

Центральноукраїнський національний технічний університет
Механіко-технологічний факультет
Кафедра “Машинобудування, мехатроніки і робототехніки”

«Допущено до захисту»
Завідувач кафедри
машинобудування, мехатроніки і
робототехніки
канд. техн. наук, доцент
_____ Андрій ГРЕЧКА
« ____ » _____ 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти
на тему:

**Проектування технологічного процесу та оснащення для
виготовлення деталі стяжка**

Виконав здобувач вищої освіти
4 курсу групи ПМ(ОТ)-21
ОПП «Комп'ютерний інжиніринг
технологій, робототехніка і 3D друк»
спеціальності 131 «Прикладна
механіка»

_____ Андрій ШУЛЬГА

Керівник роботи:
канд. техн. наук, доцент

_____ Володимир МІРЗАК

Рецензент:
канд. техн. наук, доцент

_____ Віктор ПУКАЛОВ

Кропивницький 2025

Центральноукраїнський національний технічний університет
Механіко-технологічний факультет
Кафедра машинобудування, мехатроніки і робототехніки
Перший (бакалаврський) рівень вищої освіти
Галузь знань: 13 Механічна інженерія
Спеціальність: 131 Прикладна механіка
Освітньо-професійна програма: Комп'ютерний інжиніринг технологій,
робототехніка і 3D друк.

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри машинобудування,
мехатроніки і робототехніки
канд. техн. наук, доцент

Андрій ГРЕЧКА

31 січня 2025 р.

**ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти
Шульзі Андрію Олександровичу**

Тема роботи:

Проектування технологічного процесу та оснащення для виготовлення деталі
стяжка.

Керівник роботи:

канд. техн. наук, доцент Володимир МІРЗАК

Затверджено наказом ЦНТУ від 31 січня 2025 року № 130-02.

Строк подання роботи до захисту:

20 червня 2025 р.

Мета та завдання кваліфікаційної роботи:

Мета: спростувати раціональний технологічний процес та прогресивне
оснащення для виготовлення деталі «Стяжка».

Завдання: виконати конструктивно-технологічний аналіз деталі; вибрати та
проаналізувати оптимальний спосіб штампування; розробити креслення
холодної та гарячої поковок та побудувати розрахункову заготовку; визначити
необхідність вальцювання; вибрати вид та визначити розміри вихідної
заготовки; вибрати нагрівальне обладнання; вибрати штампувальне та
допоміжне обладнання; розробити план штампувальної дільниці та розрахувати
норми часу на штампування; скласти карту технологічного процесу;
спроектувати штамп КГШП. Тип виробництва – великосерійний.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання роботи	Примітка
1	Опрацювання навчальної та наукової літератури по тематиці роботи	21.04.2025 р.	
2	Виконання загальної частини	02.05.2025 р.	
3	Виконання технологічної частини	09.05.2025 р.	
4	Виконання конструкторської частини	16.05.2025 р.	
5	Розробка креслеників	30.05.2025 р.	
6	Усунення недоліків після перевірки керівником роботи	10.06.2025 р.	
7	Перевірка роботи на академічний плагіат	12.06.2025 р.	
8	Рецензування роботи	16.06.2025 р.	
9	Захист кваліфікаційної роботи	20.06.2025 р.	

Дата видачі завдання
03 лютого 2025 р.

Здобувач вищої освіти _____ Андрій ШУЛЬГА

Керівник роботи _____ Володимир МІРЗАК

АНОТАЦІЯ

Шульга А. О. Проектування технологічного процесу та оснащення для виготовлення деталі стяжка : кваліфікаційна бакалаврська робота: спец. 131 Прикладна механіка / наук. кер. В. Я. Мірзак; Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. – Кропивницький: ЦНТУ, 2025. **с.**

Креслеників – разом 3 аркуші формату А1.

Мета роботи – спроектувати раціональний технологічний процес та прогресивне оснащення для виготовлення деталі «Стяжка»

Актуальність роботи полягає в підвищенні продуктивності, точності та зменшенні собівартості виготовлення деталі в умовах великосерійного виробництва за рахунок використання раціональної технології штампування на кривошипному гарячештампувальному пресі.

В роботі виконано конструктивно-технологічний аналіз деталі; вибрано та проаналізовано оптимальний спосіб штампування; розроблено креслення холодної та гарячої поковок та побудовано розрахункову заготовку; визначено необхідність вальцювання; вибрано вид та визначено розміри вихідної заготовки; вибрано нагрівальне обладнання; вибрано штампувальне та допоміжне обладнання; розроблено план штампувальної дільниці та розраховано норми часу на штампування; складено карту технологічного процесу та спроектовано штамп КГШП.

Ключові слова: **технологічний процес, гаряче штампування, розрахункова заготовка, силовий режим, багатоштучне штампування, штамп КГШП.**

ANNOTATION

Andrii SHULHA. Design of the technological process and equipment for the production of screed part. Qualification work for the educational level "Bachelor", specialty 131 Applied mechanics / Scientific supervisor Volodymyr MIRZAK : Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, 2025. **р.**

Drawings – total of 3 sheets, A1 format.

Objective of the work – to design a rational technological process and advanced tooling for the production of the “Stiazka” part.

Relevance of the work lies in increasing productivity, accuracy, and reducing the manufacturing cost of the part under large-scale production conditions by using a rational hot-stamping technology on a crank-type hot-stamping press.

The work includes a design and technological analysis of the part; selection and justification of the optimal stamping method; development of drawings for the cold and hot preforms and construction of the calculated billet; determination of the need for rolling; selection and dimensioning of the initial billet; selection of heating equipment; selection of stamping and auxiliary equipment; a plan of the stamping section is developed and time standards for stamping are calculated; a technological process map is drawn up and a KGSHP stamp is designed.

Keywords: **technological process, hot stamping, calculated billet, force mode, multi-piece stamping, CHSP die.**

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

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи на тему:

**Проектування технологічного процесу та оснащення
для виготовлення деталі стяжка**

КРБ.ПМ.25.25.12.00.00

Виконав здобувач вищої освіти
4 курсу групи ПМ(ОТ)-21
ОПП «Комп'ютерний інжиніринг технологій,
робототехніка і 3D друк»
спеціальності 131 «Прикладна механіка»
_____ Андрій ШУЛЬГА

Керівник роботи:
канд. техн. наук, доцент
_____ Володимир МІРЗАК

Кропивницький 2025

ЗМІСТ

ВСТУП	7
Розділ 1 Розробка технологічного процесу гарячого штампування деталі "Стяжка".....	
1.1 Опис і технічна характеристика деталі.....	
1.2 Вибір і обґрунтування оптимального способу штампування...	
1.3 Розробка креслення поковки.....	
1.4 Вибір виду та визначення розмірів вихідної заготовки. Вибір обладнання для різання металу на мірні заготовки.....	
1.5 Вибір способу та режимів нагрівання заготовок та охолодження поковок. Вибір нагрівального обладнання.....	
1.6 Вибір штампувального обладнання.....	
1.7 Вибір виду обрізання облою в поковках. Вибір обрізного пресу.....	
1.8 Вибір режимів термообробки поковок.....	
1.9 Вибір способу та обладнання для очистки поковок від окалини.....	
1.10 Вибір способу та обладнання для правки поковок.....	
1.11 Вибір методів контролю та вимірювального інструменту....	
1.12 Розробка плану штампувальної дільниці.....	
1.13 Вибір складу робочої бригади та розрахунки норм часу на штампування.....	
1.14 Складання карти технологічного процесу гарячого штампування.....	
Розділ 2 Конструювання штампу КГШП ”.....	
2.1 Визначення розмірів гарячої поковки	
2.2 Розрахунок та конструювання штампувальних рівчаків	
2.3 Опис конструкції штампу КГШП	
Загальні висновки	
Перелік джерел посилання	
ДОДАТКИ	
Додаток А. Кресленик деталі «Стяжка».....	
Додаток Б. Технологічна карта виготовлення деталі «Стяжка».	
Додаток В. Специфікація до складального кресленника штампу КГШП	

ВСТУП

Актуальність теми

У сучасному машинобудуванні постійно зростають вимоги до ефективності виробництва та стабільної якості деталей при мінімальних витратах. Особливо це актуально для великосерійного виготовлення відносно простих, але функціонально важливих елементів, таких як деталь «Стяжка», яка за конструктивним призначенням є різновидом гайки з фігурними пелюстками для зручності ручного монтажу.

Виготовлення таких деталей гарячим штампуванням є одним із найраціональніших методів, оскільки забезпечує високу продуктивність, хорошу повторюваність геометричних розмірів, зменшення припусків на механічну обробку та високу міцність завдяки щільній структурі металу. З огляду на великосерійний характер виробництва, найбільш доцільним є використання кривошипних гарячештампвальних пресів (КГШП), які мають перевагу у точності, стабільності ходу та можливості автоматизації процесу.

Проектування технологічного процесу та оснащення для виготовлення такої деталі дозволяє не лише оптимізувати цикл штампування, а й зменшити витрати часу на переналагодження, підвищити ресурс штампового оснащення, а також забезпечити відповідність готової продукції вимогам стандартів. Це особливо важливо для деталей, які є масовими позиціями в номенклатурі продукції підприємств важкого, автомобільного чи аграрного машинобудування.

Таким чином, тема роботи є актуальною як з точки зору технологічної доцільності, так і з позицій економічної ефективності в умовах великосерійного виробництва.

Мета і задачі роботи

Мета роботи – спроєтувати раціональний технологічний процес та прогресивне оснащення для виготовлення деталі «Стяжка».

