різні поперечні перерізи – круглі, квадратні, прямокутні або овальні – вздовж осі.

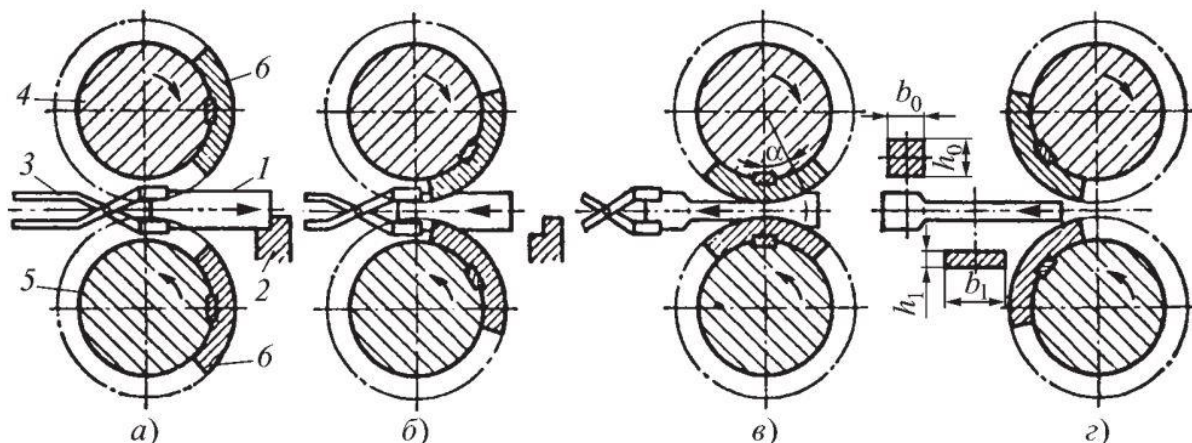


Рисунок 1.1 – Послідовність технологічного процесу вальцювання:

а – подача заготовки у вихідне положення до упору; б – захват заготовки та втягування її передніми виступами інструменту в зону деформації; в – процес вальцювання; г – вихід заготовки із вальців

(1 – заготовка; 2 – упор; 3 – кліщі; 4 та 5 – валки; 6 – інструмент; α – кут захвату; h_0, b_0 – розміри заготовки до вальцювання; h_1, b_1 – розміри заготовки після вальцювання);

Вальцьовані заготовки складаються з трьох основних ділянок: ділянка, яка не піддається обтисканню і має форму поперечного перерізу вихідної заготовки (ділянки з найбільшою площею поперечного перерізу, розташовані в одному або обох кінцях або посередині вальцьованої заготовки); перехідна ділянка; та стержень, який має постійний або змінний поперечний переріз вздовж довжини.

Вальцювання використовується як завершальна операція для формування окремих частин викову до заданих розмірів після їх штампування на молотах, КГШП або гідроковано-механічних пресах. Використання вальцювання особливо корисне для отримання тонких полотен на виковах, які складно отримати на молотах або пресах. Вальцювання на кувальних вальцях дозволяє деформувати заготовку неперервно від перерізу до перерізу, а не весь об'єм одночасно, як при штампуванні на молотах або КГШП. Для відтяжки кінців виковів і заготовок використовується одноручне вальцювання з кількома пропусками або багаторучне вальцювання з двома або більше пропусками [7].

Одним із ключових напрямків технічного прогресу у виробництві ковано-штампованих виробів є заміна гарячого штампування на молотах штампуванням на гідроковано-механічних пресах (КГШП). Переваги гарячого штампування на пресах порівняно з штампуванням на молотах вже відомі: висока продуктивність, більша точність та якість виробів, нижча вартість, збереження металу, покращені умови праці та можливості автоматизації. Тому доцільно використовувати кувальні вальці, що розташовуються поруч з пресами, для отримання фасонних заготовок. При проектуванні гарячо-штампувальних цехів слід передбачати таке розташування обладнання [7].

Отже, використання кувальних вальців є важливою умовою розширення можливостей КГШП і забезпечення їх універсальності. Це також дозволить створювати автоматизовані та механізовані лінії для штампування складних виробів, зокрема шатунів, розподільних валів та колінчастих валів для тракторів, автомобілів та інших деталей. Використання кувальних вальців дозволяє

					<i>ДП.МД91.17.06.000ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

профілювати заготовки під час процесу штампування, не знижуючи продуктивність кривошипних пресів.

1.3. Моделювання процесу гарячого штампування, вальцювання методом скінчених елементів

Використання комп’ютерного моделювання процесів обробки металів та технологій (ОМТ) дозволяє прогнозувати заповнення порожнин штампу, необхідну силу та енергію деформування, а також виявляти можливість виникнення дефектів у заготовці. Сьогодні впровадження технологій моделювання процесів ОМТ стає все поширенішим явищем як у великих, так і у середніх промислових підприємствах.

Основою моделювання процесів ОМТ є факт того, що метал у штампі тече шляхом найменшого опору. Сила деформування залежить від розміру та форми заготовки, тертя та властивостей матеріалу. Крім того, за допомогою моделювання можна визначити інші важливі параметри заготовки, такі як накопичена деформація, напруження, температура, напрям волокна в заготовці, можливість руйнування заготовки та знос інструменту.

Досвід застосування комп’ютерного моделювання процесів ОМТ широко висвітлюється в наукових журналах та на наукових конференціях.

Автори в роботі [8] авторами представили можливості програми QForm по розрахунку напружено-деформованого стану (НДС) інструментів, оптимізації течії металу, виправленню дефектів при отриманні виковів гарячим деформуванням. Розглянуто так модулі програми, що дозволяють розрахунки динамічної та статичної рекристалізації; змінювати фазовий склад металу при термічній обробці. В роботі розглянуто приклад технологічного процесу отримання викову деталі шатун. Технологічний процес включає чотири переходи процесу вальцювання, операцію плющення, попередню та кінцеву

штамповку на гвинтовому пресі, а також операцію обрізування облою. Також показано процес моделювання вальцювання, що показано на рис. 1.2. Встановлено, що на волокнисту будову кінцевого викову значно впливає форма вальцьованої заготовки. Отже, за допомогою модифікації заготовки можна досягти отримання оптимальної волокнистої структури у викові.

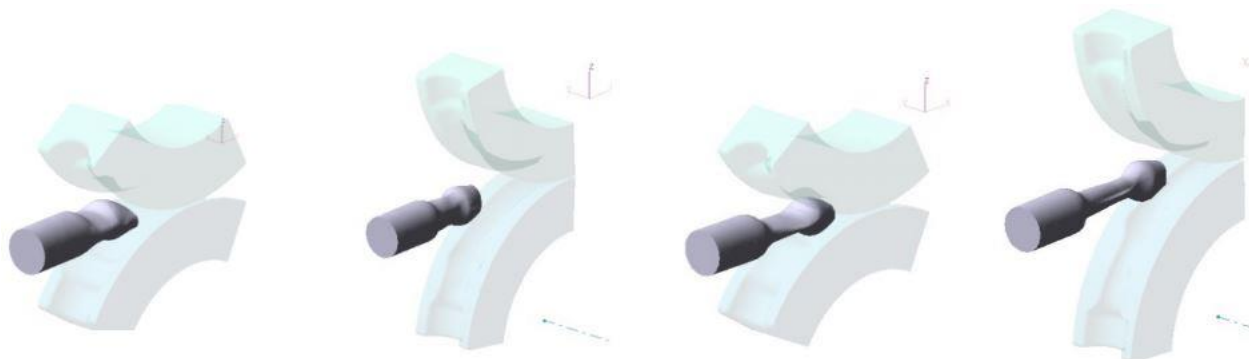


Рисунок 1.2 – Комп’ютерне моделювання в програмі QForm переходів вальцювання для отримання викову деталі шатун.

Також в роботі показана передбачена авторами роботи (рис. 1.3а,б) та реальна (рис. 1.3в) волокниста будова шатуна, яку отримали до та після оптимізації процесу.

З рисунків видно, що отримані моделюванням волокнисті лінії відповідають макроструктурі реальної деталі на зрізі. Волокниста будова, яка отримана після оптимізації процесу забезпечує більш високі експлуатаційні характеристики деталі.

Автори в роботі [9] дослідили засобами комп’ютерного моделювання об’ємного штампування вплив основних технологічних параметрів на процес формоутворення деталей. Приводяться результати комп’ютерної обробки процесів деформування при ГОШ, представлено виконані висновки про зв’язок основних технологічних параметрів ГОШ з тепловим станом деформованої заготовки, а також напружений стан інструментів. Виявлено та

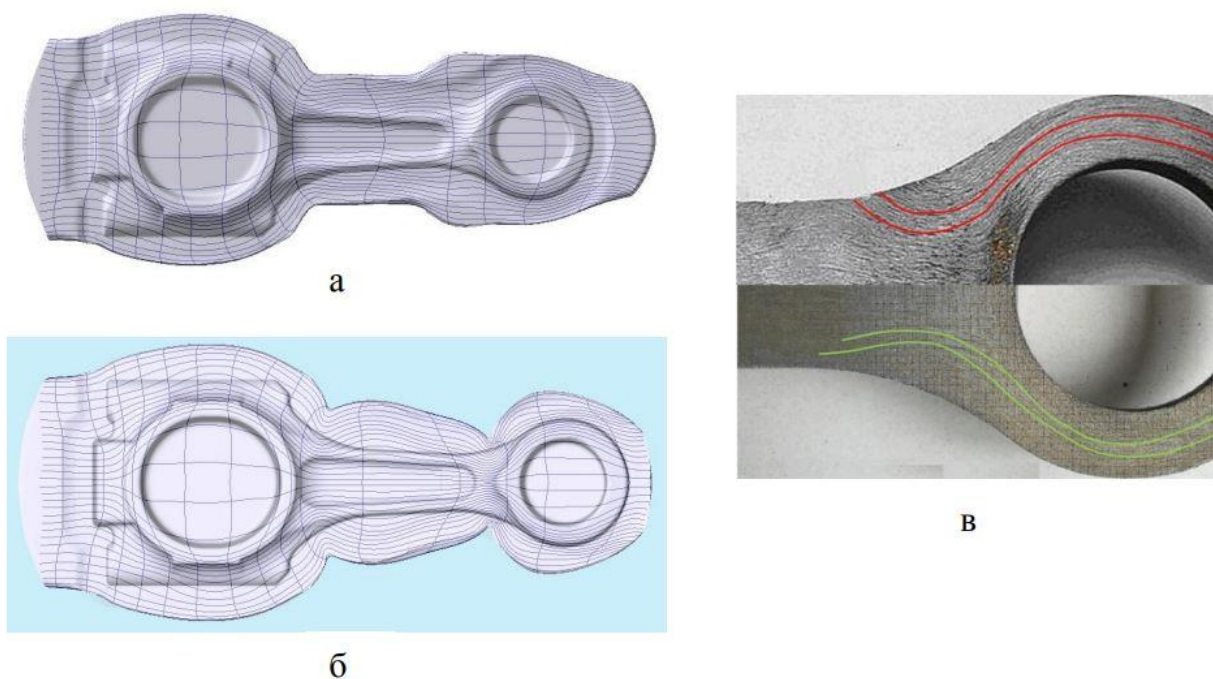


Рисунок 1.3 – Волокниста будова викову шатуна, яка передбачена авторами [8] комп'ютерним моделюванням:

а, б – до та після оптимізації, в – реальна волокниста будова до та після оптимізації на зрізі деталі

описано ефект, при якому відбувається короткочасне виникнення локальних зон перегріву в матеріалі заготовки під час деформування. Автори запропонували метод визначення раціонального об'єму заготовки за результатами критеріїв заповнення гравюри та напружень, які виникають в інструменті. Приклад етапів (ударів на молоті) деформування заготовки в межах одної технологічної операції, який автори виконали в програмному середовищі QForm показаний на рис. 1.4.

В роботі [10] автори дослідили комп'ютерне моделювання в програмних комплексах QForm та DEFORM-3D процесів гарячого об'ємного штампування алюмінієвих сплавів. На основі комп'ютерного моделювання розроблена методологія модернізації технологічних процесів ГОШ виковів із алюмінієвих сплавів, що дозволяє підвищити їх економічну ефективність.

						ДП.МД91.17.06.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			20

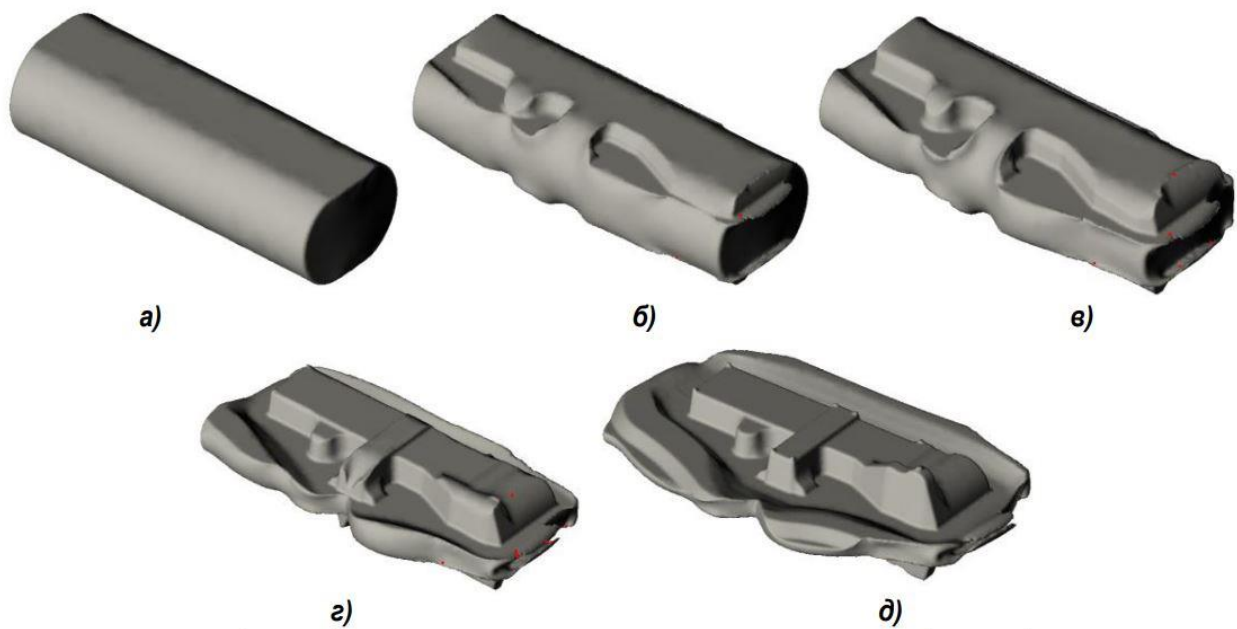


Рисунок 1.4 – Приклад етапів (ударів) деформування на молоті заготовки в межах одної технологічної операції:

а – вихідна заготовка, б – форма заготовки після 1-го удару, в – після 2-го удару, г – після 4-го удару, д – після 6-го удару

					ДП.МД91.17.06.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

РОЗДІЛ 2

РОЗРОБЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ «РАМА» ГАРЯЧИМ ОБ'ЄМНИМ ШТАМПУВАННЯМ

2.1. Деталь «Рама»: модель, аналіз технологічності та можливі варіанти виготовлення деталі.

На рисунку 2.1 представлена тривимірна модель, виконану в САПР (системі автоматизованого проектування) «КОМПАС-3D» деталі «Рама».

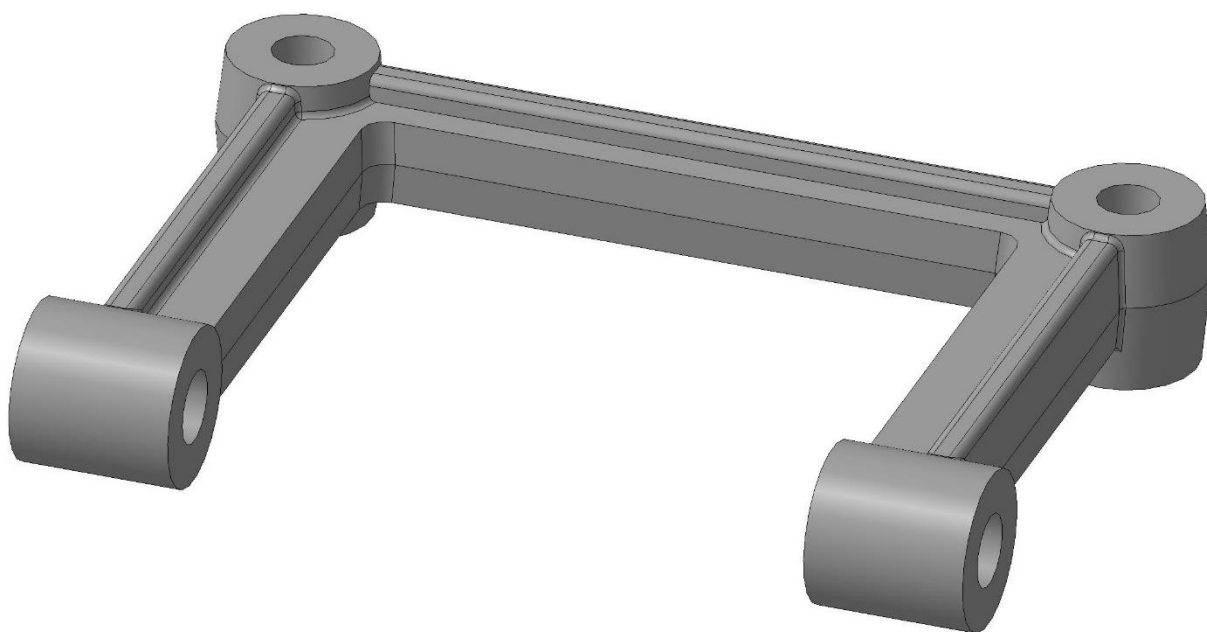


Рисунок 2.1 – Тривимірна модель деталі «Рама».