Для досягнення поставленої мети потрібно вирішити наступні задачі:

- виконати конструктивно-технологічний аналіз деталі;
- вибрати та проаналізувати оптимальний спосіб штампування;
- розробити креслення холодної та гарячої поковок та побудувати розрахункову заготовку;
- визначити необхідність вальцювання;
- вибрати вид та визначити розміри вихідної заготовки; – вибрати нагрівальне обладнання;
- вибрати штампувальне та допоміжне обладнання; – розробити план штампувальної ділянки та розрахувати норми часу на штампування; – скласти карту технологічного процесу; – спроектувати штамп КГШП.

Практичне значення отриманих результатів полягає у наступному:

- розроблено прогресивний технологічний процес виготовлення деталі «Стяжка» в середовищі математичної програми Mathcad, де обґрунтовується можливість її штампування на кривошипному гарячештампувальному пресі в режимі багатоштучної штамповки, що дозволяє підвищити якість штампування та продуктивність процесу, а також швидко виконувати оптимізаційні розрахунки окремих технологічних параметрів та готувати розрахунково-пояснювальну записку;
- спроектовано складальний кресленик прогресивного штампу КГШП для багатоштучного штампування та робочий кресленик вставки з кінцевим рівчаком, що може бути використано після певної доробки (проекування повного комплексу документації) у реальному виробництві;

1 Розробка технологічного процесу гарячого штампування деталі "Стяжка"

1.1 Опис і технічна характеристика деталі

1.1.1. Призначення та область застосування деталі. Складання креслення поковки

Деталь "Стяжка" призначена для кріплення окремих деталей в механічних системах. Застосовується в вузлах вантажних автомобілів, тракторів, самохідних установках. Працює в умовах середнього циклічного навантаження.

1.1.2. Конструктивно-технологічний аналіз деталі.

Деталь має просторову форму середньої складності. В деталі є глухий різьбовий отвір діаметрами 16 мм. Інші конструктивні елементи деталі (радіуси закруглень, ухили) виконані по існуючим нормативам. Характер діючих зусиль вимагає розташування волокон вздовж осі деталі

1.1.3. Короткі відомості про матеріал деталі.

Важіль виготовляється із сталі 20 ГОСТ 1050-74. Сталь 20 [1, 3] відноситься до вуглецевої якісної конструкційної сталі. Хімічний склад сталі наведений в таблиці 1.1., а механічні характеристики в таблиці 1.2.

Таблиця 1.1– Хімічний склад сталі 20

Хімічний склад, %								
C	Mn	Si	Cu	Ni	Cr	As	P	S
0,17-0,24	0,35-0,65	0,17-0,37	≤0,25	≤ 0,25	≤0,25	≤0,8	≤0,035	≤0,04

Таблиця 1.2 – Механічні характеристики матеріалу

Марка матеріалу	Механічні характеристики			
	σ_B , МПа	σ_T , МПа	$\sigma_{зр}$, МПа	δ_1 , %
Сталь 20	420 (91)	250	360	20
Примітка: у дужках позначені характеристики при температурі кінця штампування - 750°C.				

Креслення деталі наведено в додатку А а її твердотільна модель на рис.1.1.

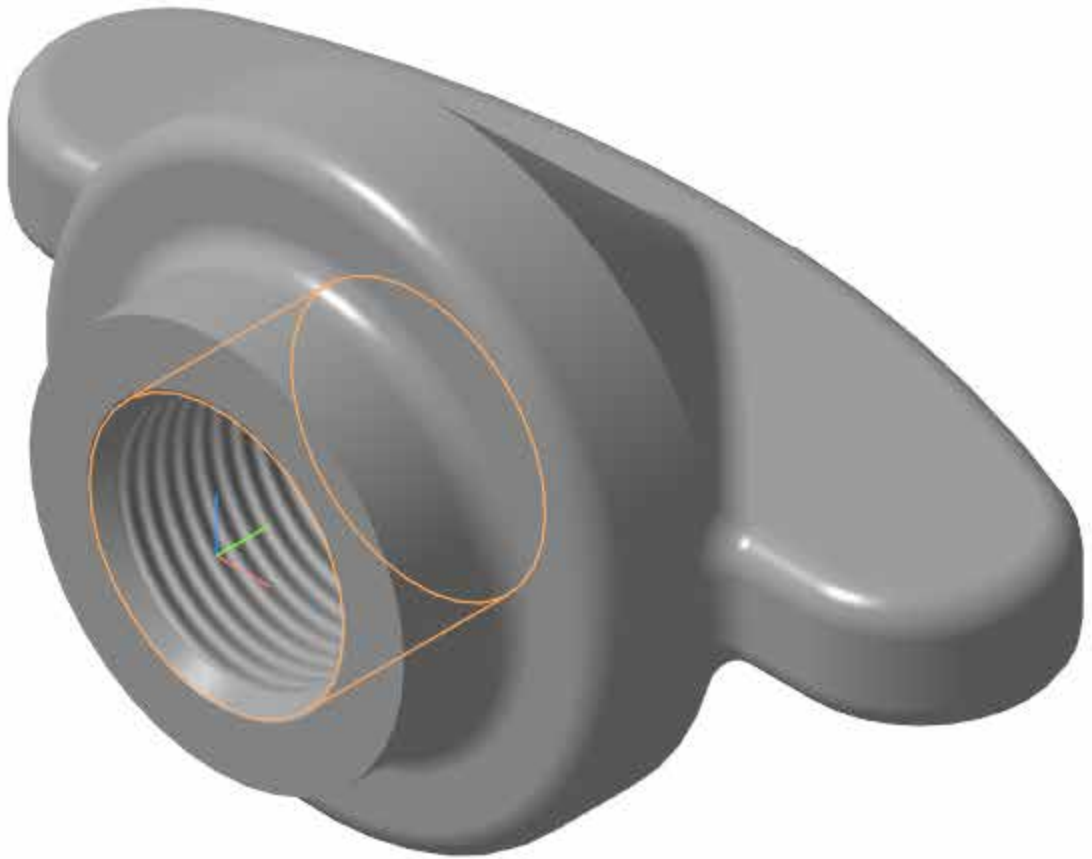


Рисунок 1.1 – Параметрична тривимірна модель деталі "Стяжка"

2

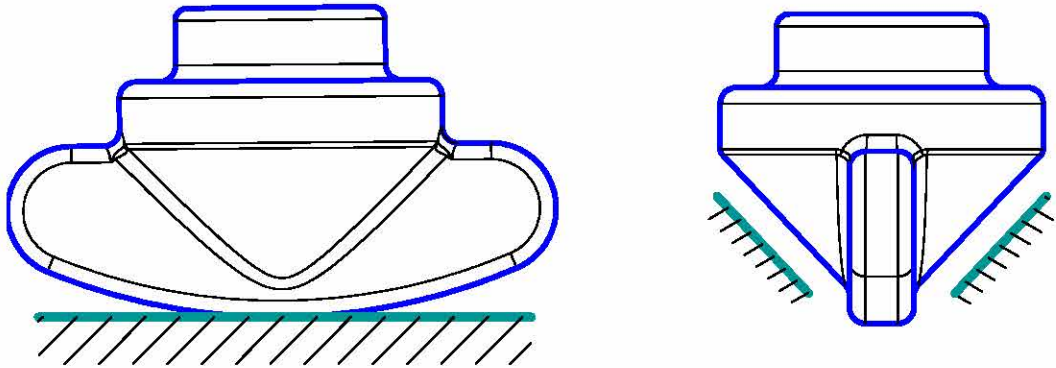


Рисунок. 1.2 - Розташування установчих баз

1.2. Вибір та обґрунтування оптимального способу штампування.

На основі вимог до деталі та програми випуску поковок встановлюємо масовий тип виробництва. За таких умов доцільно вибрати спосіб штампування на кривошипних гарячештампувальних машинах, як такий, що забезпечує найбільшу продуктивність та підвищену точність штампування.

Згідно класифікації поковка відноситься до II групи I-ої підгрупи [3]. Для таких поковок рекомендується застосування попереднього та кінцевого рівчака, без попередньої підготовки.

1.3. Розробка креслення поковки.

Поковка відноситься до другого класу точності, група сталі М1 (вуглецева) з прямою поверхнею роз'єму. Маса деталі - 246 гр. (визначена засобами графічного редактора по побудованій твердотільній моделі (рис. 1,3) на основі креслення деталі). Перед штампуванням поковку нагрівають в установці індукційного нагріву.

1.3.1. Визначення ступеню складності поковки.

Ступінь складності поковки S розраховуємо по формулі (1).

$G_d := 194.45$ - маса деталі, гр.

$G_p := 1.25 \cdot G_d$ - маса поковки, гр.

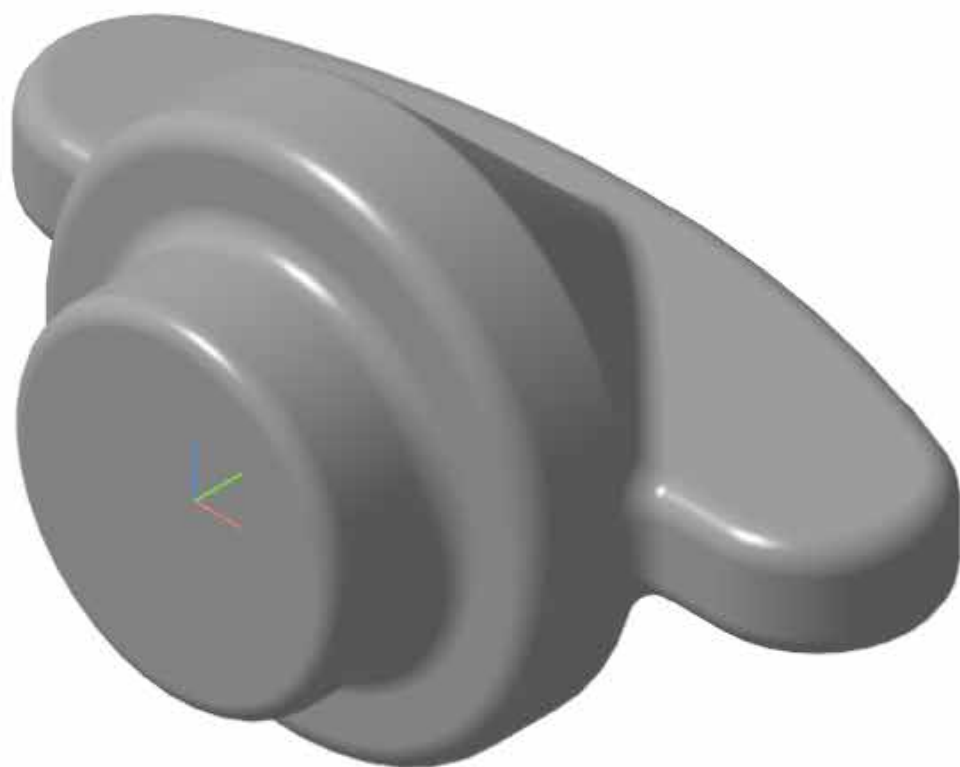


Рис. 1.3. Параметрична тривимірна модель поковки "Стяжка"

$$G_{\text{п}} = 243.063 \text{ гр}$$

$G_{\text{ф}} := 760.3$ - маса фігури, в яку вписується поковка, гр
(визначена засобами графічного редактора).

$$C := \frac{G_{\text{п}}}{G_{\text{ф}}} \quad (1)$$

$$C = 0.32$$

Приймаємо складність поковки C2 [3, стор.7.]

1.3.2. Визначення припусків і допусків.

Припуски і допуски на обробку різанням призначаємо з врахуванням класу точності поковки, групи сталі, ступені складності, маси поковки, шорсткості і розмірів поверхонь і розмірів деталі [3,5, 7] Припуски і допуски на поковку "Стяжка" наведені в табл. 1.3.

Намітки під прошивку в поковці не виконуємо, так як отвор в деталі має розмір по діаметру менше 30 мм.

Таблиця 1.3 - Припуски та допуски на поковку

Розміри деталі, мм	Припуски, мм	Допуски, мм	Розміри поковки, мм
7	1,4	+0.7; -0,4	8.75 Приймаємо 9
Ø26	—	+0.7; -0,4	Ø26 ^{0.7} _{-0.4}
Ø40	—	+0.7; -0,4	Ø40 ^{0.7} _{-0.4}
36	—	+0.7; -0,4	36 ^{0.7} _{-0.4}
R76	—	+0.8; -0,4	R76 ^{0.8} _{-0.4}

Найменші радіуси зовнішніх закруглень 1,5 мм.

Штампувальні ухили (зовнішні) – 5°

Допуски на міжцентрові відстані – $\pm 0,50$ мм

Допуски на кутові відхилення – $\pm 3^{\circ}00'$

Зміщення – 0,4 мм

Задирка по периметру зрізу – 0,5 мм

Допуски на вільні розміри – $\pm 0,7$ мм

Будуємо модель поковки з врахуванням припусків і допусків (рис. 1.3) використовуючи графічний редактор. Розраховуємо масо-центровочні характеристики моделі.

Маса поковки з врахуванням призначених припусків і допусків складає 233,4 гр., що вписується в раніше вибраний діапазон до 0,25 кг. Перераховувати ступінь складності поковки і припуски не потрібно.

1.3.3. Побудова розрахункової заготовки та епюри перерізів [4, 9,10, 11].

Розрахунковою заготовкою називається умовна заготовка з круглими перерізами, площі яких дорівнюють сумі площин відповідних перерізів поковки і облою.

$$S_e = S_{\Pi} + 2S_{\text{об}} = S_{\Pi} + 2h_3(b+B).$$

де

S_e - площа перерізу розрахункової заготовки у будь якому місці;

S_{Π} - площа перерізу поковки у будь якому місці, яка

розрахована по номінальним розмірам з додатком до вертикальних розмірів половини позитивного відхилення;

$S_{\text{об}}$ - площа перерізу облою;

h_3 - висота містка облойної канавки, мм;

b - ширина містка, мм;

B - ширина облою в магазині, мм;

1.3.4. Вибір облойної канавки та розрахунок параметрів облою [4].

Перед вибором облойної канавки розраховуємо зусилля штампування. Для попереднього розрахунку зусилля вибираємо формулу, що рекомендується для штампувальних молотів, вважаючи що 1 тона маси падаючих частин молота еквівалентна 1000 тс КГШП.

$$F_{\Pi} := 1721.5 \quad - \text{ площа поковки в плані, мм}^2$$

$$G_M := 5 \cdot \frac{F_{II}}{100} \quad G_M = 86.075 \text{ кг}$$

$$G_{IIp} := \frac{G_M}{100} \quad G_{IIp} = 0.861 \text{ МН}$$

Приймаємо найближчий прес номінальним зусиллям 6.3 МН.

Вибираємо перший тип облойної канавки [4, 6]. Схема облойної канавки та її параметри наведені на рис. 3.

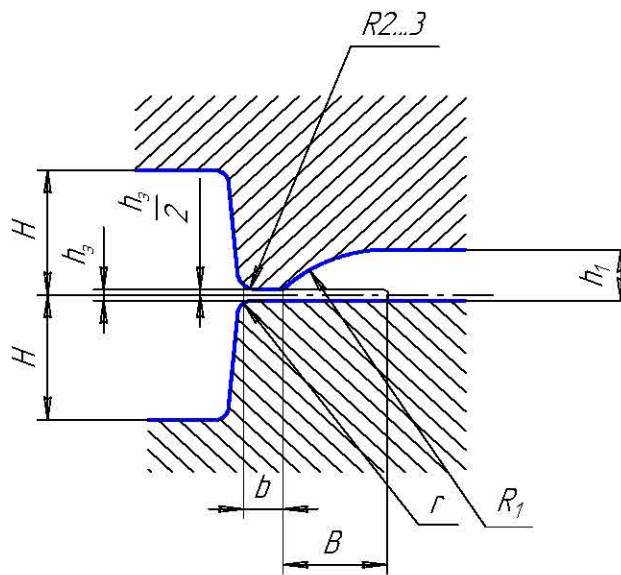


Рис. 1.4. Схема облойної канавки

Розміри облойної канавки вибираємо по [4, 6].

$$h_3 := 1. \text{ мм} \quad b := 5 \text{ мм} \quad h_1 := 5 \text{ мм} \quad B := 10 \text{ мм}$$

Площа перерізу облою

$$S_{об} := h_3 \cdot (b + B) \quad S_{об} = 15 \text{ мм}^2$$

Проводимо через поковку перерізи в характерних точках і визначаємо площини перерізів засобами графічного редактора (рис. 1.5) з врахуванням площі перерізу облою, мм².

$$S_{II1} := 90.4 \quad S_{II2} := 424.4 \quad S_{II3} := 653.5 \quad S_{II4} := 920.7$$

$$S_{II5} := 1275.7 \quad S_{II6} := 1308.5 \quad S_{II7} := 763.7 \quad S_{II8} := 589.7$$

$$S_{II9} := 589.5 \quad S_{II10} := 85.2$$

$S_{31} := S_{\Pi 1}$	$S_{31} = 90.4$
$S_{32} := S_{\Pi 2}$	$S_{32} = 424.4$
$S_{33} := S_{\Pi 3}$	$S_{33} = 653.5$
$S_{34} := S_{\Pi 4}$	$S_{34} = 920.7$
$S_{35} := S_{\Pi 5}$	$S_{35} = 1.276 \times 10^3$
$S_{36} := S_{\Pi 6}$	$S_{36} = 1.309 \times 10^3$
$S_{37} := S_{\Pi 7}$	$S_{37} = 763.7$
$S_{38} := S_{\Pi 8}$	$S_{38} = 589.7$
$S_{39} := S_{\Pi 9}$	$S_{39} = 589.5$
$S_{310} := S_{\Pi 10}$	$S_{310} = 85.2$

Діаметр розрахункової заготовки в будь-якому перерізі, мм

$de1 := 1.13\sqrt{S_{31}}$	$de1 = 10.744$
$de2 := 1.13\sqrt{S_{32}}$	$de2 = 23.279$
$de3 := 1.13\sqrt{S_{33}}$	$de3 = 28.887$
$de4 := 1.13\sqrt{S_{34}}$	$de4 = 34.288$
$de5 := 1.13\sqrt{S_{35}}$	$de5 = 40.36$
$de6 := 1.13\sqrt{S_{36}}$	$de6 = 40.876$
$de7 := 1.13\sqrt{S_{37}}$	$de7 = 31.228$
$de8 := 1.13\sqrt{S_{38}}$	$de8 = 27.441$
$de9 := 1.13\sqrt{S_{39}}$	$de9 = 27.436$
$de10 := 1.13\sqrt{S_{310}}$	$de10 = 10.43$

Будуємо епюру перерізів відклавши в масштабі М величини площин характерних перерізів S_e в вигляді відрізків he , що дорівнюють, мм:

$$M := 10$$

$$he1 := \frac{S31}{M} \quad he1 = 9.04$$

$$he2 := \frac{S32}{M} \quad he2 = 42.44$$

$$he3 := \frac{S33}{M} \quad he3 = 65.35$$

$$he4 := \frac{S34}{M} \quad he4 = 92.07$$

$$he5 := \frac{S35}{M} \quad he5 = 127.57$$

$$he6 := \frac{S36}{M} \quad he6 = 130.85$$

$$he7 := \frac{S37}{M} \quad he7 = 76.37$$

$$he8 := \frac{S38}{M} \quad he8 = 58.97$$

$$he9 := \frac{S39}{M} \quad he9 = 58.95$$

$$he10 := \frac{S310}{M} \quad he10 = 8.52$$

Об'єм всієї розрахункової заготовки дорівнює:

$Fe := 11813.7$ - площа епюри розрахункової заготовки, mm^2
(визначається засобами Компас-Графік).

$$Ve := Fe \cdot M \quad Ve = 1.181 \times 10^5 \quad mm^3$$

Середньою розрахунковою заготовкою називають циліндр діаметром $d_{ср}$, довжиною, яка дорівнює довжині поковки ($le=l_{п}$) і об'ємом, який дорівнює сумі об'ємів поковки $V_{п}$ і облою V_o .