Деталь «Рама» виготовляється із сталі 30Х ГОСТ 4543-71.

На рисунку 2.2 показаний хімічний склад сталі 30Х.



Рисунок 2.2 – Хімічний склад сталі 30Х.

За допомогою команди «МЦХ моделі» в програмі «КОМПАС-3D» визначили масу та об'єм деталі, що показано на рис. 2.3.

Отже, маємо деталь «Рама» масою $M_d = 885$ г та об'ємом $V_d = 113043$ мм³.

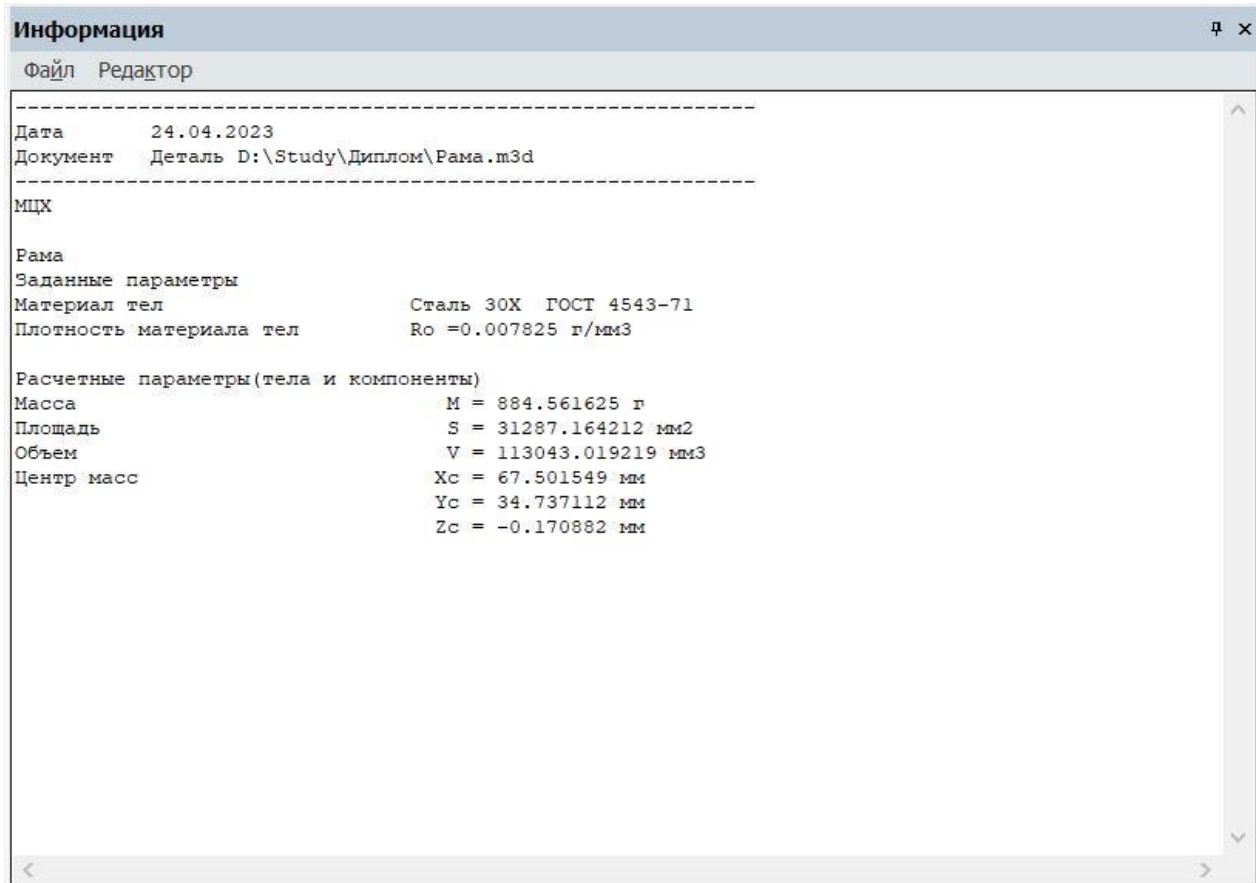


Рисунок 2.3 – Маса та об'єм деталі «Рама».

Масштаб виробництва деталі – масове.

Деталь «Рама» відноситься до першої технологічної групи – деталей видовженої форми, що штампуються поперек осі.

Існують кілька способів гарячого об'ємного штампування для виготовлення деталі «Рама», а саме: штампування на ГKM, штампування на КГШП, штампування на молотах, штампування на гвинтових пресах.

Ми обираємо штампування на кривошипному гарячештампувальному пресі (КГШП) за відкритою схемою для виготовлення викову на деталь «Рама».

Цей варіант вибору обумовлена наступними факторами:

									Арк.
									23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДП.МД91.17.06.000ПЗ				

- Використання штампування на КГШП за відкритою схемою дозволяє досягти величини коефіцієнта корисної дії (ККД), яка втричі вища, ніж при штампуванні на молотах. Це означає більш ефективне використання енергії під час процесу штампування.

- Використання шаботів та парогенераторних станцій не потрібне при штампуванні на КГШП за відкритою схемою. Це спрощує технологічний процес і зменшує витрати на додаткове обладнання.

- Особливістю штампування на КГШП є його неударний характер роботи, що відрізняється від молотів. Це може бути перевагою в умовах виробництва, де необхідно уникати динамічних навантажень на деталь.

Отже, вибір штампування на КГШП за відкритою схемою є оптимальним для виготовлення викову на деталі «Рама».

2.2. Розроблення креслення викову для штампування деталі «Рама»

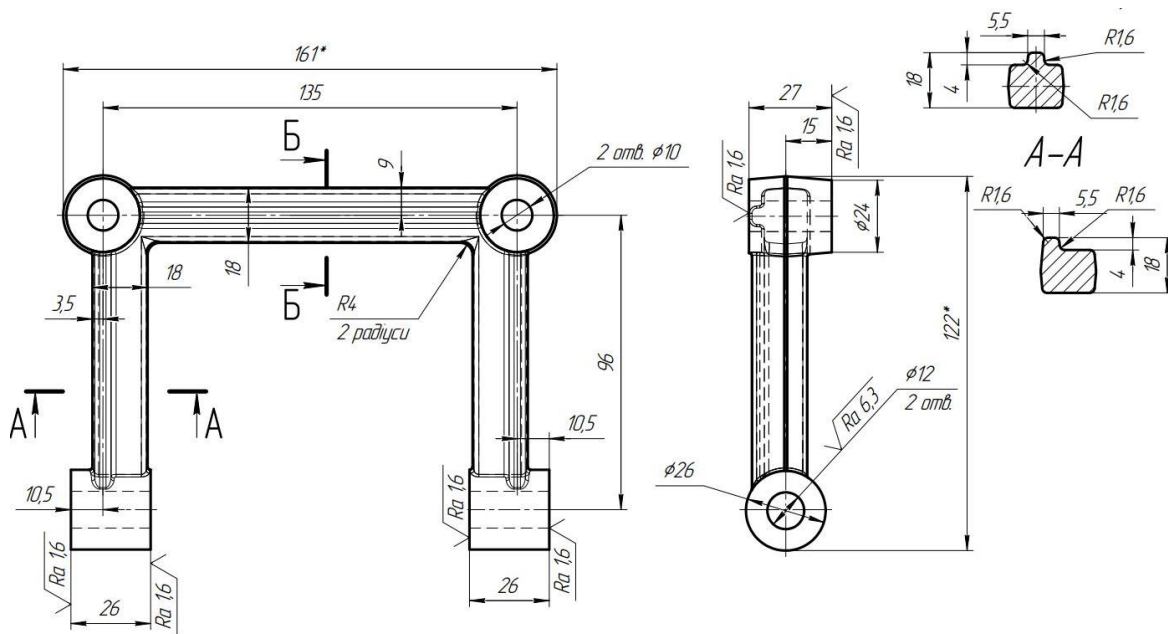
Креслення деталі «Рама» із розмірами необхідними для виготовлення креслення викову показано на рис. 2.4.

Для розроблення креслення викову спочатку призначимо лінію роз'єму штампу. Приймаємо плоский роз'єм. Також призначаються напуски на ті елементи деталі, які неможливо відштампувати. Це будуть два отвори $\varnothing 10$ мм та два отвори $\varnothing 12$ мм.

Приймаємо клас точності викову – Т4. Тому що при відкритому штампуванні на КГШП згідно [Держстандарт7505-89] рекомендується приймати класи точності виковів Т4 та Т5.

В залежності від хімічного складу матеріалу деталі – сталь 30Х, де вміст вуглецю становить до 0,3 % (рис. 2.2). Тому встановлюємо групу сталі М1 [Держстандарт7505-89].

					<i>ДП.МД91.17.06.000ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24



1. *Розміри для довідок.
2. Невказані радіуси скруглень R1 мм.
3. H12, h12, $\pm \frac{IT12}{2}$.
4. Невказані штамвальні ухили вибрати в залежності від способу штампування (молот: 7° – зовнішні, 10° – внутрішні; КГШП: 5° – зовнішні, 7° – внутрішні).

Рисунок 2.4 – Креслення деталі «Рама» із технічними умовами.

Далі щоб визначити ступінь складності викову (C1, C2, C3 чи C4) знайдемо відношення об'єму деталі до об'єму описаної навколо неї фігури [Держстандарт 7505-89].

Об'єм деталі «Рама» показано на рис. 2.3:

$$V_d = 113043 \text{ мм}^3$$

Розраховуємо об'єм описаної навколо деталі фігури габаритами 161x27x122 мм:

$$V_\phi = 530334 \text{ мм}^3$$

В такому випадку співвідношення об'ємів становить:

$$\frac{V_d}{V_\phi} = \frac{113043}{530334} = 0,21$$

Встановили, що ступінь складності викову – C3 [Держстандарт 7505-89].

									ДП.МД91.17.06.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						25

За формулою із [Держстандарт7505-89] встановлюємо розрахункову масу викову:

$$M_{в.р.} = M_{д.} \cdot K_p$$

де K_p – коефіцієнт, за допомогою якого визначається розрахункова маса викову. Деталь належить до класу деталей видовженої форми із зігнутою віссю. Згідно [31] для деталей цієї групи $K_p = 1,1 - 1,4$. Приймаємо $K_p = 1,3$. Тоді, розрахункова маса викову дорівнює:

$$M_{в.р.} = 885 \cdot 1,3 = 1151 \text{ г} = 1,15 \text{ кг}$$

На рис. 2.5 показана схема для визначення вихідного індексу.

Маса поковки, кг	Група сталі			Степень складності поковки			Клас точності поковки					Вихідний індекс	
	M1	M2	M3	C1	C2	C3	C4	T1	T2	T3	T4		T5
До 0,5 включ.													1
СВ 0,5 до 1,0 "													2
" 1,0 " 1,8 "													3
" 1,8 " 3,2 "													4
" 3,2 " 5,6 "													5
" 5,6 " 10,0 "													6
" 10,0 " 20,0 "													7
" 20,0 " 50,0 "													8
" 50,0 " 125,0 "													9
" 125,0 " 250,0 "													10
													11
													12
													13
													14
													15
													16
													17
													18
													19
													20
													21
													22
													23

Рисунок 2.5 – Схема для визначення вихідного індексу.

Далі за визначеними розрахунковою масою викову ($M_{в.р.} = 1,15 \text{ кг}$), групою сталі (M1), класом точності викову (Т4) та ступенем складності (С3) знаходимо вихідний індекс за схемою, яку показано на рис. 2.5.

Отже, вихідний індекс – 11.

2.3. Визначення розмірів вихідної циліндричної заготовки

Спочатку для визначення розмірів вихідної заготовки визначимо її об'єм за формулою [3, ст. 183]:

$$V_{зг} = V_{в} + V_{виг} + V_{об}$$

де $V_{в}$ – об'єм викову; $V_{виг}$ – витрати на вигар (приймаємо 0,8 % від об'єму викову $V_{в}$); $V_{об}$ – об'єм облою.

Об'єм викову деталі «Рама» визначили за допомогою програми «Компас-3D»: $V_{в} = 113043 \text{ мм}^3$.

Об'єм облою $V_{об}$ при штампуванні на КГШП визначається за наступною формулою [3, ст. 183]:

$$V_{об} = V_{міст} + V_{маг} = p(bh_3 + h_2B)$$

де $V_{міст}$ – об'єм містка облою; $V_{маг}$ – об'єм металу в магазині облою; p – периметр викову, мм; b – ширина містка, мм; h_3 – товщина містка, мм; h_2 – середня товщина облою по магазину, мм; B – ширина облою в магазині, мм.

На рис. 2.6 зображено з позначеннями її розмірів прийнятий тип облойної канавки.

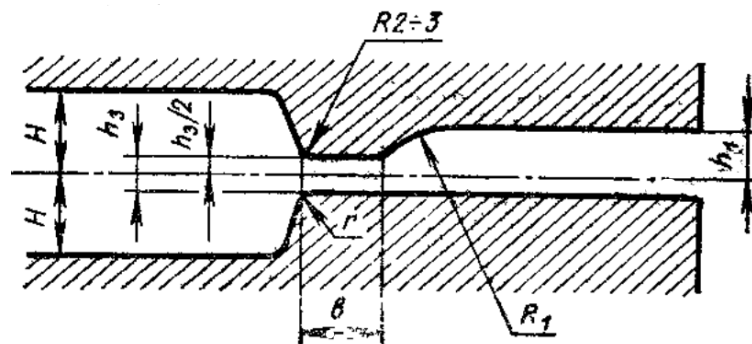


Рисунок 2.6 – Прийнятий тип облойної канавки.

Периметр викову деталі «Рама» $p = 814$ мм. Для виковів, що мають масу від 0,5 кг до 2 кг встановили, що $B = 15$ мм згідно [3, ст. 183]. Для типорозміру КГШП 25 МН відповідно до [3, ст.184, табл. 2] встановлюємо розміри облойної канавки: $b = 6$ мм, $h_3 = 3$ мм, $h_2 = 2h_3 = 6$ мм.

Тоді об'єм облою дорівнює:

									Арк.
									27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДП.МД91.17.06.000ПЗ				

$$V_{об} = p(bh_3 + h_2B) = 814 \cdot (6 \cdot 3 + 6 \cdot 15) = 87912 \text{ мм}^3$$

В результаті, знайдемо об'єм необхідної заготовки:

$$\begin{aligned} V_{зг} &= V_B + V_{виг} + V_{об} = \\ &= 113043 + 0,008 \cdot 113043 + 87912 = 201859 \text{ мм}^3 \end{aligned}$$

Спочатку використовуємо циліндричну заготовку, довжину якої коригуємо за довжиною викову та приймаємо її $l_{зг1} = 353 \text{ мм}$.

Тоді діаметр заготовки буде:

$$d_{зг1} = \sqrt{\frac{4 \cdot V_{зг}}{\pi \cdot l_{зг1}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 201859}{\pi \cdot 353}} = 27 \text{ мм}$$

Діаметр визначеного прутка входить до стандартного ряду із [СеменовТом1, ст. 76, табл. 13], тому приймаємо $d_{зг1} = 27 \text{ мм}$.

Таким чином, однією із визначених заготовок для штампування викову деталі «Рама» є циліндрична заготовка діаметром $d_{зг1} = 27 \text{ мм}$ та довжиною $l_{зг1} = 353 \text{ мм}$.

2.4. Розробка технологічного процесу вальцювання фасонної заготовки

2.4.1. Визначаємо основні параметри викову.

Матеріал – сталь 30Х.

Площа проекції викову на площину роз'єму штампа:

$$F_B = 7039 \text{ мм}^2$$

Периметр викову деталі «Рама»:

$$L_B = 814 \text{ мм}$$

Довжина викову деталі «Рама»:

$$l_B = 353 \text{ мм}$$

Об'єм викову деталі «Рама»:

$$V_B = 113043 \text{ мм}^3$$

Маса викову деталі «Рама»:

$$G_B = 885 \text{ г}$$

					<i>ДП.МД91.17.06.000ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

2.4.2. Визначаємо розміри облойної канавки.

Оскільки приймаємо, що вков шарпується на КГШП зусиллям 2500 т, то в залежності від зусилля пресу визначаємо наступні параметри облойної канавки [Атрошенко, табл. 12, ст. 50]:

$$h_0 = 3 \text{ мм}, l = 8 \text{ мм}$$

2.4.3. Побудуємо епюру перерізів.

Ураховуючи складну конфігурацію вкову, ми розпочнемо з побудови епюру перерізів вкову. Площа цього епюру, враховуючи масштаби, буде відображати об'єм вкову.

Призначаємо поперечні перерізи вкову, як показано на рис. 2.7, та заносимо величини визначених площ до таблиці 2.2.