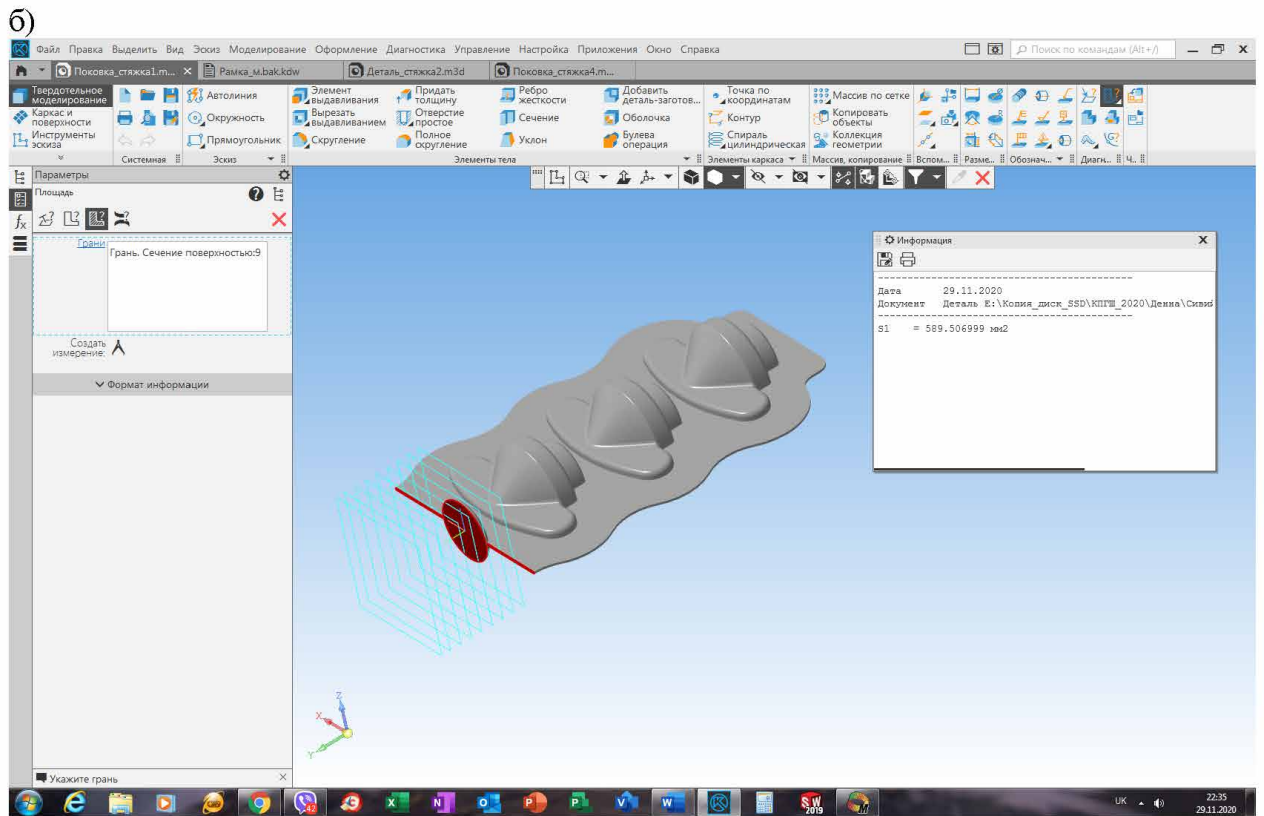
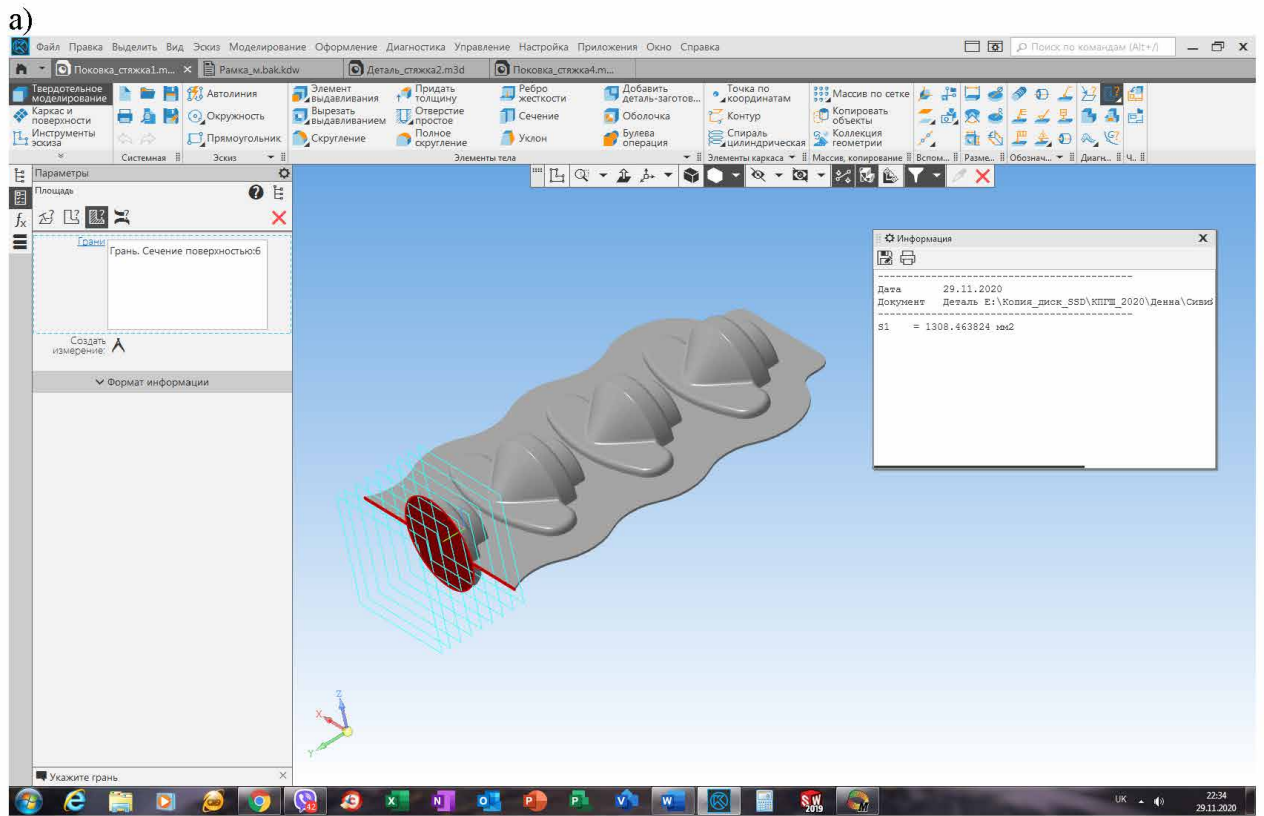


Рисунок 1.5 – До розрахунку епюри перерізів поковки "Стяжка" засобами графічного редактора: а) –переріз №6; б) –переріз №9.

Площина перерізу середньої розрахункової заготовки:

$$l_e := 177.0 \quad \text{мм}$$

$$S_{cp} := \frac{V_e}{l_e} \quad S_{cp} = 667.441 \quad \text{мм}^2$$

Діаметр середньої розрахункової заготовки, d_{cp} :

$$d_{cp} := 1.13\sqrt{S_{cp}} \quad d_{cp} = 29.193 \quad \text{мм}$$

Згідно виконаних розрахунків та графічних побудов (див. епюру перерізів рис.1.6.) визначаємо, що розрахункова заготовка відноситься до складних, тому що має одну головку і два стрижні. Розбиваємо складну розрахункову заготовку на елементарні заготовки визначаючи лінії розділу з врахуванням рівності площин на епюрі перерізів. В результаті отримуємо дві елементарні заготовки з параметрами наведеними на епюрах діаметрів та перерізів.

1.3.5. Визначення необхідності вальцювання

Для визначення необхідності вальцювання скористаємося діаграмою Ребельського [4, стор. 368].