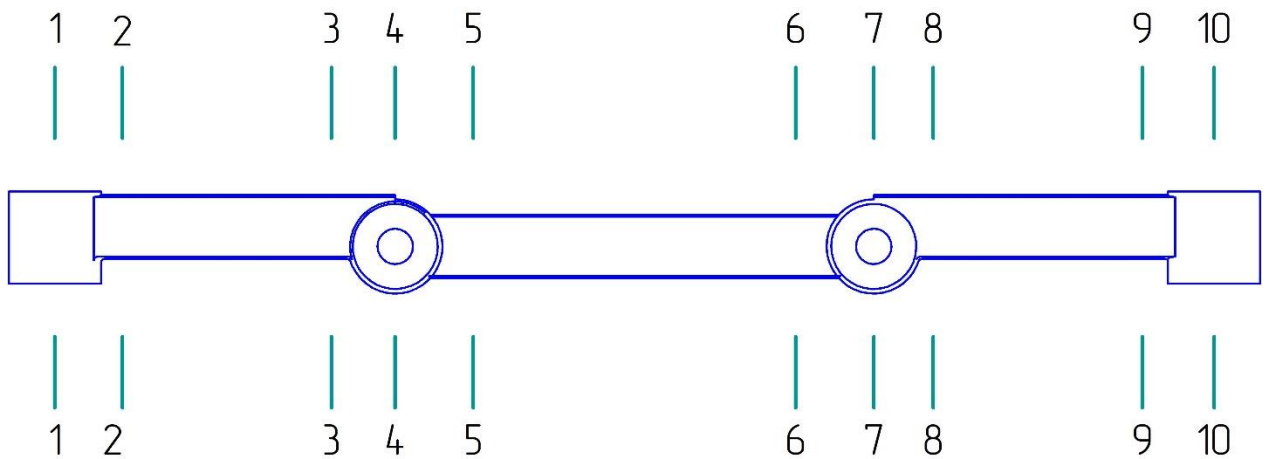


Рисунок 2.7 – Характерні перерізи вкову деталі «Рама» для побудови епюри перерізів.

Призначаємо масштаб площі $\mu_F = 0,05$ для побудови епюри перерізів та визначаємо ординати площ за формулою:

$$h_i = \mu_F \cdot F_i$$

Табл. 2.1. Площі характерних перерізів вкову деталі «Рама» для побудови епюри перерізів

№	(1-1)	(2-2)	(3-3)	(4-4)	(5-5)
---	-------	-------	-------	-------	-------

F_i	676	266	266	757	266
h_i	33,8	13,3	13,3	37,9	13,3
№	(6-6)	(7-7)	(8-8)	(9-9)	(10-10)
F_i	266	757	266	266	676
h_i	13,3	37,9	13,3	13,3	33,8

На рис. 2.8 показано епюру перерізів викову без врахування облою.

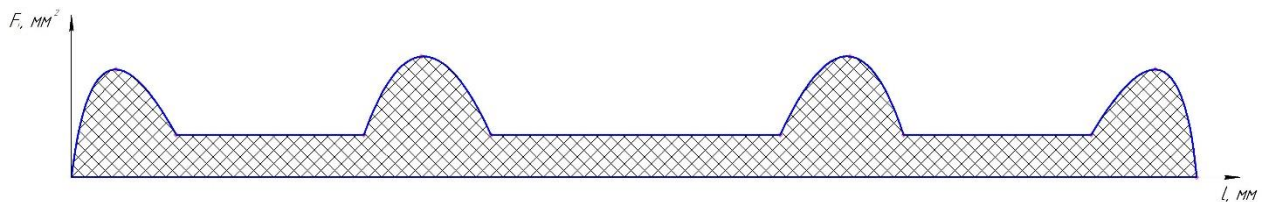


Рисунок 2.8 – Епюра перерізів викову без врахування облою.

Тепер необхідно побудувати епюру перерізів із врахуванням облою.

Для цього приймаємо площу поперечного перерізу облою рівною $2F_M$, тоді:

$$F_0 = 2F_M = 2 \cdot 3 \cdot 8 = 48 \text{ мм}^2$$

Площі поперечних перерізів сумарної епюри викову з облоєм визначаємо за формулою:

$$F_e = F_{\Pi} + 2F_0$$

Після розрахунків, отримані дані заносимо до табл. 2.3 та будуємо сумарну епюру перерізів, яку показано на рис. 2.11.

Табл. 2.2. Площі характерних сумарних перерізів викову деталі «Рама» для побудови сумарної епюри перерізів

№	(1-1)	(2-2)	(3-3)	(4-4)	(5-5)
F_i	676	266	266	757	266
F_e	772	364	364	853	364
h_i	38,6	18,1	18,1	42,7	18,1

№	(6-6)	(7-7)	(8-8)	(9-9)	(10-10)
F_i	266	757	266	266	676
F_e	364	853	364	364	772
h_i	18,1	42,7	18,1	18,1	38,6

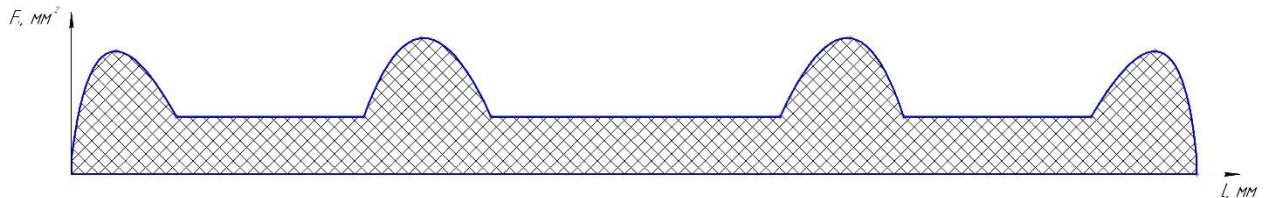


Рисунок 2.9 – Сумарна епюра перерізів із врахуванням облою.

Для знаходження об'єму потрібної заготовки, поділимо сумарну площу знайденої епюри $F_{\text{еп.сум.}}$ на масштабний коефіцієнт μ_F :

$$V_{\text{заг}} = \frac{F_{\text{еп.сум.}}}{\mu_F} = \frac{8535}{0,05} = 170700 \text{ мм}^3$$

Також для розрахунку ординати середнього перерізу, поділимо сумарну площу епюри на її довжину:

$$h_{\text{сер}} = \frac{F_{\text{еп.сум.}}}{L_{\text{еп}}} = \frac{8535}{353} = 24,2 \text{ мм}$$

2.4.4. Розрахунок та встановлення розмірів розрахункової заготовки.

Визначаємо діаметри розрахункової заготовки в характерних перерізах за формулою:

$$d_e = 1,13\sqrt{F_e}$$

Всі отримані дані заносимо до табл. 2.4.

Площа перерізу середньої розрахункової заготовки:

$$F_{\text{сер}} = \frac{V_{\text{заг}}}{L_{\text{еп}}} = \frac{170700}{353} = 484 \text{ мм}^2$$

Табл. 2.3. Діаметри розрахункової заготовки в характерних перерізах.

№	(1-1)	(2-2)	(3-3)	(4-4)	(5-5)
---	-------	-------	-------	-------	-------

F_e	772	364	364	853	364
h_i	38,6	18,1	18,1	42,7	18,1
d_e	31,4	21,6	21,6	33	21,6
№	(6-6)	(7-7)	(8-8)	(9-9)	(10-10)
F_e	364	853	364	364	772
h_i	18,1	42,7	18,1	18,1	38,6
d_e	21,6	33	21,6	21,6	31,4

Тепер розраховуємо діаметр середньої розрахункової заготовки:

$$d_{\text{сер}} = 1,13 \sqrt{F_{\text{сер}}} = 1,13 \sqrt{484} = 25 \text{ мм}$$

На рис. 2.10 показано побудовану розрахункову заготовку за даними в табл. 2.4.

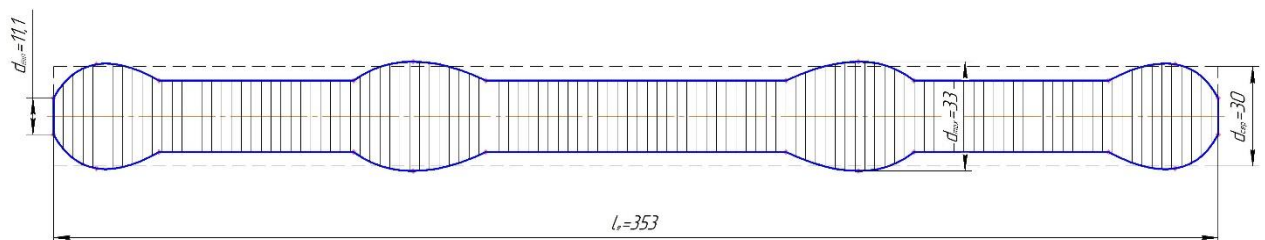


Рисунок 2.10 – Розрахункова заготовка.

Встановлюємо необхідність використання вальцювання.

Для цього спочатку розраховуємо коефіцієнти трудомісткості за формулами:

$$\alpha = \frac{d_{\text{max}}}{d_{\text{сер}}} = \frac{33}{25} = 1,32$$

$$\beta = \frac{L}{d_{\text{сер}}} = \frac{353}{25} = 14,1$$

На рис. 2.11 показано діаграму, за якою визначаємо чи необхідне вальцювання. Оскільки за знайденими коефіцієнтами та масою вихову попадаємо в зону А, то вальцювання необхідне.

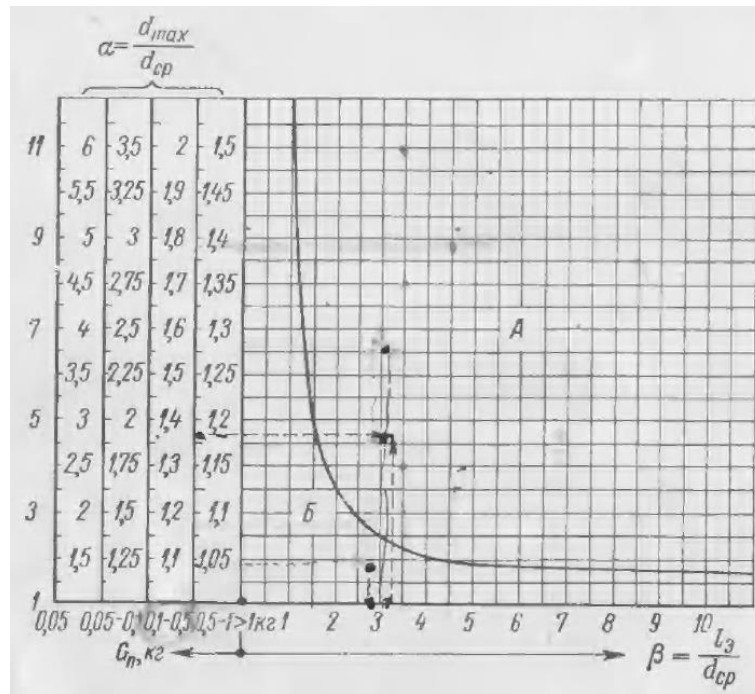


Рисунок 2.11 – Діаграма для визначення необхідності вальцювання заготовок.

Виходячи із епюри перерізів розрахункової заготовки (рис. 2.12, контур 1), щоб визначити розміри вихідної заготовки для вальцювання, виконуємо побудову епюри перерізів вальцьованої заготовки (рис. 2.12, контур 2). При цьому використовуємо наступні міркування [7, ст. 55]. Криволінійні ділянки контуру епюри перерізів розрахункової заготовки (контур 1) замінюємо прямолінійними (контур 2) для спрощення конструкції ручаїв вальцовочних штампів. Проводимо вказане коригування, користуючись методом рівності об'ємів. Однак для спрощення розрахунків при знаходженні контуру 2, рівність об'ємів елементів розрахункової та вальцьованої заготовок можна заміняємо рівністю відповідних їм площ епюри перерізів розрахункової та вальцьованої заготовки.

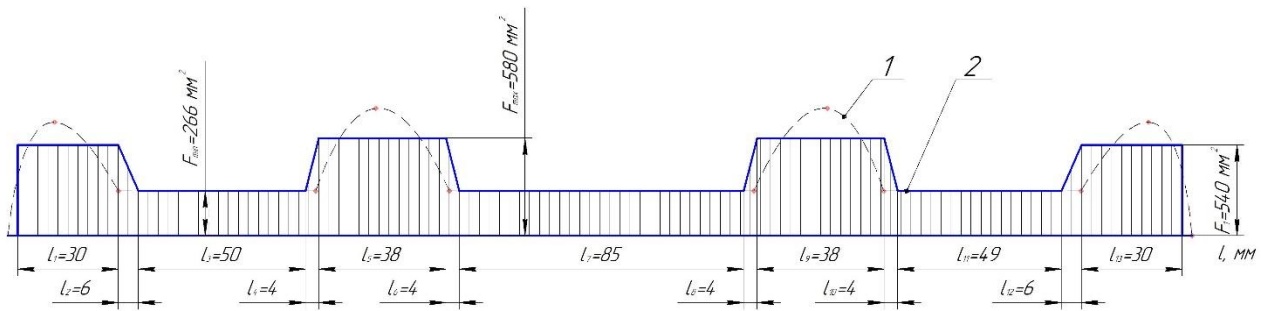


Рисунок 2.12 – Епюра поперечних перерізів заготовок:

1 – розрахункової; 2 – вальцованої

У вигляді прямих ліній, перпендикулярних до осі заготовки, виконуються кінцеві ділянки контуру епюри перерізів вальцованої заготовки (контур 2). Для уникнення «закусування» облойним містком та для зручності вкладання заготовки в ручай штампу довжини цих ділянок потрібно робити коротше, ніж ділянки епюри перерізів розрахункової заготовки (контур 1).

Тепер визначаємо із врахуванням вигару розміри вихідної заготовки за формулами:

$$F_{max}^{\cdot} = \delta \cdot F_{max} = 1,006 \cdot 580 = 584 \text{ мм}^2$$

$$d_{зг}^{\cdot} = 1,13 \cdot \sqrt{F_{max}^{\cdot}} = 1,13 \cdot \sqrt{584} = 27,3 \text{ мм}$$

В результаті обираємо круглу заготовку по ГОСТ 2590-88 із діаметром в холодному стані $d_{зг}^{\cdot} = 28$ мм та площею поперечного перерізу $F_{зг} = 616 \text{ мм}^2$.

Діаметр заготовки в гарячому стані буде $d_{зг}^{\cdot} = 28,1$ мм, площа поперечного перерізу в гарячому стані $F_{зг}^{\cdot} = 620 \text{ мм}^2$, а об'єм розраховуємо за формулою:

$$V_{зг}^{\cdot} = V_e \cdot \frac{100 + y}{100}$$

де V_e – об'єм розрахункової заготовки, який визначаємо за значеннями площі епюри $F_{еп.пер.}$ та масштабним коефіцієнтом μ_F із епюри поперечних перерізів вальцованої заготовки (рис. 2.14, контур 2) й розраховуємо за формулою:

$$V_e = \frac{F_{еп.пер.}}{\mu_F} = \frac{6852}{0,05} = 137040 \text{ мм}^3$$

y – вигар металу в % (встановлено, що при індукційному нагріванні $y = 0,5 - 1\%$, приймаємо при цьому $y = 1\%$).

Об'єм заготовки тоді в гарячому стані:

$$V'_{зг} = 137040 \cdot \frac{100 + 1}{100} = 138410 \text{ мм}^3$$

Звідси визначається довжина заготовки в гарячому стані:

$$l'_{зг} = \frac{V'_{зг}}{F'_{зг}} = \frac{138410}{620} = 223,2 \text{ мм}$$

В холодному стані довжина заготовки визначається за формулою:

$$l_{зг} = 0,985 \cdot l'_{зг} = 0,985 \cdot 223,2 = 219,9 \text{ мм}$$

2.4.5. Визначення кількості пропусків вальцювання.

Для цього спочатку визначаємо загальний максимальний коефіцієнт витягування за формулою [7, ст. 58]:

$$\lambda_{зг\max} = \frac{F'_{зг}}{F_{\min}} = \frac{620}{266} = 2,3$$

Відношення міжцентрової відстані A валків до висоти h_0 вихідної заготовки:

$$\frac{A}{h_0} = \frac{320}{\sqrt{F'_{зг}}} = \frac{320}{\sqrt{620}} = 12,9$$

Кількість пропусків знаходимо за формулою [7, ст. 59]:

$$n = \frac{\lg \lambda_{зг\max}}{\lg \lambda_{\text{сер}}} = \frac{\lg 2,3}{\lg 2} = 1,2$$

Оскільки по графіку [7, ст. 61, рис. 23] при $\frac{A}{h_0} = 13$ та $\lambda_{зг\max} = 2,3$ необхідно два пропуски, то приймаємо $n = 2$. Вибираємо систему ручаїв круг-овал-круг.

2.4.6. Визначення повздовжніх та поперечних розмірів вальцованої та фасонної заготовок.

Розміри вальцованої заготовки

Конструюємо вальцовану заготовку та визначаємо її розміри (рис. 2.15), користуючись епюрою перерізів вальцованої заготовки (рис. 2.14). Повздовжні

					ДП.МД91.17.06.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

розміри для цього беремо безпосередньо із епюри перерізів, а поперечні – розраховуються за величиною площі відповідної ділянки.

Користуючись епюрою перерізів вальцьованої заготовки розраховуємо об'єм кожної ділянки.

Об'єм розрахункової заготовки визначається за формулою:

$$V_{\text{по}} = F_{\text{е.п.}} \cdot M$$

де $F_{\text{е.п.}}$ – площа епюри перерізів розрахункової заготовки;

M – прийнятий для значення площ масштаб по осі ординат.