Визначаємо коефіцієнти α і β для кожної елементарної заготовки і вибираємо найбільші.

$$d1_{max} := 40.3 \quad l1_e := 19$$

$$d2_{max} := 40.9 \quad l2_e := 23.8$$

$$\alpha_1 := \frac{d1_{max}}{d_{cp}} \quad \alpha_2 := \frac{d2_{max}}{d_{cp}}$$

$$\beta_1 := \frac{l1_e}{d_{cp}} \quad \beta_2 := \frac{l2_e}{d_{cp}}$$

$$\alpha_1 = 1.38 \quad \alpha_2 = 1.401$$

$$\beta_1 = 0.651 \quad \beta_2 = 0.815$$

Обидві елементарні заготовки попадають в зону Б, де вальцювання не потрібно

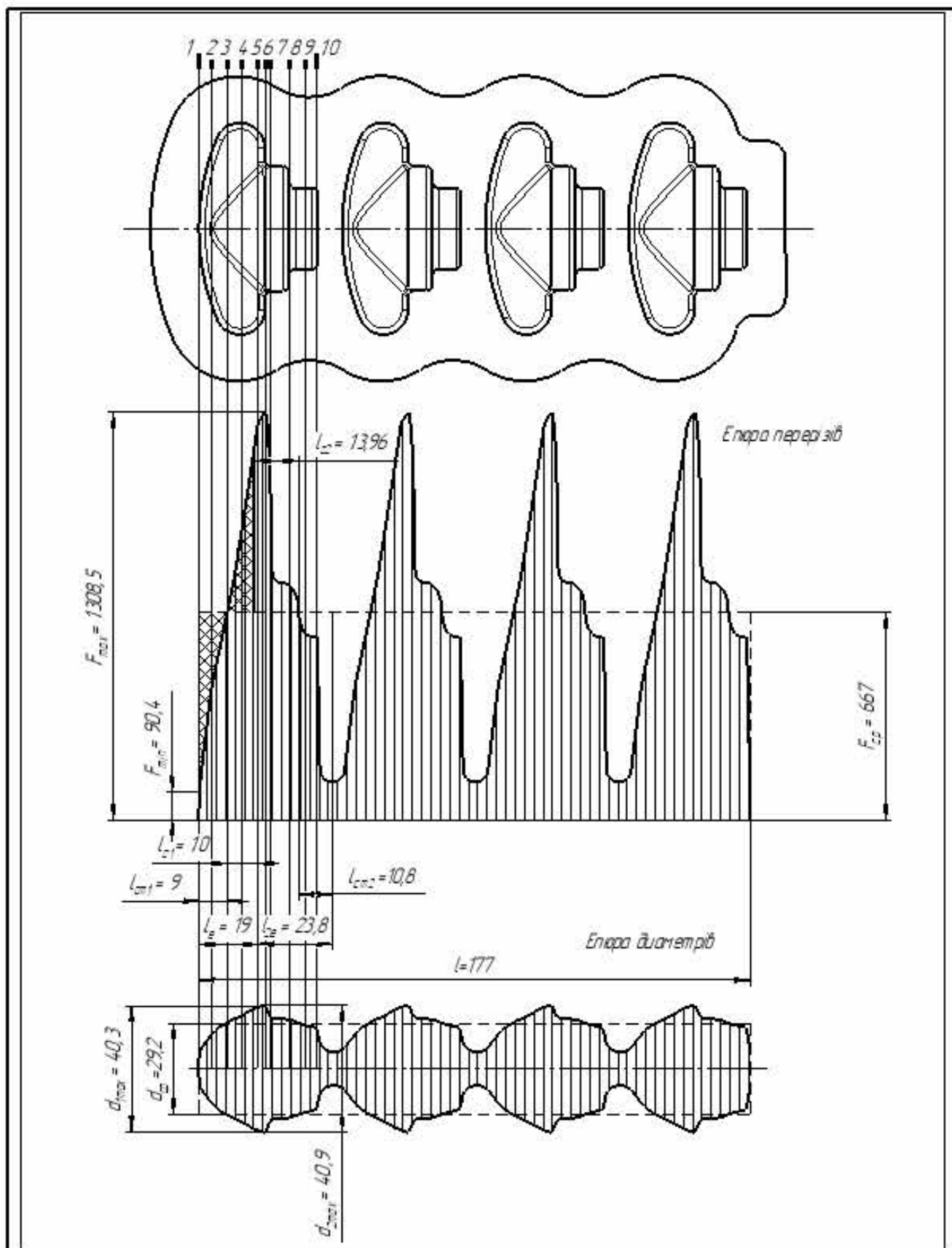


Рисунок 1.6 – Побудова розрахункової заготовки та епюри перерізів

1.4. Вибір виду та визначення розмірів вихідної заготовки. Вибір обладнання для різання металу на мірні заготовки.

1.4.1. Розміри заготовки

Об'єм заготовки визначаємо як суму об'єму поковки з об'ємом та втрати об'єму на вигар.

$$V_{\Pi} := 118100 \quad \text{-об'єм поковки, мм}^3;$$

$$V_{\text{ВГ}} := 0.08 \cdot V_{\Pi} \quad \text{- втрати на вигар, мм}^3;$$

$$V_{\text{ЗГ}} := V_{\Pi} + V_{\text{ВГ}} \quad V_{\text{ЗГ}} = 1.275 \times 10^5 \quad \text{мм}^3$$

Площа поперечного перерізу заготовки визначається по [4]

$$S_{\text{ЗГ}} := 1.04 \cdot S_{\text{Ср}} \quad S_{\text{ЗГ}} = 694.138 \quad \text{мм}^2$$

Довжина заготовки, мм

$$l_{\text{З}} := \frac{V_{\text{ЗГ}}}{S_{\text{ЗГ}}} \quad l_{\text{З}} = 183.75$$

Приймаємо $l_{\text{З}} := 184$

Вибираємо квадратний профіль поперечного перерізу заготовки.

Сторона квадрата $C_{\text{В}}$:

$$C_{\text{В}} := \sqrt{S_{\text{ЗГ}}} \quad C_{\text{В}} = 26.347 \quad \text{мм}$$

По сортаменту (ГОСТ 2591-80) приймаємо сталь гарячекатану квадратну з стороною квадрата [2, 3]

$$C_{\text{В}} := 27 \quad \text{мм}$$

Перераховуємо площину поперечного перерізу заготовки

$$F_{\text{В}} := C_{\text{В}}^2$$

$$F_{\text{В}} = 729 \quad \text{мм}^2$$

Згідно розрахунку вибираємо прокат квадратного поперечного перерізу [2] зі стороною квадрату 27 мм та довжиною 3,750 м, з граничним відхиленням по довжини +50мм, сортамент ГОСТ 2591-88.

З одного прутка отримаємо 20 заготовок довжиною 184 мм.

1.4.2. Вибір обладнання

Найбільш продуктивним металозберігаючим і економічним способом поділу прокату на точні заготовки є різання на сортових ножицях.

Необхідне для різання зусилля сортових ножиць визначається за формулою:

$$K_p := 1.4 \quad \sigma_B := 420 \quad F_B := 729$$

$$P := K_p \cdot \sigma_B \cdot F_B \quad P = 4.287 \times 10^5 \text{ Н}$$

Вибираємо ножиці зусиллям, більшим порівняно з розрахованим, модель НБ 1428

Номинальне зусилля, тс (МН)	63 (0,63)
Сторона квадрата прутка, мм	40
Число ходів в хвилину	50
Потужність приводів, кВт	6,8
Габаритні розміри, мм :	
Довжина	1590
Ширина	1000
Висота	1880
Маса, т	2,54

1.4.3. Розрахунок витрат і розкрою метала

Згідно [2, 3] приймаємо $L_{p.y} = 3750 \text{ мм}$.

Вирішуємо питання раціонального розкрою метала та точності заготовки:

Коефіцієнт використання металу:

$$\eta_s = \frac{L_n}{L_{p.y}} = \frac{3716,2}{3750} = 0,990$$

де L_n - корисна довжина прутка, мм [3, с.87, табл.46].

$$L_n = L_{p.y} - \sum_{л.н} = 3750 - 33,8 = 3716,2 \text{ мм}$$

де $\sum_{л.н}$ - сума абсолютних лінійних витрат металу при різанні.

$$\sum_{л.н} = l_{від} + l_{обр} = 23 + 10,8 = 33,8 \text{ мм}$$

За допомогою формули ([3, с. 89]) визначасмо довжину торцевого обрізу:

$$l_{обр} = (0,3 \div 0,5) \cdot a = 0,4 \cdot 27 = 10,8 \text{ мм},$$

$$l_{обр} = (0,3 \div 0,5) \cdot a = 0,4 \cdot 27 = 10,8 \text{ мм}$$

де d – діаметр заготовки, мм.

Кількість заготовок із прутка визначаємо із співвідношення:

$$n = \frac{L_{p.y} - l_{обр}}{L} = \frac{3750 - 10,8}{184} = 20,32 \text{ шт.},$$

де L - довжина заготовки на одну деталь, мм.

Визначаємо довжину відходу:

$$L = L_{p.y} - l_{обр} - (n_{зз} \cdot L_{зз}) = 3750 - 10,8 - (20 \cdot 184) = 59,2 \text{ мм}$$

Визначаємо розхідний коефіцієнт:

$$k = \frac{L_{p.y}}{L_{p.y} - \sum_{n,n}} = \frac{3750}{3750 - 33,8} = 1,009$$

Сумарну вагу відходів на кожний пруток отримаємо з рівняння:

$$\sum Q^j = \frac{q \cdot \sum_{n,n}}{1000} = \frac{5,686 \cdot 33,8}{1000} = 0,192 \text{ кг.},$$

де q – вага 1 м. прутка.

Норма витрат металу на поковку:

$$N = Q_s / n = 21,32 / 80 = 0,267 \text{ кг.};$$

Допуски на довжину заготовки згідно [3]: $\Delta = \pm 0,8 \text{ мм.}$

1.5. Вибір способу та режимів нагрівання заготовок та охолодження поковок. Вибір нагрівального обладнання.

1.5.1. Температурний інтервал кування.

Для сталі 20 максимальна температура нагрівання металу перед куванням 1280 °С.

Температура закінчення штампування складає 750°С

1.5.2. Вибір нагрівального обладнання

Вибираємо індукційний нагрів так як при індукційному нагріванні втрати металу складають 0,2-0,4% маси нагріваємого металу, що в 10 раз менше, ніж при нагріванні в полумєневих печах. Зменшення

окалини покращує якість поковок та збільшує стійкість штамсів ковальсько-пресового обладнання.

Вибираємо індукційний нагрівач [3] безперервної дії КИН 10-250/10П[3] з наступними параметрами :

діаметр заготовки ,мм	15-45
найбільша довжина заготовки ,мм	70-250
довжина індуктора,мм	1000
потужність установки,кВт	250
частота, кГц	10
продуктивність	500 кг/ч

Мінімальна тривалість нагрівання заготовки, виходячи з продуктивності обладнання ТВЧ-4.5 сек.

1.6. Вибір штампувального обладнання

1.6.1. Розрахунок зусилля штампування [4, 9-13, 15, 16]

$\sigma_t := 91$ - межа текучості металу при температурі штампування, МПа;

$\mu_0 := 0.5$ - коефіцієнт зовнішнього тертя на містку облою;

$F_0 := 988$ - площа проекції містка облою, мм²;

$F_{\Pi} := 1755.5$ - площина проекції поковки на площину роз'єму, мм²;

$L_{\Pi} := 68$ - максимальний габаритний розмір поковки в плані, мм;

$a := \frac{F_{\Pi}}{L_{\Pi}}$ - розмір поковки по ширині, мм;

$$a = 25.816$$

$$P := 1.15 \cdot \sigma_t \left[\left(1 + \mu_0 \cdot \frac{b}{h_3} \right) \cdot F_0 + \left[\left(-0.25 + \frac{2 \cdot \mu_0 \cdot b}{h_3} \right) + 1.25 \ln \left(\frac{a}{h_3} \right) \right] \cdot F_{\Pi} \right]$$

$$P = 1.981 \times 10^6 \text{ Н}$$

Враховуючи, що одночасно штампується 4 поковки повне зусилля буде складати:

$$P_{\text{повн}} := P \cdot 4 \quad P_{\text{повн}} = 7.924 \times 10^6 \text{ І}$$

1.6.2. Вибір КГШП

Згідно [3] вибираємо КГШП зусиллям 10 МН

Приймаємо в якості обладнання прес кривошипний гарячештампувальний КБ 8540 з наступними технічними характеристиками:

Номінальне зусилля, Мн	10
Число ходів повзуна в хвилину	90
Хід повзуна, мм	250
Відстань між столом та повзуном в його нижньому положенні, мм	560
Розміри стола, мм	770x990
Потужність привода, кВт	55

1.7. Вибір виду обрізання облою в поковках. Вибір обрізного пресу.

1.7.1. Визначення зусилля для обрізання облою.

За рекомендаціями [4] обираємо холодне обрізання облою. Необхідне для обрізання облою зусилля обрізного пресу визначається за формулою

$S := 732$ мм - периметр різку (визначається засобами графічного редактора)

z - розмір який визначається графічно по лінії зрізу облою (визначається засобами графічного редактора).

n - можливе недоштампування, яке приймають рівним позитивному допуску на розмір поковки по висоті.

$$z := 4.5 \text{ мм}$$

$$n := 0.7 \text{ мм}$$

$$t_o := z + n \text{ мм - товщина облою}$$

$$t_o = 5.2 \text{ мм}$$

$$P_{\text{об}} := 1.8 \cdot 10^{-6} \cdot S \cdot t_o \cdot \sigma_{\text{в}} \quad P_{\text{об}} = 2.878 \text{ МН}$$

Прес вибираємо із врахуванням того, що будуть застосовані матриці зі скошеними крайками.

$$P_{\text{ск}} = (0,4 \dots 0,6) P_{\text{об}}$$

де $P_{\text{об}}$ - зусилля обрізки облою в матрицях з плоскими ріжучими крайками

$$P_{ск} := 0.6 \cdot P_{об} \quad P_{ск} = 1.727 \text{ МН}$$

Оскільки номінальне зусилля обрізного пресу знаходиться в межах норми остаточно приймаємо холодний спосіб обрізання облою, так як він має ряд суттєвих переваг, а саме: полегшує автоматизацію і механізацію процесу, дозволяє збільшити продуктивність обрізних пресів, отримати більш точні розміри поковок з більш гладкою поверхнею, а також збільшити стійкість штампів.

Вибираємо обрізний прес зусиллям 2000 кН

Модель KB 9532

Номінальне зусилля, кН	2000
Хід повзуна, мм	200
Частота ходів повзуна, 1/хв : безперервних	50
Найбільша відстань між столом та повзуном преса в його нижньому положенні, мм	530
Розмір стола, мм	1250x900
Сумарна потужність електродвигунів, кВт	22

1.8. Вибір режимів термообробки поковок.

Для вилучення внутрішніх напруг, наклепу та покращення механічних властивостей застосовують термічну обробку - нормалізацію [3, 5, 8, 9].

Нормалізація включає нагрівання доєвтектоїдної сталі на 30-50°C вище точки Ас3 з охолодженням в повітрі для отримання тонкопластинчастої перлітної структури. Нагріваємо поковку до температури 750-870°C у відповідному обладнанні. Охолоджуємо середовище- повітря.

Вибираємо обладнання для нагрівання :

Камерна електропеч опору : Модель 1СН3-8,5.14.6,5/8,5	
Установлена потужність,кВт	100
Номінальна температура,сС	900
Розміри робочого простору, мм :	
ширина	850
довжина	1400
висота	650
Напруга живильної мережі, В	380
Число фаз	3
Маса електропечі,т	8,72
Потужність холостого хода, кВт	15,4

1.9. Вибір способу та обладнання для очистки поковок від окалини

Щоб надати поковкам товарного вигляду та полегшити наступну обробку різанням передбачаємо очистку від окалини. Є три основні способи очистки поковок від окалини: дробом, травленням та в галтовочних барабанах. Вибираємо при масовому виробництві очистку дробом [4, с.542].

Модель дробеструмінного апарату- 334 М
Об'єм робочої камери, л 140
Робочий тиск, Па $600 \cdot 10^3$

1.10. Вибір способу та обладнання для правки поковок

Передбачаємо правку поковок [4, 6, 9].

Зусилля преса: $P = q_k \cdot F$

q_k -питоме зусилля правки, МПа

F - початкова площа поверхні правки, мм²

$q_k := 200 \text{ МПа}$ $F_p := 1755.5 \text{ мм}^2$

$P := q_k \cdot F_p$ $P = 3.511 \times 10^5 \text{ Н}$

Вибираємо гвинтовий прес по ГОСТ 713Е-81.

Технічна характеристика:

Номінальне зусилля, МН	0,63
Ефективна номінальна енергія, кДж, не менше	2,5
Найбільший хід повзуна S мм, не менше, мм	230
Число ходів повзуна в хвилину	35
Відстань між напрямними в світлі, мм	400
Розмір повзуна L , мм	390
Розмір стола, мм	450x500
Відстань між підштамповою плитою стола і ползуном в його нижньому крайньому положенні H , мм	210

1.11. Вибір методів контролю та вимірювального інструменту.

Задачами контролю є попередження браку поковок, своєчасне виявлення та ізоляція дефектних та бракованих поковок, облік та технічний аналіз причин дефектів та браку поковок. При виборі методів контролю та вимірювального інструменту користуємось рекомендаціями [4, с.568...585].

Вибираємо штангенциркуль ПШЦ-11 ГОСТ 166-80 0-250 мм;

Лінійка 1000 ГОСТ 427-75;

Фотопірометр;

Для вимірювання радіусів закруглення використовуємо набір радіусних шаблонів.

1.12. Розробка плану штампувальної дільниці.

При розробці плану штампувальної дільниці користуємося типовими планами дільниць[5,с.255...257] .

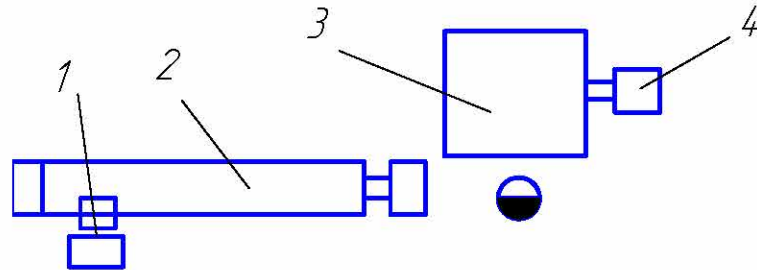


Рисунок 1.7 - Організація робочого місця штампувальника КГШП:
1- завантажувач; 2-індуктор; 3-КГШП; 4-тара для поковок.

Після штампування поковки передаються на участок обрізання облою, який знаходиться окремо від участка штампування. Організація робочого місця при обрізанні облою наведена на рис. .