Об'єми крайніх головок 1 та 4:

$$V_{\text{гол1}} = V_{\text{гол4}} = F_{\text{е.п.1}} \cdot M = 810 \cdot 20 = 18630 \text{ мм}^3$$

Об'єми перехідних ділянок від крайніх головок 1 та 4 до стержнів 1 та 3:

$$V_{\text{пер1}} = V_{\text{пер6}} = F_{\text{е.п.2}} \cdot M = 120,9 \cdot 20 = 2418 \text{ мм}^3$$

Об'єми стержня 1 та 3:

$$V_{\text{ст1}} = V_{\text{ст3}} = F_{\text{е.п.3}} \cdot M = 665 \cdot 20 = 13300 \text{ мм}^3$$

Об'єми перехідних ділянок від стержнів 1 та 4 до середніх головок 2 та 3:

$$V_{\text{пер2}} = V_{\text{пер5}} = F_{\text{е.п.4}} \cdot M = 84,6 \cdot 20 = 1692 \text{ мм}^3$$

Об'єми середніх головок 2 та 3:

$$V_{\text{гол2}} = V_{\text{гол3}} = F_{\text{е.п.5}} \cdot M = 1102 \cdot 20 = 22040 \text{ мм}^3$$

Об'єми перехідних ділянок від середніх головок 2 та 3 до стержня 2:

$$V_{\text{пер3}} = V_{\text{пер4}} = F_{\text{е.п.6}} \cdot M = 84,6 \cdot 20 = 1692 \text{ мм}^3$$

Об'єм стержня 2:

$$V_{\text{ст2}} = F_{\text{е.п.7}} \cdot M = 1130 \cdot 20 = 22600 \text{ мм}^3$$

Повздовжні розміри вальцьованої заготовки: довжина ділянок головок 1 та 4 $l_{\text{гол1}} = l_{\text{гол4}} = 30$ мм; довжини перехідних ділянок між крайніми головками та стержнями $l_{\text{пер1}} = l_{\text{пер6}} = 6$ мм; довжини стержнів 1 та 3 $l_{\text{ст1}} = l_{\text{ст3}} = 50$ мм; довжини перехідних ділянок між середніми головками та стержнями з обох сторін $l_{\text{пер2}} = l_{\text{пер3}} = l_{\text{пер4}} = l_{\text{пер5}} = 4$ мм; довжина стержня 2 $l_{\text{ст2}} = 85$ мм.

Поперечні розміри круга вальцьованої заготовки, визначаємо за формулами [7, ст. 81]:

									Арк.
									36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДП.МД91.17.06.000ПЗ				

$$d = 1,13 \cdot \sqrt{F_{min}} = 1,13 \cdot \sqrt{266} = 18,4 \text{ мм}$$

Креслення вальцованої заготовки з розмірами показано на рис. 2.15.

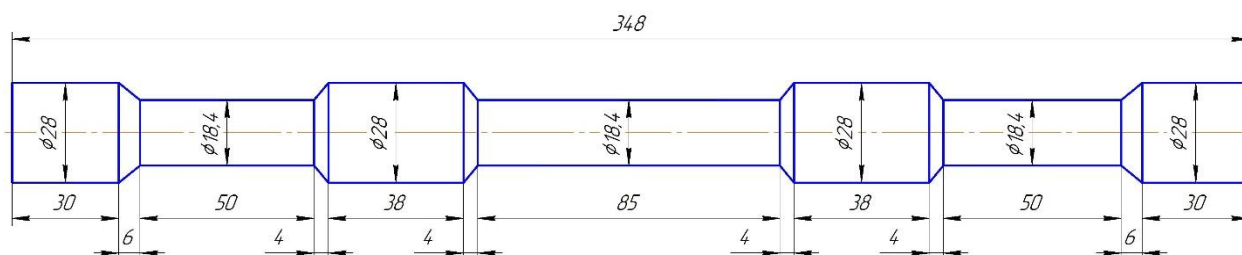


Рисунок 2.13 – Креслення вальцованої заготовки.

Розміри фасонної заготовки після першого пропуску

Загальний коефіцієнт витягування для даного характерного перерізу визначаємо за формулою:

$$\lambda_{заг} = \frac{F'_{заг}}{F_{min}} = \frac{620}{266} = 2,3$$

Далі за допомогою номограм [7, ст. 82, рис. 28-29] при відношенні $\frac{A}{h_0} = 12,9$ та відомому $\lambda_{заг}$ знаходимо відношення осей овального перерізу $a_1 = 2,4$ та коефіцієнт витягування для першого пропуску $\lambda_1 = 1,6$.

Площа поперечного перерізу овалу, який на всіх ділянках однаковий визначаємо за формулою:

$$F_{об} = \frac{F'_{заг}}{\lambda_1} = \frac{620}{1,6} = 388 \text{ мм}^2$$

Розміри поперечного перерізу овалу, який отримуємо після першого пропуску розраховуємо за формулами [7, ст. 80]:

$$h_{об} = \sqrt{\frac{F_{об}}{a \cdot q}} = \sqrt{\frac{388}{2,4 \cdot 0,69}} = 15,3 \text{ мм}$$

$$b_{об} = a \cdot h_{об} = 2,4 \cdot 15,3 = 36,7 \text{ мм}$$

$$R_{об} = \frac{a^2 + 1}{4} \cdot h_{об} = \frac{2,4^2 + 1}{4} \cdot 15,3 = 26 \text{ мм}$$

Тут коефіцієнт $q = 0,69$ визначений по графіку [7, ст. 81, рис. 27].

Довжини стержнів 1 та 3 знаходимо за формулою:

									ДП.МД91.17.06.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						37

$$l_{ст1} = l_{ст3} = \frac{V_{ст1}}{F_{об}} = \frac{13300}{388} = 34,3 \text{ мм}$$

Довжини перехідних ділянок від крайніх головок 1 та 4 до стержнів 1 та 3 знаходимо за формулою:

$$l_{пер1} = l_{пер6} = \frac{2 \cdot V_{пер1}}{F'_{заг} + F_{об}} = \frac{2 \cdot 2418}{620 + 388} = 4,8 \text{ мм}$$

Довжини перехідних ділянок від середніх головок 2 та 3 до стержнів 1 та 3 знаходимо за формулою:

$$l_{пер2} = l_{пер5} = \frac{2 \cdot V_{пер2}}{F'_{заг} + F_{об}} = \frac{2 \cdot 1692}{620 + 388} = 3,4 \text{ мм}$$

Довжини перехідних ділянок від середніх головок 2 та 3 до стержня 2 за формулою:

$$l_{пер3} = l_{пер4} = \frac{2 \cdot V_{пер3}}{F'_{заг} + F_{об}} = \frac{2 \cdot 1692}{620 + 388} = 3,4 \text{ мм}$$

2.4.7. Зусилля вальцювання.

Перший пропуск

Визначаємо зусилля вальцювання на ділянці середнього стержня 2, де контактна поверхня має найбільше значення.

Розміри відповідної смуги до вальцювання розраховуються за формулами [7, ст. 80]:

$$b_{oc} = \sqrt{\frac{F'_{заг}}{a_0}} = \sqrt{\frac{620}{1}} = 25 \text{ мм}$$

$$h_{oc} = a_0 \cdot b_{oc} = 1 \cdot 25 = 25 \text{ мм}$$

Розміри відповідної смуги після першого пропуску вальцювання розраховуємо за формулами [7, ст. 80]:

$$h_{1c} = \sqrt{\frac{F_{об}}{a_1}} = \sqrt{\frac{388}{2,4}} = 12,7 \text{ мм}$$

$$b_{1c} = a_1 \cdot h_{1c} = 2,4 \cdot 12,7 = 30,5 \text{ мм}$$

Середнє значення знаходиться за формулою:

									Арк.
									38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДП.МД91.17.06.000ПЗ				

$$b_{\text{сер}} = \frac{1}{2} \cdot (b_{0c} + b_{1c}) = \frac{1}{2} \cdot (25 + 30,5) = 27,8 \text{ мм}$$

Визначаємо робочий радіус ручая вальцьовочних штампів по формулі [7, ст. 86]:

$$R_p = \frac{1}{2} \cdot (A - h_{1c}) = \frac{1}{2} \cdot (320 - 12,7) = 153,7 \text{ мм}$$

Обтиснення розраховується за формулою [7, ст. 85]:

$$\Delta h_c = h_{0c} - h_{1c} = 25 - 12,7 = 12,3 \text{ мм}$$

Довжина осередку деформації розраховується за формулою [7, ст. 86]:

$$l = \sqrt{R_p \cdot \Delta h_c} = \sqrt{153,7 \cdot 12,3} = 43,5 \text{ мм}$$

Площа контактної поверхні розраховується за формулою [7, ст. 86]:

$$F_k = b_{\text{сер}} \cdot l = 27,8 \cdot 43,5 = 1209 \text{ мм}^2$$

Швидкість деформації розраховується по формулі [7, ст. 89]:

$$u = 0,105 \cdot \frac{n \cdot l}{h_{0c}} = 0,105 \cdot \frac{65 \cdot 43,5}{25} = 11,9 \text{ с}^{-1}$$

тут $n = 65$ – кількість обертів валків за хвилину.

Ступінь деформації становить за формулою:

$$\varepsilon = \frac{\Delta h_c}{h_{0c}} = \frac{12,3}{25} = 0,49 \text{ або } 49 \%$$

Далі для сталі 30ХГС, близької до сталі 30Х, із якої штампують даний вивок, за графіком [7, ст. 88, рис. 31б] знаходимо істинну межу текучості при температурі $t = 1200 \text{ }^\circ\text{C}$ та при швидкості деформації $u = 11,9 \text{ с}^{-1}$:

$$\sigma_i = k \cdot \sigma_i = 1,04 \cdot 10 = 10,4 \text{ кг/мм}^2$$

Також знаходимо параметр за формулою [7, ст. 89]:

$$\frac{l}{\sqrt{h_{0c} \cdot h_{1c}}} = \frac{43,5}{\sqrt{25 \cdot 12,7}} = 2,4$$

В залежності від знайденого значення за графіком [7, ст. 89, рис. 32] визначаємо коефіцієнт $n_\sigma = 1,4$.

Питоме зусилля визначаємо за формулою [7, ст. 89]:

$$p_1 = \beta \cdot n_\sigma \cdot \sigma_i = 14,1 \cdot 1,4 \cdot 10,4 = 205,3 \text{ кг/мм}^2$$

									Арк.
									39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДП.МД91.17.06.000ПЗ				

Зусилля вальцювання визначаємо за формулою [7, ст. 89]:

$$P_1 = p_1 \cdot F_k = 205,3 \cdot 1209 = 248207 \text{ кГ}$$

Другий пропуск

Визначаємо зусилля вальцювання на ділянці середнього стержня 2, де контактна поверхня має найбільше значення.

Розміри смуги після другого пропуску вальцювання розраховуємо за формулами [7, ст. 80]:

$$b_{2c} = h_{2c} = \sqrt{F_{min}} = \sqrt{266} = 16,3 \text{ мм}$$

Середнє значення знаходимо за формулою [7, ст. 80]:

$$b_{сер} = \frac{1}{2} \cdot (b_{1c} + b_{2c}) = \frac{1}{2} \cdot (30,5 + 16,3) = 23,4 \text{ мм}$$

Робочий радіус ручая вальцювочних штампів визначається по формулі [7, ст. 86]:

$$R_p = \frac{1}{2} \cdot (A - h_{2c}) = \frac{1}{2} \cdot (320 - 16,3) = 151,9 \text{ мм}$$

Обтиснення рахуємо за формулою [7, ст. 85]:

$$\Delta h_c = h_{1c} - h_{2c} = 12,7 - 16,3 = 3,6 \text{ мм}$$

Довжина осередку деформації визначається за формулою [7, ст. 86]:

$$l = \sqrt{R_p \cdot \Delta h_c} = \sqrt{151,9 \cdot 3,6} = 23,4 \text{ мм}$$

Площа контактної поверхні розраховується за формулою [7, ст. 86]:

$$F_k = b_{сер} \cdot l = 23,4 \cdot 23,4 = 548 \text{ мм}^2$$

Швидкість деформації розраховується за формулою [7, ст. 89]:

$$u = 0,105 \cdot \frac{n \cdot l}{h_{1c}} = 0,105 \cdot \frac{65 \cdot 23,4}{12,7} = 12,6 \text{ с}^{-1}$$

тут $n = 65$ – число обертів валків за хвилину.

Ступінь деформації розраховується за формулою:

$$\varepsilon = \frac{\Delta h_c}{h_{1c}} = \frac{3,6}{12,7} = 0,28 \text{ або } 28 \%$$

									Арк.
									40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДП.МД91.17.06.000ПЗ				

За графіком [7, ст. 88, рис. 31б] для сталі 30Х знаходимо істинну межу текучості при $t = 1200 \text{ }^\circ\text{C}$ та при $u = 12,6 \text{ с}^{-1}$:

$$\sigma_i = k \cdot \sigma_i = 0,99 \cdot 10 = 9,9 \text{ кГ/мм}^2$$

Також знаходимо параметр відношення за формулою [7, ст. 89]:

$$\frac{l}{\sqrt{h_{1c} \cdot h_{2c}}} = \frac{23,4}{\sqrt{12,7 \cdot 16,3}} = 1,6$$

За графіком [7, ст. 89, рис. 32] визначаємо в залежності від знайденого вище відношення коефіцієнт $n_\sigma = 1,2$.

Питоме зусилля тоді визначаємо за формулою [7, ст. 89]:

$$p_2 = \beta \cdot n_\sigma \cdot \sigma_i = 14,1 \cdot 1,2 \cdot 9,9 = 167,5 \text{ кГ/мм}^2$$

Зусилля вальцювання на другому пропуску визначаємо за формулою [7, ст. 89]:

$$P_2 = p_2 \cdot F_k = 113,2 \cdot 548 = 62033 \text{ кГ}$$

2.5. Встановлення технологічного процесу виготовлення деталі «Рама».

Приймаємо технологічний процес виготовлення деталі «Рама» в наступній послідовності:

1. Отримання різанням вихідної циліндричної заготовки із прутка.
2. Гаряче вальцювання заготовки.
3. П-подібне гаряче гнуття вальцованої заготовки з калібруванням.
4. Гаряче штампування.

2.6. Призначення термічного режиму та вибір устаткування для нагріву.

Визначаємо для матеріалу викову сталі 30Х допустимий інтервал температур штампування [3, с 219-223, табл. 1].

Максимальна температура початку штампування для сталі 30Х 1260°C .

Температура кінця штампування для сталі 30Х – не вище 800°C , не нижче 700°C .

Рекомендований інтервал температур штампування для сталі 30Х – $750-1250^\circ\text{C}$.

Для встановлення технологічного інтервалу температур штампування орієнтовно визначимо час, протягом якого буде штампуватися (охладжуватися) виков.

Виков буде штампуватися протягом часу:

									Арк.
									41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДП.МД91.17.06.000ПЗ				

$$T_{\text{сек}} = T_{\text{тр1}} + T_{\text{вал}} + T_{\text{тр2}} + T_{1\text{п}}$$

де $T_{\text{тр1}}$ – час транспортування заготовки від устаткування для нагріву до кувальних вальців.

$$T_{\text{тр1}} = T_{\text{тр2}} = L/V = 3/0,5 = 6 \text{ с}$$

де $L=3$ м – відстань між устаткуванням, $V=0,5$ м/с – швидкість руху.

$T_{\text{вал}} = 20$ с – час вальцювання на кувальних вальцях;

$T_{1\text{п}} = 3$ с – час для встановлення заготовки в чистовий ручай і натиснення на педаль;

$T_{\text{р.х.}} = 1$ с – час одного робочого ходу;

$$T_{\text{сек}} = 6 + 20 + 6 + 3 + 1 = 36 \text{ с}$$

Визначаємо за залежності Н. Доброхотова на скільки градусів охолоне заготовка-виков за встановлений час охолодження:

$$T = T_{\text{сек}}/0,006H_{\text{пр}}$$

де $H_{\text{пр}}$ - приведена висота викову, яку розраховуємо так:

$$H_{\text{пр}} = V_{\text{вик}}/F_{\text{вик}} = 113043/7039 = 16,1 \text{ мм}$$

де $V_{\text{вик}} = 113043$ мм³ – об'єм викову;

$F_{\text{вик}} = 7039$ мм² – площа викову в плані.

$$\Delta T = \frac{36}{0,006 * 16,1} = 373^{\circ}\text{C}$$

Приймаючи до уваги неточність визначення температури при штампуванні та можливі затримки процесу штампування, розрахункову величину технологічного інтервалу збільшуємо на (10-15%) і округлимо до десятків градусів: $\Delta T = 410^{\circ}\text{C}$. Це і є абсолютна величина технологічного інтервалу штампування.

Визначене абсолютне значення технологічного інтервалу додаємо до нижньої межі технологічного інтервалу температур штампування, яку було визначено під час розрахунку робочого зусилля (800°C) та записуємо це як верхню межу технологічного інтервалу температур.

Таким чином технологічний інтервал повинен вкладатися в межі допустимого інтервалу:

Верхня межа технологічного інтервалу температур – 1210°C .

Нижня межа технологічного інтервалу температур – 800°C .

Вибираю тип і типорозмір устаткування для нагріву – прискорене індукційне нагрівання струмами частоти 2500 Гц. В таблиці 2.4 наведені основні його технічні характеристики. Схему індуктора для нагрівання циліндричних заготовок показано на рис. 2.14.

Таблиця 2.4. Технічні характеристики прискореного індукційного нагрівання струмами частоти 2500 Гц

Заготовка	Діаметр, мм	56
	Довжина, мм	92,4

	Вага, кг	1,8
Індуктор	Внутрішній діаметр, мм	130
	Довжина обмотки, мм	1680
	Число витків	37
	Кількість заготовок в індукторі	10
Режими	Напруга, В	1000
	Середня потужність від генератора, кВт	485
	Темп видачі заготовок, сек	12
	Час нагріву заготовок, сек	120
	Продуктивність, кг/год	1510

Призначаємо спосіб охолодження викову із сталі 30Х після штампування на повітрі.

Оскільки виконується операція формувального вальцювання для попереднього фасонування заготовки, то окалина буде обсіпатись в процесі. Це забезпечить видалення окалини перед штампуванням.