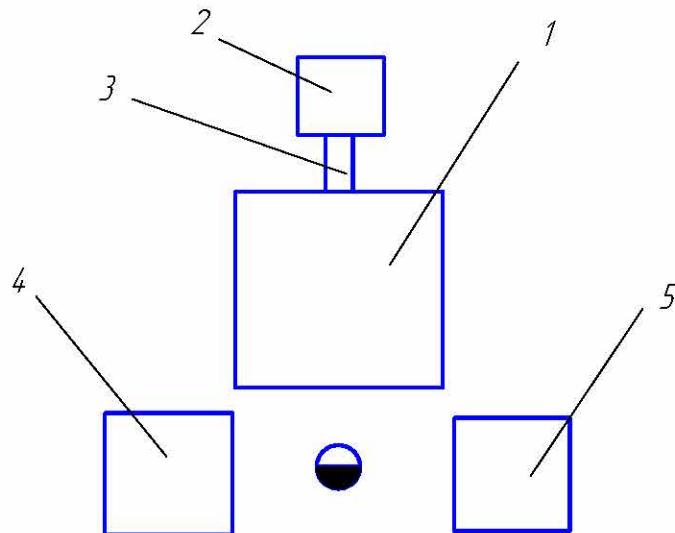


Рисунок. 1.8 - Організація робочого місця штампувальника:
1- обрізний прес; 2-тара для поковок; 3-склиз; 4-тара для заготовок,
5- тара для облою.

1.13. Вибір складу робочої бригади та розрахунки норм часу на штампування.

Склад робочої бригади приймаємо на основі розробленого плану штампувальної дільниці. Розрахунки норм часу на штампування на кожного члена бригади виконуємо з врахуванням особливостей організацій робочих місць [6]. Продуктивність штампувальної ділянки визначаємо по найбільш завантаженому робітнику бригади.

Вихідні дані :

Деталь – стяжка

Матеріал – Сталь 20

Вага заготовки, кг – 1,046

Вага поковки, кг – 1,046

Зусилля КГШП, МН – 10

Кількість рівчаків в штампі – 2

Зусилля обрізного пресу, МН – 2,0

Бригада – 1 робітник

Найменування переходів	Вага заготовки	Повтор прийомів	час, хв	
			Основ	Допом

Оперативний час штампувальника КГШП

1. Взяти заготовку кліщами з транспортера, встановити в попередній рівчак та натиснути педаль	1,046	1	-	0,025
2. Штампувати в двох рівчаках				
2.1. Штампувати в попередньому рівчаку	1,046	1	0,011	-
2.2. Перекласти поковку з попереднього рівчака в кінцевий та натиснути педаль	1,046	1	-	0,018
2.3. Штампувати в кінцевому рівчаку			0,011	-
3. Винести поковку з рівчака та кинути на склиз	1,046	1	-	0,015
Всього.....			0,022	0,058

$$T_{\text{оп.в.}} = T_o + T_v = 0,022 + 0,058 = 0,08 \text{ хвил}$$

Оперативний час пресувальника по обрізанню облою

1. Взяти поковку кліщами з тари, покласти на штамп та нажати педаль	1,046	1	-	0,052
2. Обрізати		1	0,02	-
3. Зняти задирку зі штампа кліщами та відкинути в тару	0,1	1	-	0,018
Всього.....			0,02	0,07

$$T_{\text{оп.в.}} = (T_v + T_o) / 2 = (0,02 + 0,07) / 4 = 0,023 \text{ хвил}$$

Оперативний час пресувальника по правці поковки

1. Взяти поковку кліщами, покласти на штамп та натиснути педаль, здійснити правку	0,234	1	0,029	0,052
2. Винути поковку з штампу та відкинути в тару	0,234	1	-	0,028
Всього.....			0,029	0,08

$$T_{\text{оп.в.}} = T_o + T_v = 0,029 + 0,08 = 0,109 \text{ хвил}$$

Розрахунок норми штучного часу здійснюємо по найбільш завантаженому робітнику- штампувальнику:

$$T_{\text{ш}} = T_{\text{оп.в.}} \times K = 0,08 \times 1,27 / 4 = 0,025 \text{ хвил.}$$

Норма виробітки визначається з формули:

$$N_v = 420 \text{ хвл} / T_{\text{ш}} = 420 / 0,025 = 16800 \text{ шт.}$$

1.14. Складання карти технологічного процесу гарячого штампування.

Результати розробки технологічного процесу штампування фіксуємо в технологічній карті, яка містить основні відомості по розробленому технологічному процесу (див. дод. Б .)

2 Конструювання штампу КГШП

2.1 Визначення розмірів гарячої поковки

Розмір гарячої поковки з врахуванням усадки визначається по формулі:

$$a = l(1 + \alpha t).$$

де l - розмір холодної поковки;

α - коефіцієнт лінійного розширення металу поковки;

t - температура кінця штамповки, град.

$$l := 24 \text{ мм}$$

$$\alpha := 12 \cdot 10^{-6}$$

$$t := 850^\circ$$

$$a := l \cdot (1 + \alpha \cdot t)$$

$$a = 24.245 \text{ мм}$$

Результати розрахунку інших розмірів наведені нижче

Розміри холодної поковки, мм	Розміри гарячої поковки, мм
38,35	38,7
26,25	26,49
26,35	26,59
76,4	77,1
40,35	40,72
38,35	38,7
8,35	8,43
17,35	17,51
9,35	9,44
68,35	68,97

2.2 Розрахунок та конструювання штампувальних рівчаків

Штампувальні рівчаки виготовляємо за кресленням гарячої поковки, яке складаємо згідно відповідних правил [4, 5]:

1. Креслення гарячої поковки виконуємо в масштабі 1:1 за кресленням холодної поковки з врахуванням усадки сталі, яка складає 1,5%.

2. В примітці до креслення зазначаємо:

Штампувальні уклони – 5°;

Невказанні радіуси закруглень – 1,5°;

Усадка врахована – 1,5%.

Чистовий рівчак виготовляємо за кресленням гарячої поковки згідно рекомендацій [2, с. 65, табл. 7].

Чорновий рівчак конструюємо згідно [4, с. 376, табл. 13] за кресленням гарячої поковки. Штампувальні уклони - 5°.

Заокруглення кромek фігури приймаємо на 2мм більше ніж у чистовому, $R=4\text{мм}$.

2.3 Опис конструкції штампa КГШП

Виходячи з габаритів поковки розраховуємо ширину та довжину вставок КГШП та по нормалям вибираємо найближчі за розмірами.

Штамп КГШП складається з наступних деталей (рис. 2.1.):

1- корпус нижній; 2- корпус верхній; 3- планка; 4- планка; 5- планка; 6- плитка опорна; 7- клин; 8 - клин; 9 - колонка; 10 - втулка; 11 - шайба брудозахисна; 12 - кришка; 13 - кришка; 14 - двоплечий важіль; 15 - корпус підшипника; 17 - гільза; 18 - штовхач; 19 - пружина; 20 - відлипач; 21 - вставки.

Штамп КГШП працює наступним чином. Заготовка подається в робочу зону штампa штампувальником. На першому переході відбувається штампування заготовки в пережимному рівчаку, на другому переході в попередньому рівчаку і на третьому переході в кінцевому рівчаку. Вилучення поковки з попереднього та кінцевих рівчаків