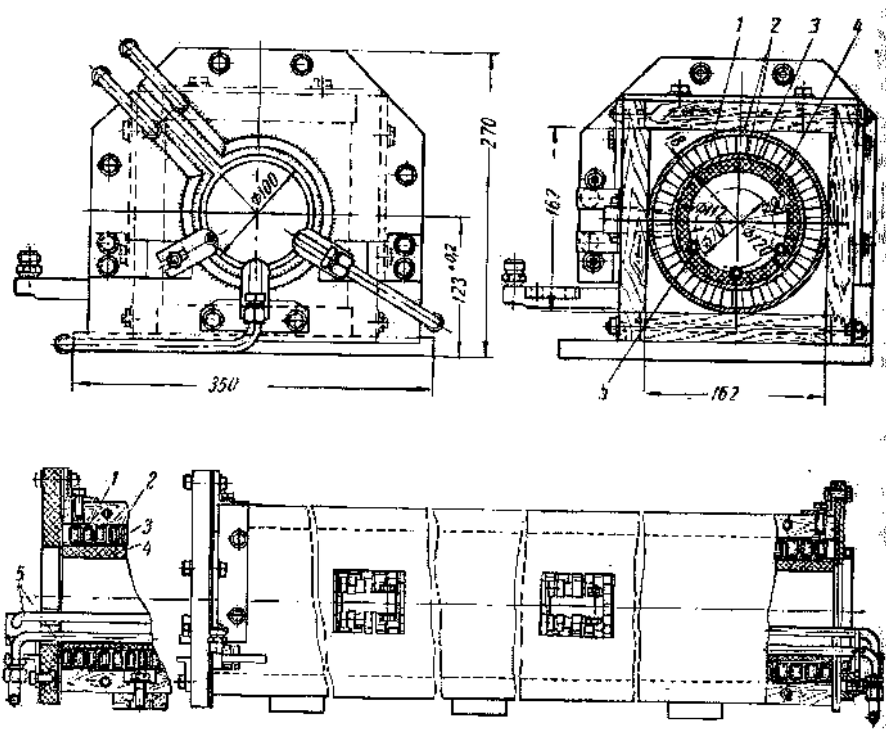


Рисунок 2.14 – Індуктор для нагрівання циліндричних заготовок.

									ДП.МД91.17.06.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						43

2.7. Висновки по розділу

У розділі було повністю виконано розробку технологічного процесу для виготовлення гарячим об'ємним штампуванням деталі «Рама». Було виконано розробку креслення викову для того, щоб сконструювати штамп для гнуття. Також було розраховано циліндричну заготовку для подальшого вальцювання та виконано розробку технологічного процесу вальцювання заготовки фасонного типу.

					ДП.МД91.17.06.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

РОЗДІЛ 3

МОДЕЛЮВАННЯ В ПРОГРАМНОМУ КОМПЛЕКСІ DEFORM-3D

3.1. Моделювання гнуття

Використаємо програмний комплекс DEFORM-3D для моделювання процесу гарячого гнуття для деталі «Рама» (Рис. 3.1.):

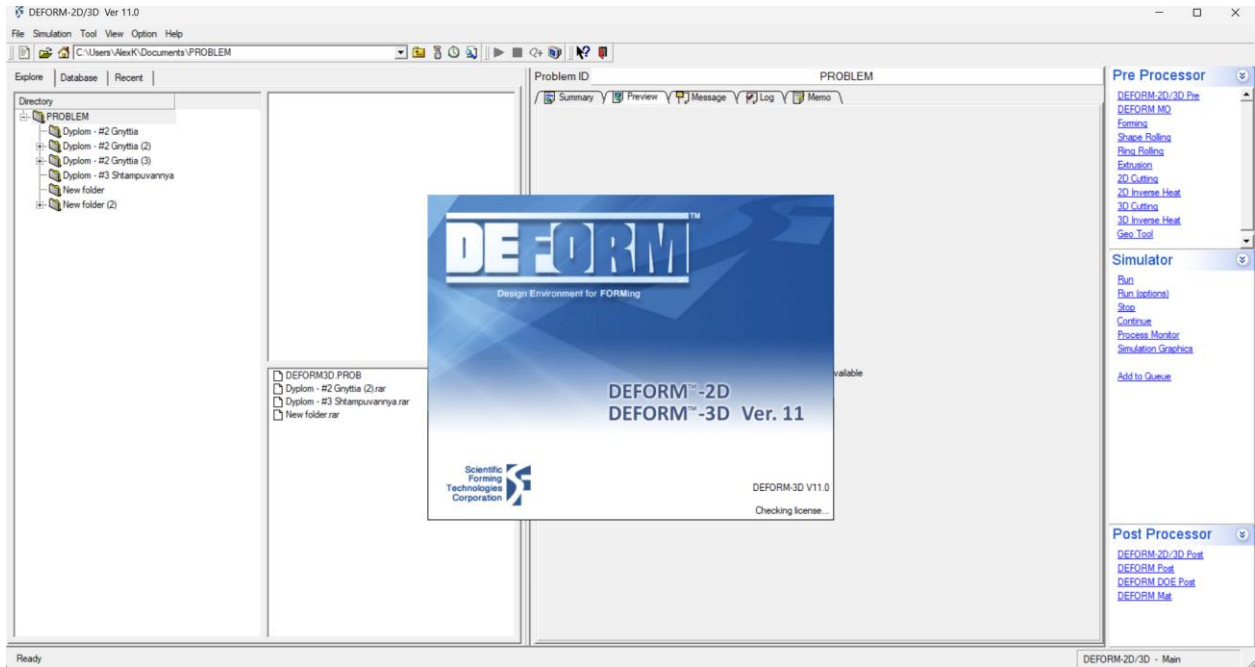


Рис. 3.1. – Deform 3D у версії v.11.0

Використовуватимемо заготовку, отримано після минулої операції вальцювання. Матеріалом слугуватиме сталь 30Х. Підберемо найближчий до даної сталі аналог у програмному комплексі Деформ – AISI-5140[1450-2200F(800-1200C)] (рис. 3.2.)

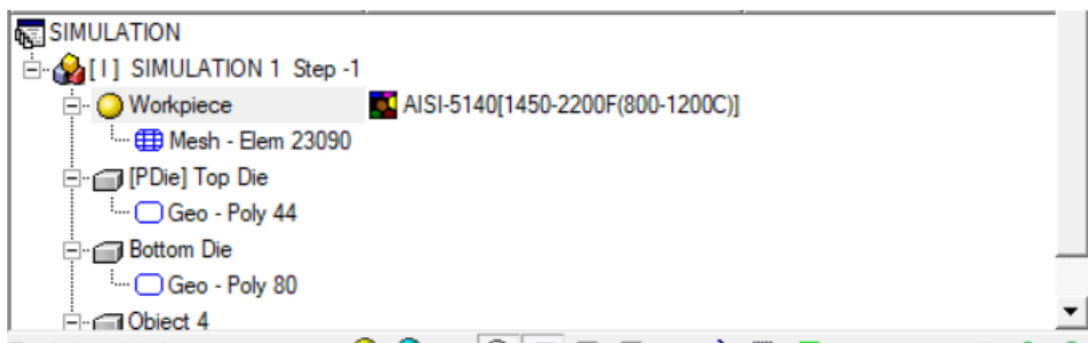


Рис. 3.2. – вибір матеріалу

Для моделювання гнуття використовували наступні налаштування:

- матеріал заготовки AISI-5140[1450-2200F(800-1200C)]
- Температура заготовки 600 град
- Тип заготовки – пластична
- Тип інструментів – абсолютно не пластичні
- Обраний тип руху – Швидкість (мм за крок)
- кількість кроків – 100
- Довжина кроку – 1 с
- Швидкість пуансону – 1 мм/с
- Швидкість притискача – 0.9 мм/с

Згенеруємо сітку для заготовки. Параметри сітки – 32000 скінчених елементів(рис 3.3.):

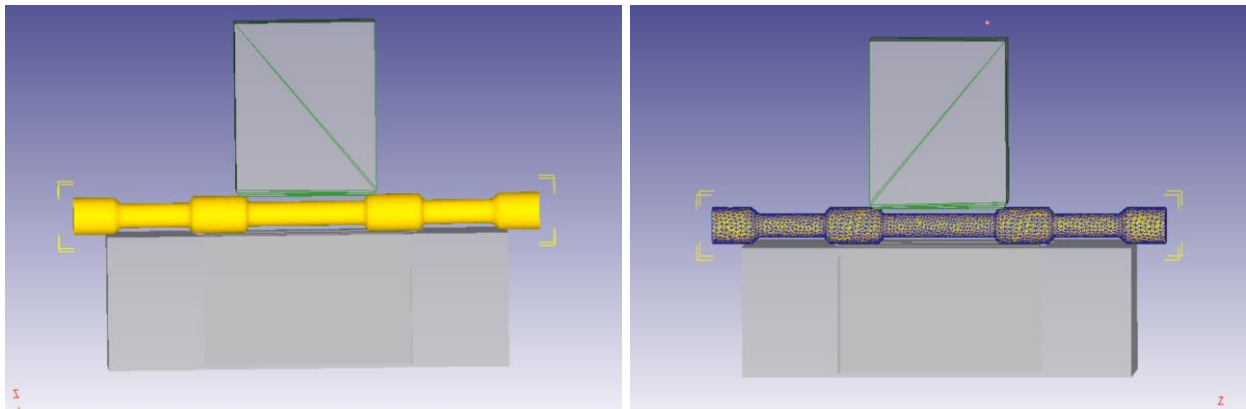


Рис. 3.2. – Генерування сітки з нескінчених елементів

Визначимо максимальне зусилля гнуття. Для цього в Deform створюємо графік зусиль:

					ДП.МД91.17.06.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

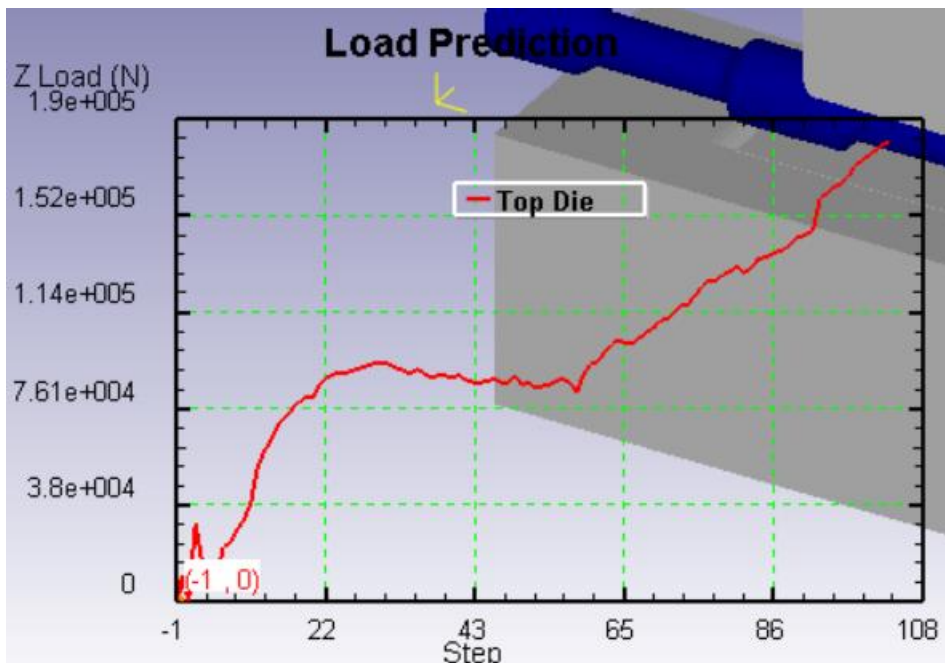


Рис. 3.3. – Графік зусилля гнуття від кроку (1 мм/крок)

Отже, максимальне зусилля гнуття складає 190 кН.

Після проведення моделювання, одразу видно явний недолік. Через те, що лінія гнуття проходить по частині заготовки з більшим діаметром поперечного перерізу, заготовка гнеться не по заданим параметрам. Тонша частина заготовки витягується, і на виході отримаємо браковану заготовку, яку не можливо потім вставити у штамп.

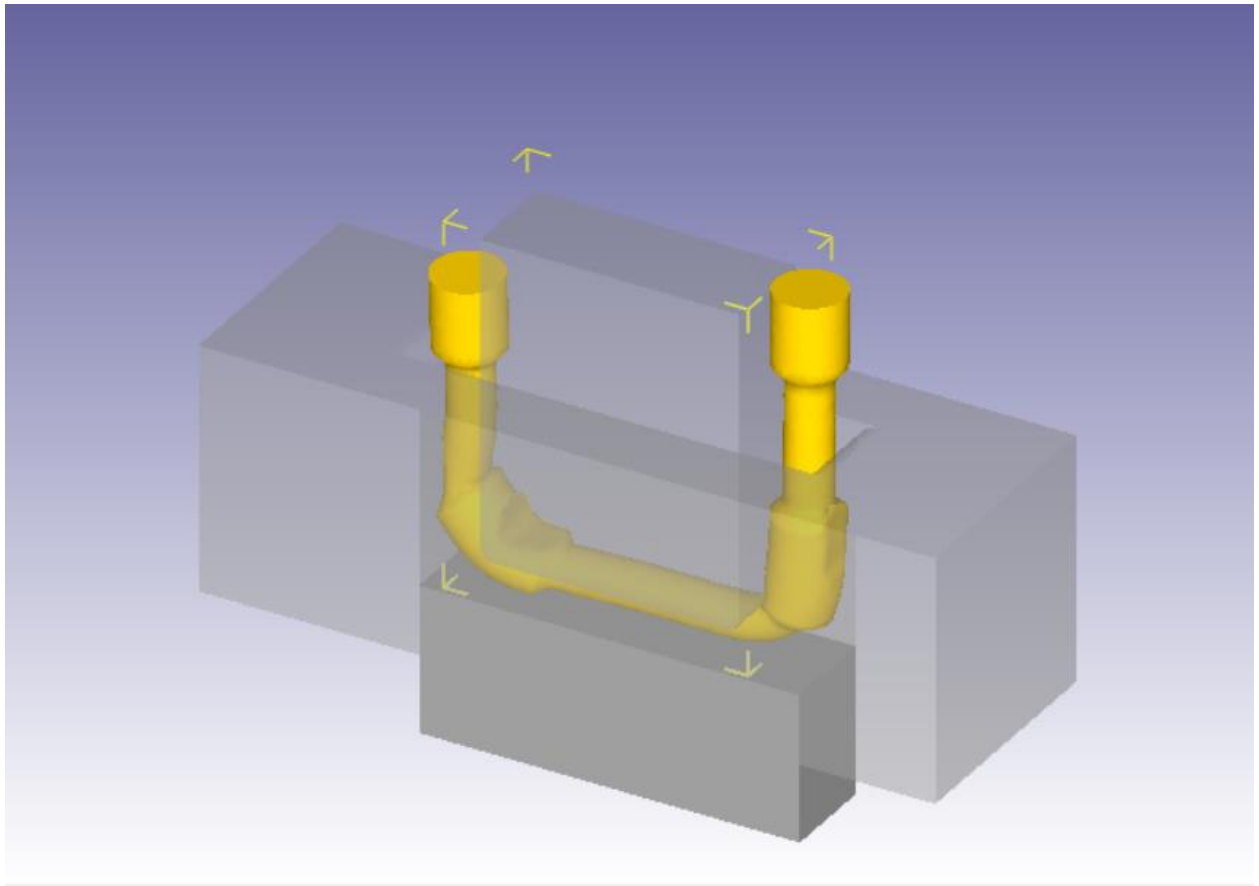


Рис. 3.4. – Результат моделювання гнуття

Було проведено інші спроби моделювання, з різними температурними режимами, розмірами матриць та радіусів заокруглення, які в решті-решт завжди давали однаковий результат.

Дане моделювання демонструє, що обраний спосіб виготовлення деталі – не вірний.