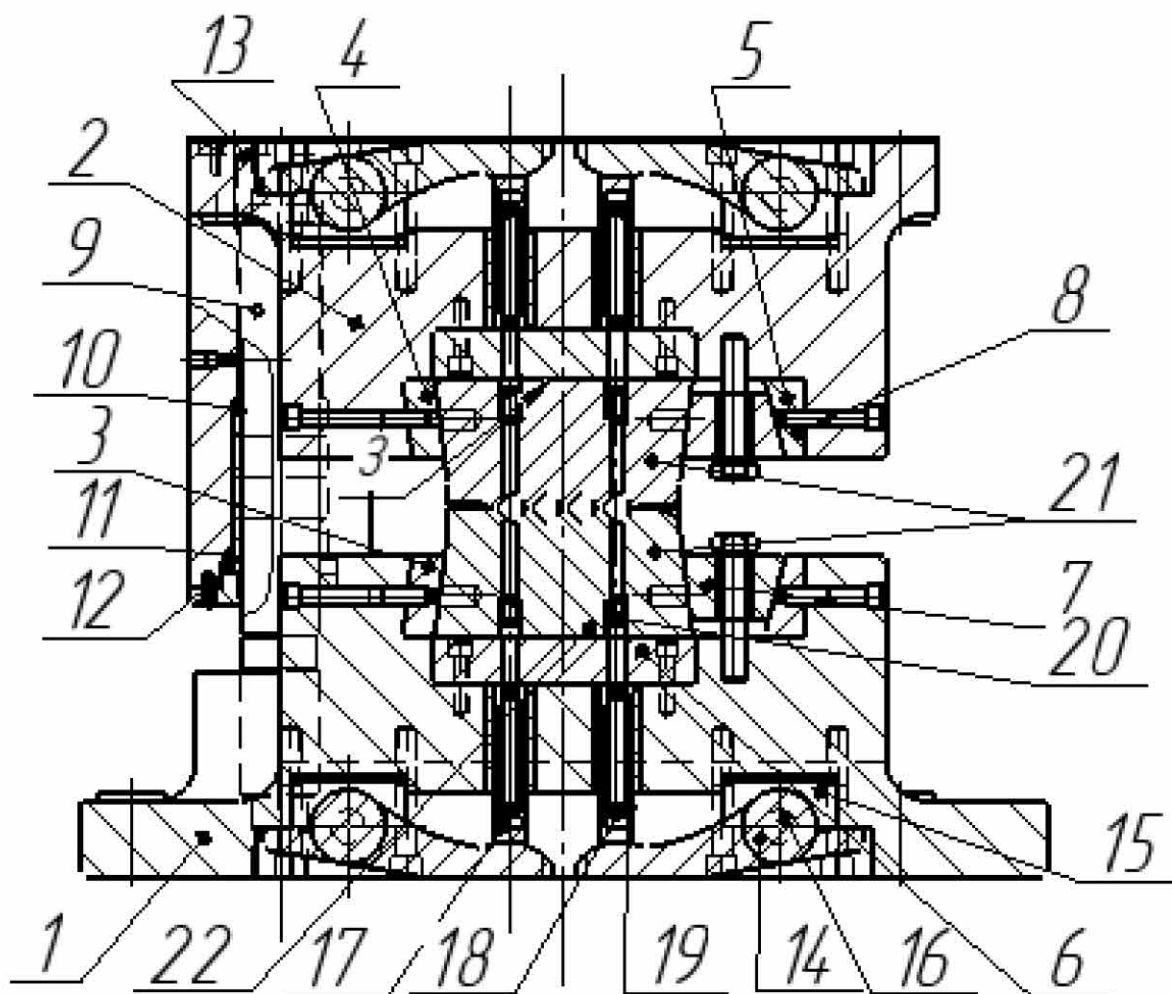


Рисунок 2.1 – Схема штампа КГШП

відбувається за допомогою віддипачів 20, які спрацьовують від штовхачів 18, що в свою чергу, приводяться в дію від двоплечих важелів. Напрямок верхньої плити відносно нижньої забезпечується напрямними колонками 9 та втулками 10 з заднім розташуванням.

Дві напрямні колонки виконуються позаду, щоб вони не заважали штампувальнику.

Для захоплення поковки кліщами за облой у вставках виконуються виїмки.

Чистовий рівчак виготовляється по кресленню гарячої поковки. У місці розташування головки поковки виконуються газовідводні канали діаметром 1,5 мм.

Радіуси переходів чорнового рівчака збільшуються у два рази відносно радіусів чистового рівчака. Гострі кромки скругляються.

Для запобігання плити блока від зносу між вставками та плитами встановлюються ковані термічно оброблені підкладні плити, які виконані з легованої сталі. Товщина підкладної плитки 80 мм згідно [4].

Габаритні розміри вставок вибираються згідно зусилля преса та розміру заготовки: ширина 140 мм, довжина 250 мм, висота 100 мм.

Для вставок використовується сталь підвищеної теплостійкості і в'язкості 4X5B2ФС, яка широко використовується для інструменту гарячого деформування, в умовах тривалого циклічного нагрівання до температур 600-630 °С.

Відмінною особливістю сталі від сталей помірної теплостійкості є підвищений зміст карбідоутворюючих елементів (Cr, Mo, W, V та інші) при 0,4%С. Рекомендована температура гартування сталі 1040 °С, твердість 53-56 HRCe, відпуск при температурі 560-580 С, на твердість 48-50 HRCe (460-495 HB). Тривалість відпуску 1,5 години.

Допустима температура тривалого розогріву для сталі 4X5B2ФС не повинна перевищувати 620-630 °С.

Вставки штампла для запобігання крихкого руйнування необхідно підігрівати перед початком роботи до температури 300-350 °С.

Плиту верхню та нижню виконуємо із сталі 30Л (ГОСТ 977), твердість HB ? 255.

Колонки і втулки виготовляємо із сталі 20 (ГОСТ 1050) з наступною цементацією.

Плиту підкладну виготовляємо із сталі 40Х (ГОСТ 1577) HB 378-432.

Планки бокові, задні, передні та прижими виготовляємо з сталі 40Х, HRC 40-45.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. У сучасному машинобудуванні постійно зростають вимоги до ефективності виробництва та стабільної якості деталей при мінімальних витратах. Особливо це актуально для великосерійного виготовлення відносно простих, але функціонально важливих елементів, таких як деталь «Стяжка», яка за конструктивним призначенням є різновидом гайки з фігурними пелюстками для зручності ручного монтажу.

Виготовлення таких деталей гарячим штампуванням є одним із найраціональніших методів, оскільки забезпечує високу продуктивність, хорошу повторюваність геометричних розмірів, зменшення припусків на механічну обробку та високу міцність завдяки щільній структурі металу. З огляду на великосерійний характер виробництва, найбільш доцільним є використання кривошипних гарячештампувальних пресів (КГШП), які мають перевагу у точності, стабільності ходу та можливості автоматизації процесу.

Проектування технологічного процесу та оснащення для виготовлення такої деталі дозволяє не лише оптимізувати цикл штампування, а й зменшити витрати часу на переналагодження, підвищити ресурс штампового оснащення, а також забезпечити відповідність готової продукції вимогам стандартів. Це особливо важливо для деталей, які є масовими позиціями в номенклатурі продукції підприємств важкого, автомобільного чи аграрного машинобудування.

Таким чином, тема роботи є актуальною як з точки зору технологічної доцільності, так і з позицій економічної ефективності в умовах великосерійного виробництва.

2. Розроблено прогресивний технологічний процес виготовлення деталі «Стяжка» в середовищі математичної програми Mathcad, де обґрунтовується можливість її штампування на кривошипному гарячештампувальному пресі в режимі багатоплужної штамповки, що дозволяє підвищити якість штампування та продуктивність процесу, а також швидко виконувати оптимізаційні

розрахунки окремих технологічних параметрів та готувати розрахунково-пояснювальну записку.

3. Спроектовано складальний кресленик прогресивного штампу КГШП для багатоштучного штампування та робочий кресленик вставки з кінцевим рівчаком, що може бути використано після певної доробки (проекування повного комплексу документації) у реальному виробництві;.

Перелік джерел посилання

1. Absolut metal. URL: <https://www.absolut-metall.com.ua/uslugi/> (дата звернення: 28.05.2025).
2. Metinvest-smc. URL: <https://metinvest-smc.com/ru/steel/stal-20/?srsltid=AfmBOor5HoL-8ozZz9Vjmpu2kRswJvq9-RnCUihNllCiaxZG0-LIuTlo> (дата звернення: 20.05.2025).
3. Ковка и штамповка. Справочник в 4 т. / Под ред. Е.И. Семенова.- Т.1. Материалы и нагрев. Оборудование. Ковка.-М.: Машиностроение,1985.-567 с.
4. Ковка и штамповка . Справочник в 4 т. / Под ред. Е.И. Семенова.-Т.2. Горячая объемная штамповка.-М.: Машиностроение,1986.-592 с.
5. Ковка и объемная штамповка стали. Справочник в 2 т./ Под.ред. Сторожева М.В. –Т.1, –М.: Машиностроение, 1967 г., –435 с.
6. Ковка и объемная штамповка стали. Справочник в 2 т. / Под. ред. Сторожева М. В. – Т.2, -М.: Машиностроение , 1968 г., - 448 с.
7. ГОСТ 7505-74. Поковки стальные штампованные. Допуски, припуски и кузнечные напуски.
8. Гусачук Д. А., Парфентьева І. О. Технологія гарячого штампування : електронний підручник. Луцьк: Луцький НТУ. URL: https://elib.lntu.edu.ua/sites/default/files/elib_upload/TGSh_EP/index.html (дата звернення: 22.05.2025).
9. Носуленко В. І. Кування і гаряче об'ємне штампування : Навчальний посібник. – Кропивницький, : ЦНТУ, 2017, – 224 с.
10. Кухар В. В. Технологічні процеси за фахом. Кування і штампування : навчальний посібник / В. В. Кухар, Б. С. Каргін, О. С. Аніщенко, С. Б. Каргін, А. Г. Присяжний. – Маріуполь : ПДТУ, 2017. – 144 с.
11. Гаряче об'ємне штампування / І.С. Алієв, Я.Г. Жбанков. – Краматорськ: ДДМА, 2012. – 240 с.

12. Кваліфікаційна робота за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти : метод. рекомендації з оформлення кваліфікаційної роботи : спец. 131 Прикладна механіка / [уклад. : В. А. Мажара, А. І. Гречка, В. В. Свяцький та ін.] ; М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т, каф. машинобудування, мехатроніки і робототехніки. Кропивницький : ЦНТУ, 2024. – 40 с.

13. Кваліфікаційна робота за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти : метод. рекомендації до виконання кваліфікаційної роботи за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти спец. 131 «Прикладна механіка» / [уклад. : К. Щербина, В. Шмельов, О. Скрипник, А. Гречка, О. Кузик] ; М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т, каф. машинобудування, мехатроніки і робототехніки, каф. матеріалознавства і ливарного виробництва. – Кропивницький : ЦНТУ, 2024 – 16 с.

14. ГОСТ 3.1403-74. Правила оформлення документів на ковку і штамповку.

15. Методичні рекомендації до практичних занять та курсового проектування з дисципліни “Кування і гаряче об'ємне штампування” / Укл. В.І. Носуленко, В.Я. Мірзак – Кропивницький: ЦНТУ, 2019. – 36 с.

16. Методичні рекомендації до практичних занять та курсового проектування з дисципліни “Кування і гаряче об'ємне штампування” для студентів спеціальності 131 - “Прикладна механіка”. Альбом завдань. /Укл. В. І. Носуленко, В. Я. Мірзак – Кіровоград: ЦНТУ, 2019. – 95

17. Сяєв А. В. Вступ до системи MathCAD: навч. посіб. – Д.: Вид-во Дніпропетр. ун-ту, 2004. – 108 с. ISBN 966-551-134-3 ь

Додатки