					<i>ДП.МД91.17.06.000ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		48

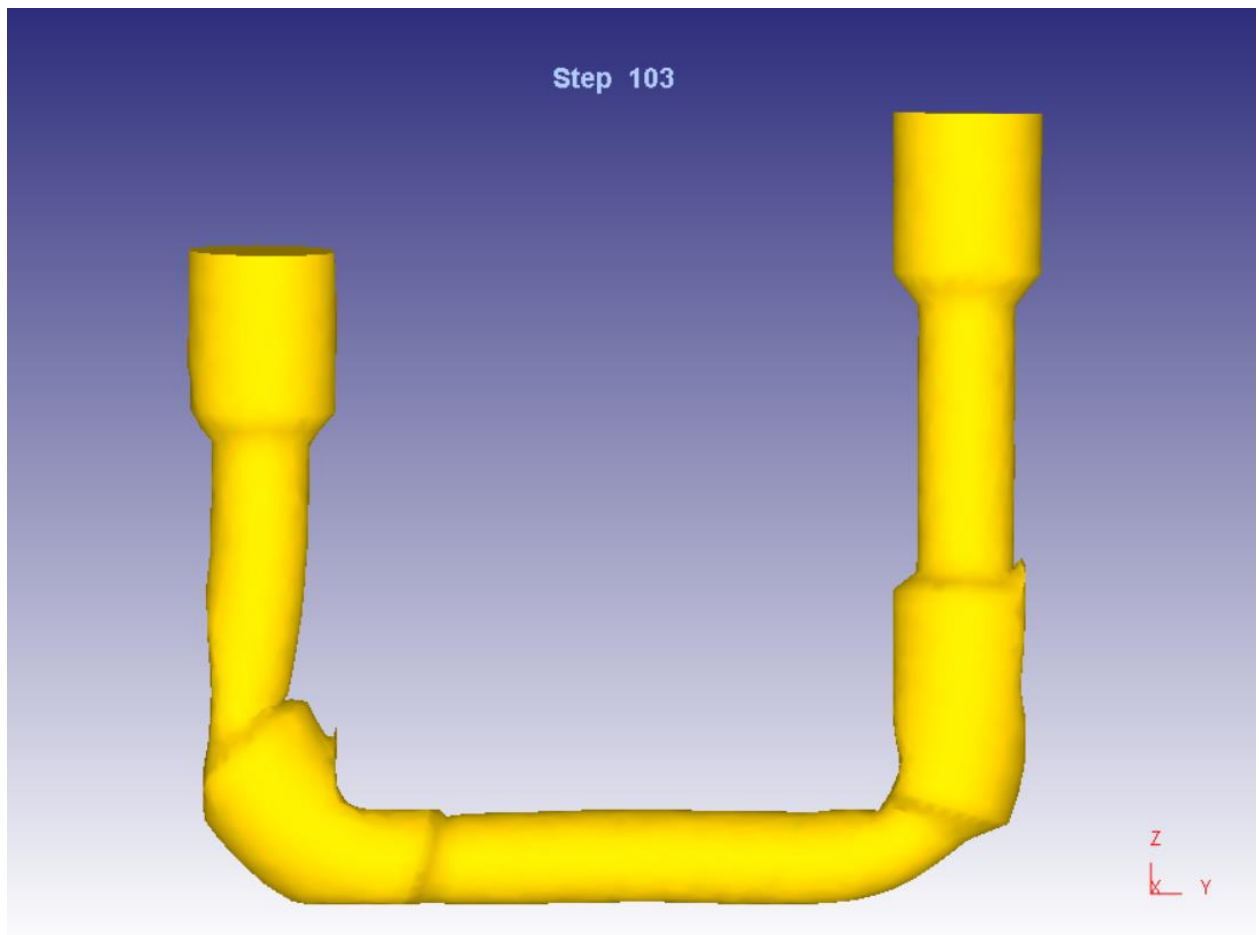


Рис. 3.5. – Бракована заготовка отримана в результаті моделювання гнуття

3.2. Моделювання штампування

Через невдалу операцію гнуття, ми не можемо використати заготовку з минулої технологічної операції. Натомість, для чистоти експерименту, змоделюємо окремо заготовку, яка в теорії мала бути отримана після операції гнуття.

					ДП.МД91.17.06.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

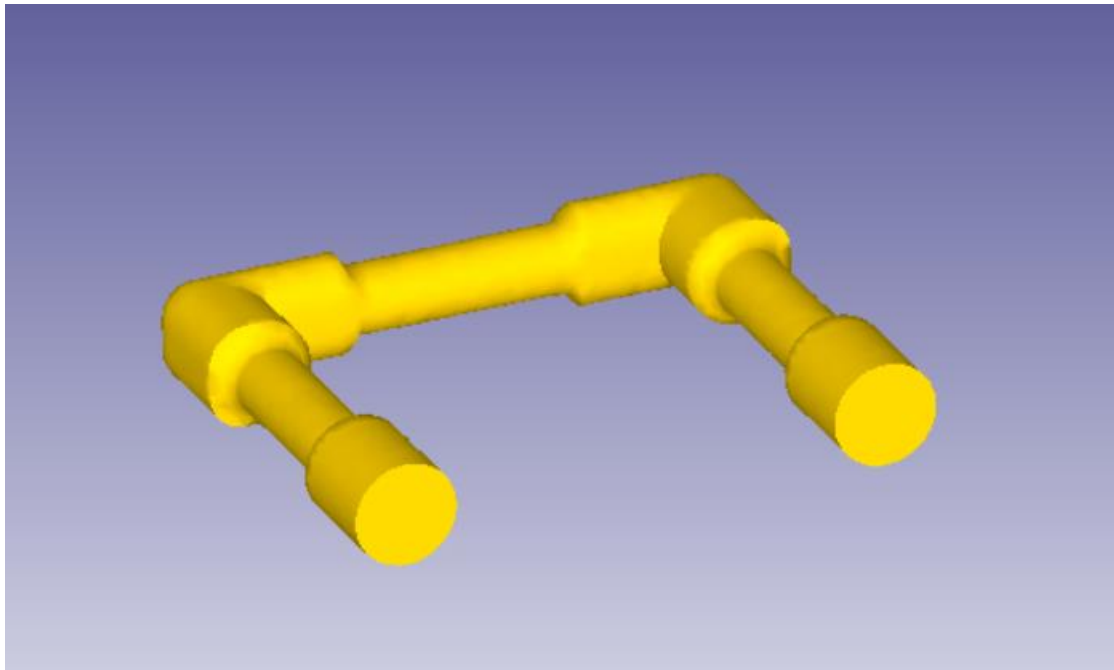


Рис. 3.6. – Заготовка, що теоретично мала б бути отримана в результаті успішного моделювання гнуття

Аналогічно минулій операції, заготовка зі сталі 30Х, доберемо найближчий аналог сталі 30Х у програмному комплексі Deform - AISI-5140[1450-2200F(800-1200С)].

Задамо наступні налаштування для моделювання процесу штампування у програмному комплексі Deform для деталі «Рама»:

- Заготовка – пластична
- Температура заготовки – 1200 градусів
- Температура вставок – 400 градусів
- Швидкість деформуючого інструмента – 5 мм/с

Заготовку після гнуття розділимо на сітку з 32000 елементів:

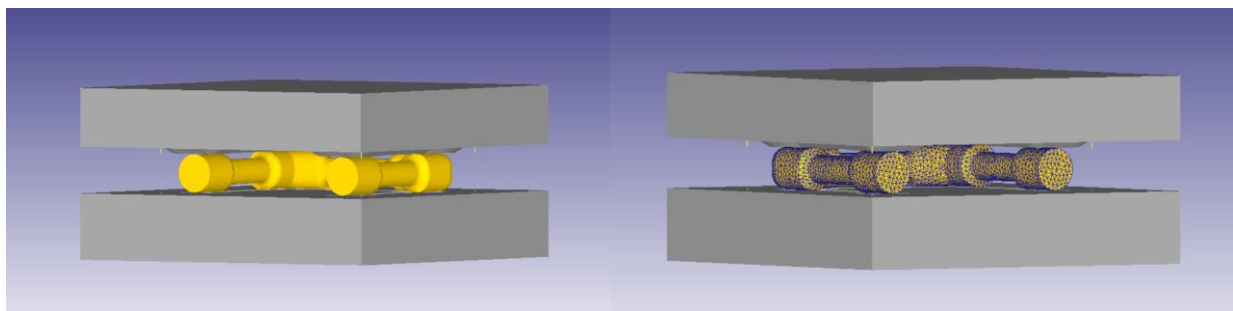


Рисунок 3.7. – Генерування сітки для зігнутої заготовки

Щоб дізнатися значення максимального зусилля штампування отримаємо з Deform графік зусилля від переміщення інструменту:

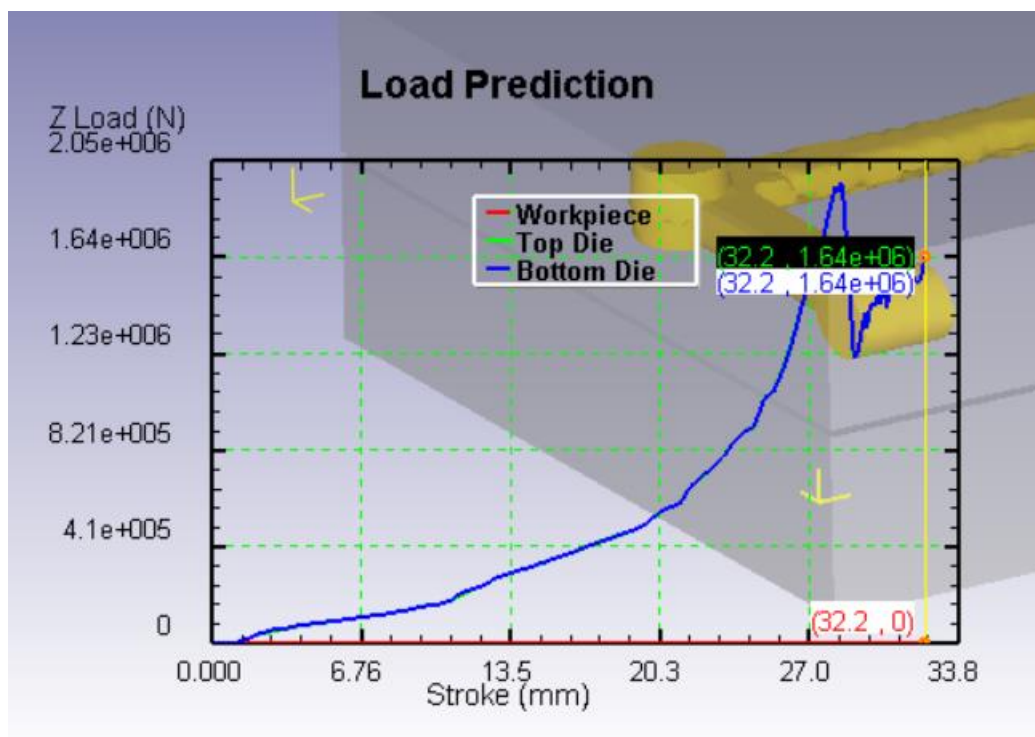


Рисунок 3.8. – Графік залежності зусилля від переміщення

Як бачимо з графіку, найбільше значення зусилля штампування складає 20.5 кН при переміщенні інструменту на 28.3 мм.

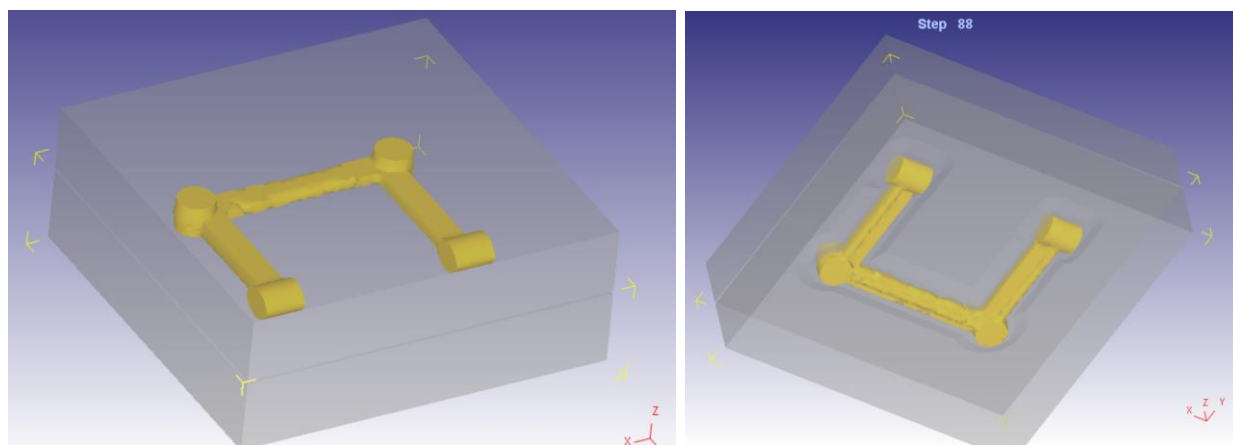


Рис. 3.9. – Результат моделювання штампування

Як бачимо, після моделювання штампування отримали браковану деталь – погане заповнення тіла деталі в центрі, та ребра по усьому периметру деталі. Причиною цьому слугує неправильна підібрана форма заготовки. Весь матеріал, що мав би заповнити центральну частину відрізається у облой, що і призводить до того, що ця частина не заповнюється.

3.3. Моделювання штампування з використанням альтернативної заготовки

Минулі два моделювання продемонстрували невірність обраного технологічного процесу. Заготовку неможливо ні зігнути, ні навіть у теоретичному випадку успішного гнуття – проштампувати.

Проаналізувавши невдачі минулого штампування, дійшов до висновку, що заготовка має найбільш точно повторювати профіль готової деталі.

Один з способів отримати таку заготовку – це використання плазми або газорізального обладнання з ЧПК. Заготовка буде отримуватися з товстолистового прокату.

Така схема має багато переваг в порівнянні з прийнятою раніше. Вона забезпечує використання мінімального числа робітників – фактично, потрібен лише один оператор. Також дуже малі початкові вкладення – обладнання для газо- чи плазмрізки з ЧПК не коштують надто дорого в порівнянні з обладнанням, необхідним для нарізання заготовок на прутки, а потім вальцювання та гнуття. Отже, такий процес потребує набагато меншої кількості висококваліфікованого робочого персоналу, у нього набагато менший відсоток браку, в рази менша травмонебезпечність а отже, ціна виготовлення – значно нижча.

Вагомий мінус даного технологічного процесу – більші витрати матеріалу.

Приблизний коефіцієнт використання матеріалу – 0,85. Але, решта матеріалу може бути здана на металобрухт по високій ціні, так як обрізки з чистого

					<i>ДП.МД91.17.06.000ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

металу – без домішків, а отже такий брухт відноситься до «чистого» та вартує вдвічі більше ніж «чорний» брухт. Це може нівелювати менш ефективне використання матеріалу, та зробити такий тип виготовлення заготовок ще більш фінансово вигідним.

Створимо заготовку, що буде отримана з листового матеріалу товщиною 28 мм – 30 мм (1 1/8’’):

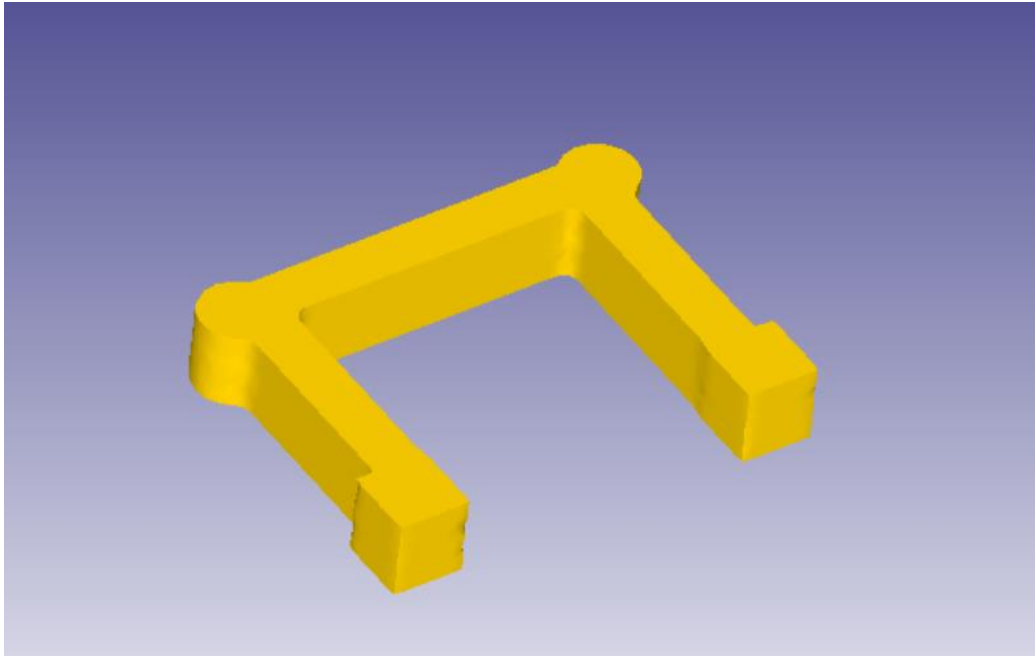


Рис. 3.10. – Нова заготовка отримана з товстолистого прокату

Використаємо ті самі налаштування, що і минулого разу:

- Заготовка – пластична
- Матеріал заготовки – AISI-5140[1450-2200F(800-1200C)]
- Температура заготовки – 1200 градусів
- Температура вставок – 400 градусів
- Швидкість деформуючого інструмента – 5 мм/с

Згенеруємо сітку нескінчених елементів з 32000 елементів:

					ДП.МД91.17.06.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

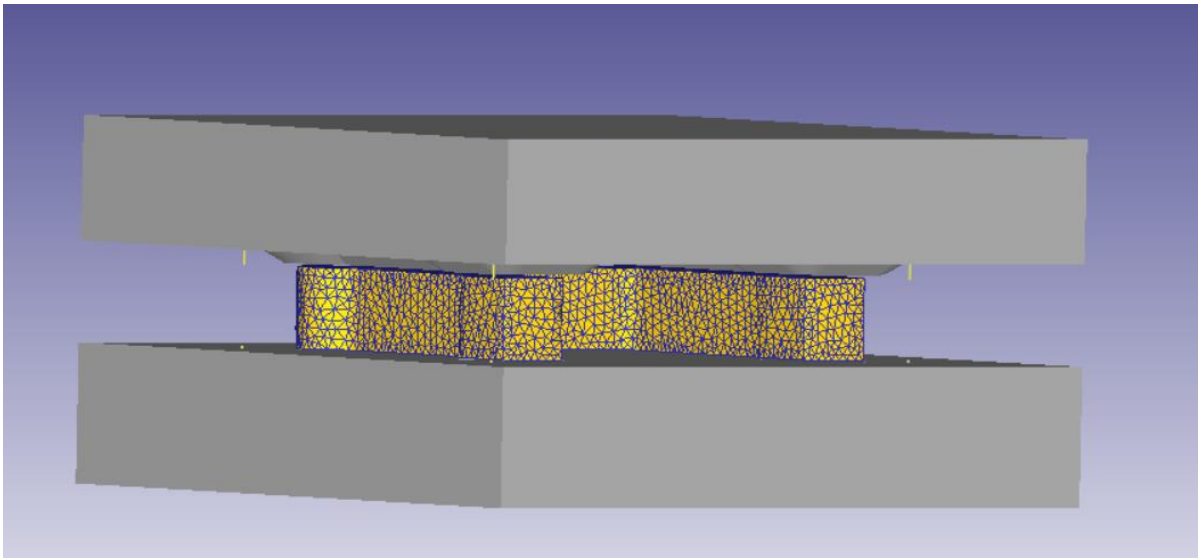


Рис. 3.11. – Сітка нескінчених елементів

Значення максимального зусилля штампування отримаємо з графіку зусилля від переміщення інструменту згенерованого у Deform:

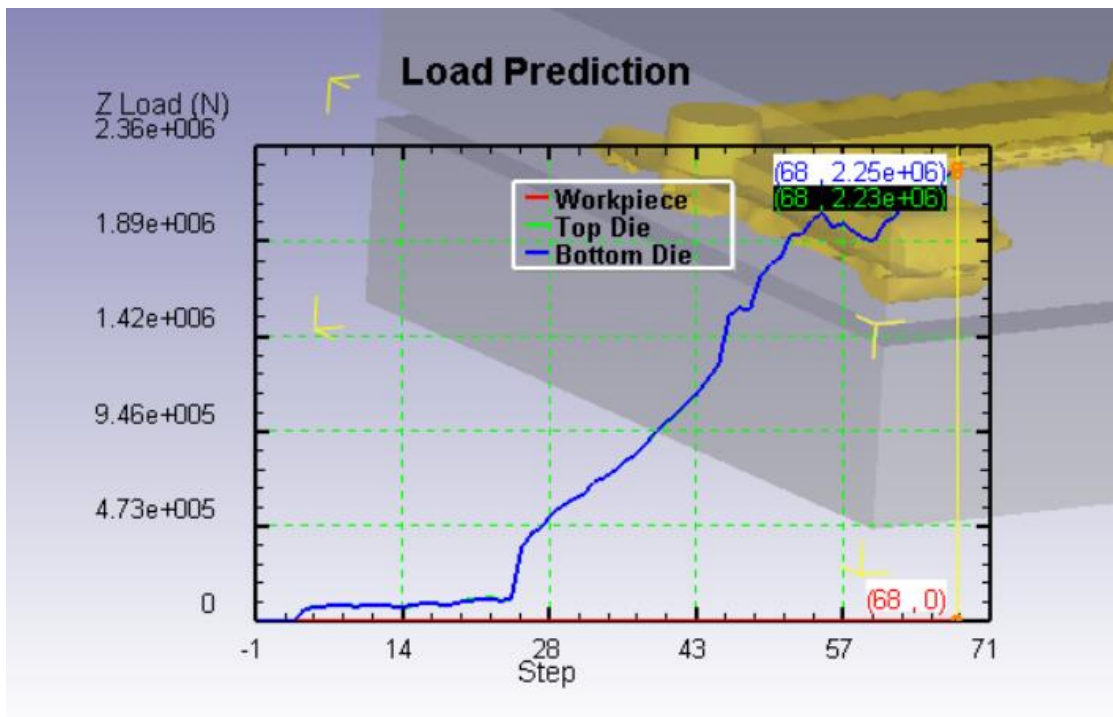


Рисунок 3.12. – Графік залежності зусилля від переміщення

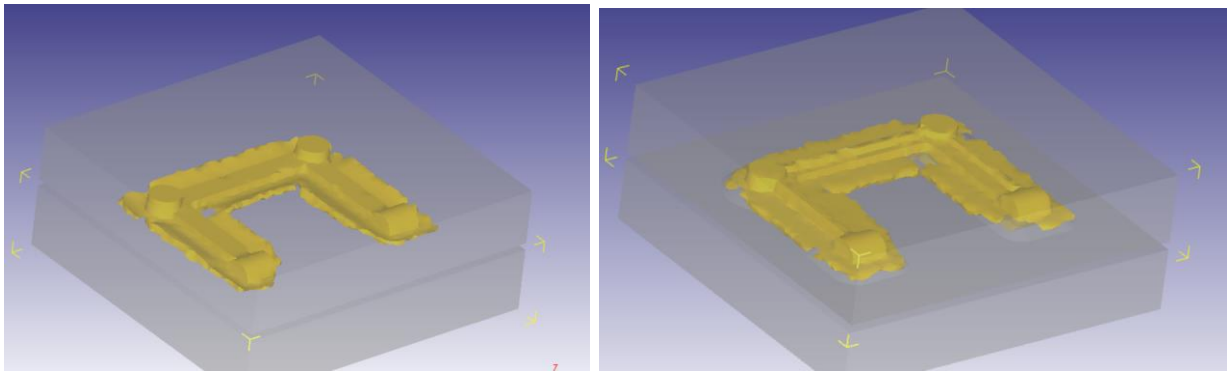


Рисунок 3.13. – Результат моделювання штампування з заготовкою виконаної з товстолистового прокату

Як бачимо, заповнення штампу на цей раз набагато краще. Але все одно деталь класифікуватиметься як брак, через погане заповнення ребра. Рекомендовано змінити параметри викову, або додати ще один перехід штампування.

3.4. Висновки моделювання. Альтернативний технологічний процес

Один з неявних недоліків минулого варіанту моделювання з заготовкою, що вирізається з товстолистового прокату – напрям волокон металу деталі, що дещо зменшить її механічні і міцнісні характеристики. Ідея використання гнуття була саме у цьому – щоб забезпечити високу міцність деталі завдяки збереженню її волоконної структури, що йшла би неперервно вздовж усієї деталі.

Отже, розглянемо альтернативний до вирізання з товстолистового прокату варіант технологічного процесу:

1. Вальцювання вихідної циліндричної заготовки
2. Штампування плоскої заготовки
3. V-подібне гнуття
4. Штампування зігнутої заготовки

Складність даного технологічного процесу – неможливість точно розрахувати параметри заготовки як для вальцювання, так і для штампування плоскої

									ДП.МД91.17.06.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						55

заготовки на гнуття. Після проходження моделювання кожної з операцій з великою вірогідністю заготовка може не вкластися у ручай для чистового штампування готової деталі. Отже даний технологічний процес потребує експериментального підходу моделюванням.

Перша операція може повністю відповідати описаній вище, за єдиним виключенням – зміною параметрів самої заготовки (об'єму, довжині, та іншим геометричним параметрам). Суть же процесу залишається така сама.

Друга операція: Штампування плоскої заготовки необхідне для того, щоб після операції гнуття отримати заготовку такої форми, що вклатиметься у штамп та відповідатиме формі його ручаю, щоб повністю його заповнити. Недоліком минулих спроб моделювання із зігнутою заготовкою було те, що при штампуванні не вистачало матеріалу для заповнення кутових бобишок. Задача штампування – створити заготовку для гнуття, з профілем, що повторюватиме ручай штампу після гнуття. Ідея у створенні матриці з формою розгортки заготовки як у прикладі з заготовкою, що вирізається. Таким чином, після гнуття маємо отримати заготовку такої ж, або схожої форми, як у минулому прикладі.

Третя операція: П-подібне гнуття показало свої недоліки при гнутті заготовки з змінним поперечним перерізом. Отже, краще використати варіант V-подібного гнуття. Верхній та нижній інструмент штампу для гнуття мають бути розраховані під заготовку, що буде отримана після штампування.

Четверта операція – штампування у чистовому ручаї. Після отримання заготовки необхідної конфігурації, штампування у чистовому ручаї буде відповідати тому, що було промодельовано у варіанту з використанням заготовки, що була отримана вирізанням з товстолистового прокату. При не повному заповненні штампу – зробити штампування даної деталі у 2 переходи.

3.5. Висновки по розділу

					<i>ДП.МД91.17.06.000ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		56

У розділі 3 «Моделювання у програмному комплексі Deform-3D» було розглянуто 3 етапи виробництва деталі «Рама» – вальцювання, гнуття та штампування. З циліндричної заготовки було отриману заготовку з перемінним поперечним перерізом, після чого вона була зігнута для відповідності вимогам штампування. Було наведено параметри моделювання такі як температура, матеріал, швидкість інструменту. Також були представлені розрахункові схеми процесів. Після моделювання було встановлено зусилля, яке необхідно для проведення операцій гнуття та штампування.

Після проведення моделювання можна дійти висновку, що даний технологічний процес не підходить для виконання деталі «Рама». Зокрема операція гнуття, де заготовка розтягується по частині з меншим діаметром, та не гне її по необхідній лінії гнуття. Штампування в один перехід із заготовкою після гнуття неможливе.

Штампування із заготовкою виконаною з товстолистового прокату є дешевим способом та простим, не потребує великої кількості дорогого обладнання та робочої сили, є доволі швидким у виробництві. Штампування з такою заготовкою в один перехід не забезпечує ідеальне заповнення, необхідний ще один перехід або внесення змін у конструкцію викову, для подальшої механічної обробки. Даний спосіб, на жаль, не відповідає вимогам до деталі, так як не зберігає єдиної волоконної структури. Все ж, спосіб має великі перспективи, озираючись на те, що він забезпечує найменший відсоток браку та найнижчу травмонебезпечність.

Також був розглянутий альтернативний варіант технологічного процесу. Такий процес є дуже матеріально затратним через велику кількість операцій, а отже потребує великої кількості обладнання та робочої сили. Через велику кількість технологічно складних операцій сильно зростає рівень браку, а також рівень травмонебезпечності. Окрім дорогого обладнання також необхідна велика кількість підігрівів деталі перед кожною операцією гарячої обробки тиском, що

									Арк.
									57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДП.МД91.17.06.000ПЗ				

сильно завищить витрати на виробництво. Усі ці фактори можуть сильно вплинути на економічну доцільність виробництва деталі «Рама».

					ДП.МД91.17.06.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

РОЗДІЛ 4

ПРОЕКТУВАННЯ ВАЛЬЦІВ

4.1. Розрахунок поперечних розмірів ручаїв вальців.

Для того, щоб визначити поперечні розміри ручаїв штампів розраховуємо пружиніння валків на ділянці середнього стержня 2 по формулі [7, ст. 93]:

в першому ручаї

$$\Delta A_1 = \frac{0,4 \cdot (275 - x_1) \cdot P_1}{1000} = \frac{0,4 \cdot (275 - 216) \cdot 248,2}{1000} = 5,9 \text{ мм}$$

у другому ручаї

$$\Delta A_2 = \frac{0,4 \cdot (275 - x_2) \cdot P_2}{1000} = \frac{0,4 \cdot (275 - 216) \cdot 62}{1000} = 1,5 \text{ мм}$$

Далі за формулою [7, ст. 92] розраховуємо глибину врізу для першого ручая (овального):

$$h'_{\text{ов}} = \frac{h_{\text{ов}} - \Delta A_1}{2} = \frac{15,3 - 5,9}{2} = 4,7 \text{ мм}$$

Далі за формулою [7, ст. 92] розраховуємо глибину врізу для другого ручая (круглого):

$$h'_{\text{кр}} = \frac{h_{\text{кр}} - \Delta A_2}{2} = \frac{18,4 - 1,5}{2} = 8,5 \text{ мм}$$

4.2. Визначення центральних кутів

Перший ручай

Площа поперечного перерізу вальцьованої заготовки на перехідній ділянці:

$$F_{\text{пер}} = \frac{F'_{\text{заг}} + F_{\text{ов}}}{2} = \frac{620 + 388}{2} = 504 \text{ мм}^2$$

Визначаємо співвідношення осей на першій ділянці за формулою [7, ст. 95]:

					<i>ДП.МД91.17.06.000ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

$$\alpha_{\text{діл}} = \frac{b_{\text{max}} + b_{\text{min}}}{h_{\text{max}} + h_{\text{min}}} = \frac{36,7 + 28}{28 + 15,3} = 1,49$$

Далі розраховуємо центральні кути за формулою [7, ст. 94]:

на перехідній ділянці

$$\alpha_{\text{пер}} = \frac{l_{\text{пер}} \cdot 57,3^\circ}{0,5 \cdot \left(A - \sqrt{\frac{F_{\text{пер}}}{\alpha_{\text{діл}}}} \right)} = \frac{6 \cdot 57,3^\circ}{0,5 \cdot \left(320 - \sqrt{\frac{504}{1,49}} \right)} = 2,27^\circ = 2^\circ 18'$$

на ділянці стержня

$$\alpha_{\text{ст}} = \frac{l_{\text{ст}} \cdot 57,3^\circ}{0,5 \cdot \left(A - \sqrt{\frac{F_{\text{ОВ}}}{a_1}} \right) \cdot (1 + S_1)} = \frac{50 \cdot 57,3^\circ}{0,5 \cdot \left(320 - \sqrt{\frac{388}{2,4}} \right) \cdot (1 + 0,035)} = 18,02^\circ = 17^\circ$$

Нехтуємо випередженням на перехідній ділянці. Випередження на ділянці стержня визначається за номограмою [7, ст. 95, рис. 36] $S_1 = 0,035$.

Сумарний кут робочої частини ручая вальцьовачного штампу визначаємо за формулою:

$$\alpha_p = \alpha_{\text{пер}} + \alpha_1 = 2,27 + 18,02 = 20,29^\circ = 26^\circ 18'$$

Тоді загальний центральний кут буде:

$$\alpha_{\text{заг}} = \alpha_p + (10 \div 15^\circ) = 26,23 + 15 = 41,23^\circ = 41^\circ 14'$$

Обираємо для першого ручая загальний центральний кут сектор-штампа 90° .

Другий ручай

Розраховуємо для вальцьованої заготовки площу поперечного перерізу на перехідній ділянці:

$$F_{\text{пер}} = \frac{F'_{\text{заг}} + F_{\text{min}}}{2} = \frac{620 + 266}{2} = 443 \text{ мм}^2$$

Співвідношення осей на ділянці $a_1 = 1$.

Далі визначаємо центральні кути за формулою [7, ст. 94]:

на перехідній ділянці

										Арк.
										60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<i>ДП.МД91.17.06.000ПЗ</i>					

$$\alpha_{\text{пер}} = \frac{l_{\text{пер}} \cdot 57,3^\circ}{0,5 \cdot \left(A - \sqrt{\frac{F_{\text{пер}}}{a_1}} \right)} = \frac{4,8 \cdot 57,3^\circ}{0,5 \cdot \left(320 - \sqrt{\frac{443}{1}} \right)} = 1,72^\circ = 1^\circ 42'$$

на ділянці стержня

$$\alpha_{\text{ст}} = \frac{l_{\text{ст}} \cdot 57,3^\circ}{0,5 \cdot \left(A - \sqrt{\frac{F_{\text{min}}}{a_1}} \right) \cdot (1 + S_1)} = \frac{34,3 \cdot 57,3^\circ}{0,5 \cdot \left(320 - \sqrt{\frac{266}{1}} \right) \cdot (1 + 0,07)} = 12,1^\circ = 12^\circ 6'$$

Нехтуємо випередженням на перехідній ділянці. Випередження на ділянці стержня визначаємо за допомогою номограми [7, ст. 95, рис. 36] $S_1 = 0,07$.

Знаходимо сумарний кут робочої частини ручая вальцьовачного штампу за формулою:

$$\alpha_p = \alpha_{\text{пер}} + \alpha_1 = 1,42 + 12,1 = 13,52^\circ = 13^\circ 30'$$

А загальний центральний кут тоді буде:

$$\alpha_{\text{заг}} = \alpha_p + (10 \div 15^\circ) = 13^\circ 30' + 15 = 28^\circ 30'$$

Для другого ручая приймаємо загальний центральний кут сектор-штампа 90° .

4.3. Побудова повздовжнього профілю ручая

Перший ручай

Визначимо робочий радіус вальцьовачного штампу на перехідній ділянці за формулою [7, ст. 94]:

$$R_p = \frac{1}{2} \cdot (A - 2 \cdot h'_{\text{ов}}) = \frac{1}{2} \cdot (320 - 2 \cdot 4,7) = 155,3 \text{ мм}$$

Другий ручай

Визначаємо робочий радіус вальцьовачного штампу на ділянці стержня за формулою [7, ст. 94]:

$$R_p = \frac{1}{2} \cdot (A - 2 \cdot h'_{\text{кв}}) = \frac{1}{2} \cdot (320 - 2 \cdot 8,5) = 151,5 \text{ мм}$$

						ДП.МД91.17.06.000ПЗ	Арк.
							61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

РОЗДІЛ 5

ПРОЕКТУВАННЯ ШТАМПОВОГО ОСНАЩЕННЯ

5.1. Зусилля штампування

Для виковів подовженої форми в плані зусилля штампування визначається за формулою:

$$P = 1,15 * \sigma_s * \left[\left(1,5 + 0,5 * \left(\frac{b}{h} \right) \right) * F_{об} + \left(1 + \frac{b}{h} + 0,1 * \left(\frac{a}{h} \right) \right) * F_{вик} \right]$$

де σ_s – напруження текучості для сталі 30Х для температури нижньої межі допустимого інтервалу $T_{нм доп}$, $\sigma_s = 15,5$ кгс/мм²;

b – ширина містка облойної канавки, $b = 6$ мм;

h – висота облою на містку облойної канавки, $h = 3$ мм;

$F_{об}$ – площа містка облойної канавки, $F_{об} = 4742$ мм²;

$F_{вик}$ – площа проекції викову на площину роз'єму штампу, $F_{вик} = 7039$ мм²

a – середня (приведена) ширина викову, яку розраховуємо: $a = F_{вик} / L_{вик}$, де $L_{вик}$ – довжина викову в плані, $a = 7039/353 = 19,9$

$$P = 1,15 * 15,7 * \left[\left(1,5 + 0,5 * \left(\frac{6}{3} \right) \right) * 4742 + \left(1 + \frac{6}{3} + 0,1 * \left(\frac{19,9}{3} \right) \right) * 7039 \right]$$
$$= 680 \text{ тс}$$

Приймаємо найближчий більш тоннаж пресу КГШП 1000 тс.

5.2. Конструювання штампу для КГШП

За визначеним тоннажем пресу 1000 тс визначаємо габарити ручаєвих вставок стандартизованого штампу КГШП та інших вузлів штампу. Штампування викову деталі «Рама» виконуємо в призматичних ручаєвих вставках. Розміри призматичної вставки вибираємо з умови, щоб відстань від краю викову до стінок вставки була рівною глибині ручая, але не менше 35 мм.

					ДП.МД91.17.06.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

В результаті, обрали призматичні ручаєві вставки із габаритними розмірами 300x200 мм. За габаритними розмірами призматичних вставок та підштампової плити приймаємо універсальний блок штамп КГШП 1000 тс.

Вигляд зверху універсального блоку штамп КГШП, що виконаний по МН 4808-63 із встановленими призматичними вставками для штампування викову деталі «Рама» зображено на рис. 4.1.

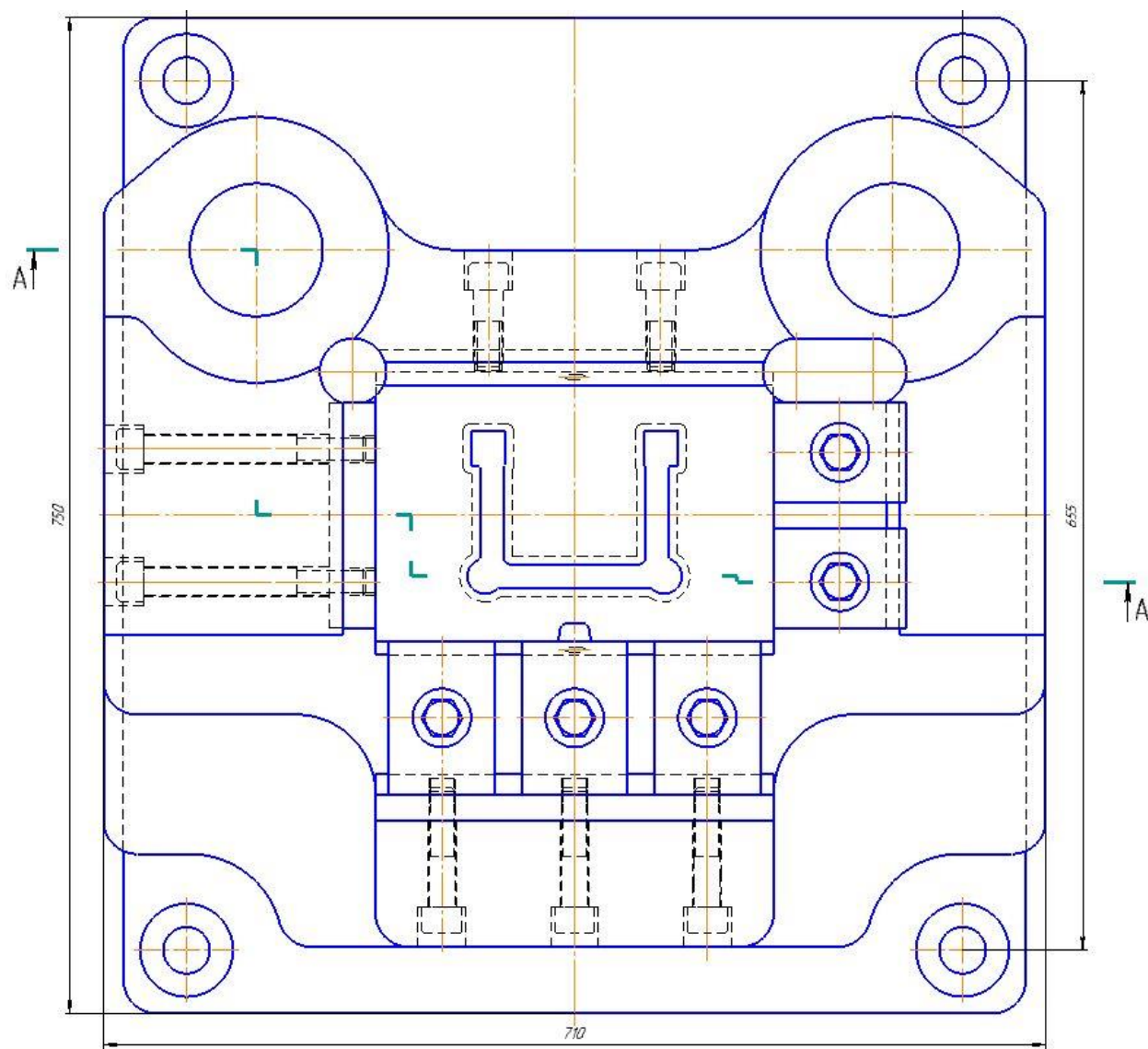


Рисунок 5.1 – Вигляд зверху універсального блоку по МН 4808-63 для штампування викову деталі «рама».

На рис. 5.2 показаний вигляд спереду.

									ДП.МД91.17.06.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						63

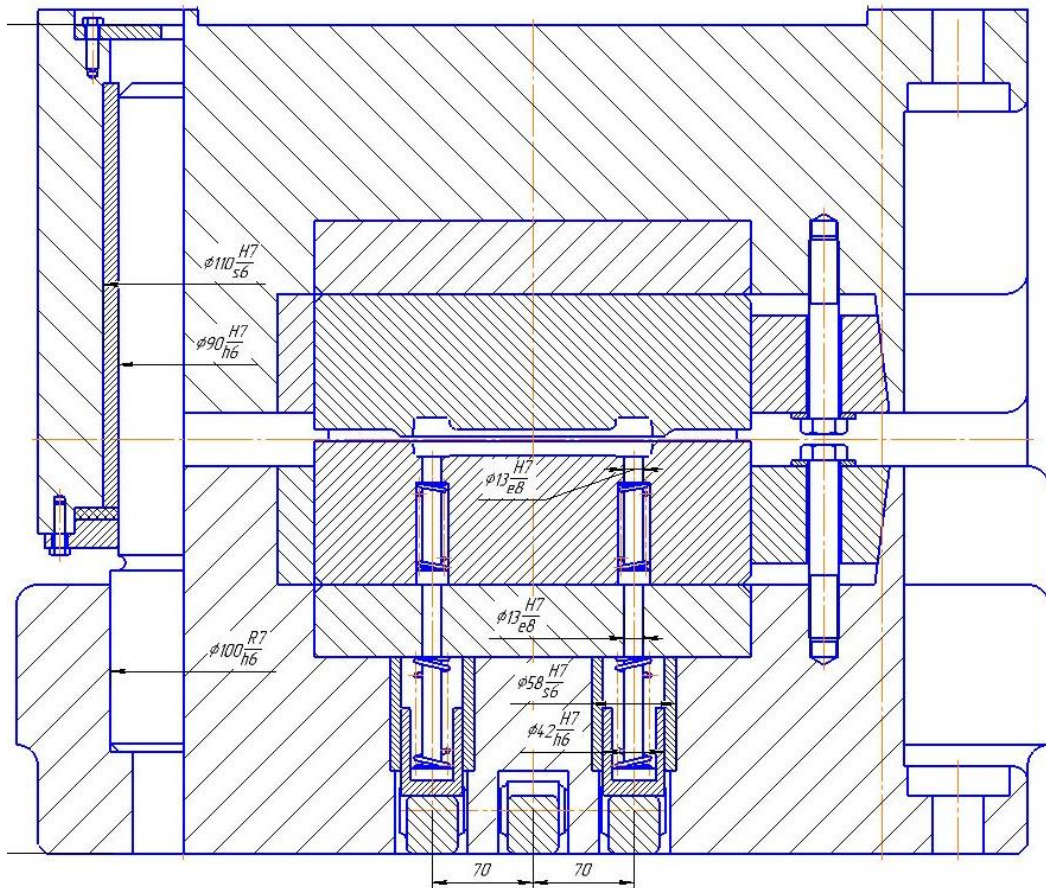


Рисунок 5.2 – Вид зсередини універсального блоку по МН 4808-63 для штампування вихову деталі «рама».

В нижній плиті 1, також як і в верхній 2, встановлюються підкладні плити 3 та 4, що закріплені гвинтами 25. Повернуті до вставок бокові поверхні планок 12 мають кут нахилу 7° до вертикалі. Прихвати 9 однією гранню впираються в нахилену грань вставки, а іншою – в термічно оброблену підкладку 11, що запобігає вироботці виступів плит. Як підкладки, так і виступ мають кут нахилу 15° від вертикалі. Вставки закріплені болтами 23 та планками 8 з нахилоною на кут 10° гранню. При затягуванні болтів 24 набір вставок цими клиновими планками притискається до протилежних стінок гнізд плит.

Між цими стінками та вставками опорні пластини 8 передбачені для компенсування похибок виготовлення плит та для того, щоб регулювати вставки при відхиленні їх розмірів по ширині.

Чистовий ручай розташований в призматичній вставці. Вставку з чистовим ручаем розміщуємо по осі поковзня.

Виштовхування викову з нижньої порожнини штампу здійснюється за допомогою механізму виштовхування, який зображений на рис. 4.3.

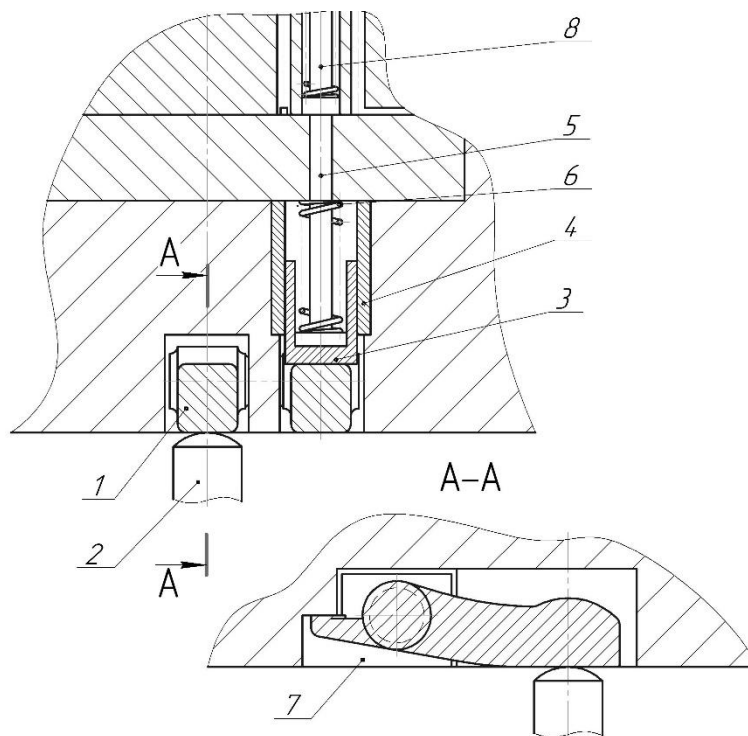


Рисунок 5.3 – Важільно-кулачковий виштовхуючий механізм.

Важільно-кулачкові виштовхуючі механізми універсальні, надійно та безвідмовно працюють у будь-яких умовах виштовхування виковів та дозволяють безперешкодно виконувати монтаж та демонтаж вставок безпосередньо на пресі без знімання блоку.

На рис. 2.3 зображено механізм виштовхування, що використовує важільно-кулачковий принцип. Оскільки вихідний важіль 1 опирається на клинову подушку або робочу площину преса, а стакан 3 та стержень 5 підтримуються важелем, ця система володіє достатньою жорсткістю і може переносити значні навантаження. Штовхач 8 безпосередньо впливає на внутрішню частину викову. Торець стержня 5 впирається на дно стакана з відстанню 1-1,5 мм, що означає, що будь-які відхилення стакана не мають впливу

					ДП.МД91.17.06.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

на стержень. В таблиці 4.1 представлені матеріали та норми твердості деталей штампів КГШП.

Таблиця 4.1. Матеріали та норми їх твердості для деталей штампів КГШП.

Деталі	Матеріал	Твердість
Плити блоку	40ХЛ	302-352 НВ
Ручасві вставки	5ХНВ	401-444 НВ
Підкладна плита	Сталь 45	375-429 НВ
Виштовхувач	7Х3	388-461 НВ
Колонки напрямні	Сталь 45	HRC 45-60
Втулки напрямні	Бр.ОЦСб-6-3	-

При стандартному кріпленні штампів КГШП виконують таку послідовність дій:

1. Розміщують підштампову (клинову) плиту так, щоб закрита висота штампового простору преса перевищувала закриту висоту штампів на 2-3 мм.
2. Піднімають поковзень до верхнього положення.
3. Видаляють бокові клини зі стола.
4. За допомогою крана встановлюють зібраний штамп на переносний або відкидний рольганг перед столом пресу.
5. Переміщують штамп з рольганга на стіл пресу, перекинувши трос крана з протилежної сторони рольганга. Після цього видаляють рольганг.
6. Кріплять верхню вставку до поковзня, затягуючи болти.
7. Закріплюють нижню вставку на столі за допомогою болтів, залишаючи зазори 3-4 мм у кріпленні.
8. Здійснюють поодинокі пусті ходи, щоб вирівняти нижню частину блоку відносно верхньої за допомогою напрямних колонок та втулок.
9. Підігрівають ручні вставки.

					<i>ДП.МД91.17.06.000ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

10. Після штампування першого пробного викову, при необхідності, видаляють підкладки в кріпленні ручних вставок, а також піднімають підштампову плиту, щоб отримати викови потрібної висоти, з урахуванням верхнього відхилення. При подальшому нагріванні пакету висота виковів буде поступово зменшуватись. Затягують болти для кріплення нижньої вставки, встановлюють і затягують бокові клини. Штамнують другий пробний виков і після його перевірки розпочинають штампування серії виробів.

					<i>ДП.МД91.17.06.000ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		<i>67</i>

ВИСНОВКИ

Під час виконання дипломної роботи, спрямованої на створення технології та обладнання для виготовлення деталі видовженої форми «Рама» з використанням кувальних вальців, було зроблено наступне:

- Виконано огляд літературних джерел, де була надана загальна інформація про способи обробки металів тиском, такі як гаряче об'ємне штампування та вальцювання, з вказанням їх переваг та недоліків. Також проведено огляд досліджень, пов'язаних з вдосконаленням технологій вальцювання та гарячого об'ємного штампування, а також комп'ютерного моделювання цих процесів.
- Розроблено технологічний процес виготовлення деталі «Рама» за допомогою гарячого об'ємного штампування. Виконано креслення для конструювання штампу та розрахунок циліндричної заготовки для вальцювання фасонної заготовки, необхідної для гарячого штампування деталі.
- Проаналізовано процеси моделювання гарячого об'ємного штампування деталі «Рама» з циліндричної заготовки, моделювання першого та другого переходу вальцювання заготовки та моделювання гарячого об'ємного штампування деталі з вальцьованої заготовки. Представлені розрахункові схеми процесів, вказані граничні умови із заданими параметрами. За результатами моделювання встановлені зусилля та моменти, що виникають під час штампування, а також оцінений напружено-деформований стан. Зроблено висновок, що для гарячого об'ємного штампування деталі «Рама» не підходить використання вальцьованої заготовки через неможливість її гнуття.

					<i>ДП.МД91.17.06.000ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

- На основі розробленого технологічного процесу та проведеного комп'ютерного моделювання були сконструйовані кувальні вальці для вальцювання заготовки та штамп для гарячого об'ємного штампування деталі «Рама».

					<i>ДП.МД91.17.06.000ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		69

ЛИТЕРАТУРА

1. Брюханов А.Н. Ковка и объёмная штамповка. Учебное пособие для машиностроительных вузов. Изд. 2-е и перераб. и доп. // М., «Машиностроение», 1975. – С. 408.

2. Титов Ю.А. и др. Технологияковки и объёмной штамповки: учебное пособие / Ю.А. Титов, В.Н. Кокорин, О.И. Морозов // Ульяновск: Ул-ГТУ, 2016. – 111 с.

3. Ковка и штамповка: Справочник. В 4-х т./Ред. совет: Е.И. Семенов (пред.) и др. – М.: Машиностроение, 1986. – Т. 2. Горячая штамповка/Под ре. Е.И. Семенова, 1986. 592 с., ил.

4. Ковка и объёмная штамповка стали. Справочник в двух томах под ред. М.В. Сторожева // М., «Машиностроение», 1967 г. Том 1.

5. Ковка и объёмная штамповка стали. Справочник в двух томах под ред. М.В. Сторожева // М., «Машиностроение», 1968 г. Том 2.

6. Ковка и штамповка: справочник. В 4 т. Т. 2. Горячая объёмная штамповка. 2-е изд., перераб. и доп. / Под общ. ред. Е.И. Семенова. – М.: Машиностроение, 2010. – С. 720.

7. Атрошенко А.П. Технология горячей вальцовки. // М., «Машиностроение», 1969. – С. 176.

8. Биба Н.В. QForm – универсальная и эффективная программа для моделированияковки и штамповки / Н.В. Биба, С.А. Стебунов, Ю.А. Гладков // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением, 2011, № 1, с. 28–31.

9. Колмогорцев И. В. Исследование влияния основных технологических параметров на процесс формообразования деталей объёмной штамповкой средствами виртуального моделирования / И.В. Колмогорцев, А.К. Шмаков // Вестник ИрГТУ. 2013. №12 (83). – С. 77-82.

					<i>ДП.МД91.17.06.000ПЗ</i>	Арк.
Эм.	Арк.	№ докум.	Подпис	Дата		70

10. Горохов Ю. В. Компьютерное моделирование процессов горячей
объемной штамповки алюминиевых сплавов / Ю.В. Горохов, И.Л. Константинов
// Известия ТулГУ. Технические науки. 2017. №11-1. – С. 101-109.

					<i>ДП.МД91.17.06.000ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Эм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпис</i>	<i>Дата</i>		71